

### **III-314 - DETERMINAÇÃO DA QUANTIDADE E QUALIDADE DO LIXIVIADO GERADO EM LISÍMETRO CONSTRUÍDO NO SUL DO AMAZONAS**

**Aldecy de Almeida Santos<sup>(1)</sup>**

Professor Adjunto do Curso de Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Física Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Doutor em Eng. Civil pela Universidade Federal de Pernambuco (UFPE).

**Luiz Airton Gomes**

Professor Associado do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Universidade de São Paulo (USP). Doutor em Engenharia Ambiental pela *University of Newcastle upon Tyne, UK*.

**Fábio Pazini**

Graduando em Engenharia Ambiental pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM).

**Weliton Ttatom Pereira da Silva**

Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental da Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Engenheiro Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Mestre em Ciências Florestais e Ambientais pela Universidade Federal de Mato Grosso (UFMT). Doutor em Tecnologia Ambiental e Recursos Hídricos pela Universidade de Brasília (UNB).

**Maurício Alves da Motta Sobrinho**

Possui graduação em Engenharia Química pela UNICAP (1992), mestrado em Engenharia Química pela UFPA (1995), doutorado em Engenharia de Processos pelo Institut National Polytechnique de Lorraine (2001) e Pós-Doutorado na UFPE (2005) e na Universidade do Minho (Portugal) (2013). Atualmente é professor Adjunto do DEQ-UFPE e dos PPG em Eng. Química (do qual é vice-coordenador) e em Eng. Civil da UFPE. Pesquisador 2 do CNPq desde 2004. Avaliador Institucional e de Cursos para o INEP/MEC.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Itatiaia, 230 - Planalto - Cuiabá - MT - CEP: 78058-799 - Brasil - Tel: (65) 3653-0451 - e-mail: [aldecy\\_allmeida@yahoo.com.br](mailto:aldecy_allmeida@yahoo.com.br)

#### **RESUMO**

A estimativa da quantidade e qualidade dos lixiviados gerados nos aterros sanitários consiste em uma das informações mais importantes no projeto, construção e operação desses aterros. Neste contexto, o objetivo desta pesquisa foi determinar a qualidade e a quantidade de lixiviado gerado em lisímetro em escala experimental, na cidade de Humaitá – AM. Primeiramente foram realizadas análises da composição gravimétrica dos Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da cidade de Humaitá, visando o preenchimento do lisímetro. No monitoramento do lisímetro foi utilizado o método volumétrico para determinar a quantidade de lixiviado gerado e depois foi comparado com valores teóricos obtidos no Método Suíço. Para determinar a qualidade do lixiviado foram realizadas análises físico-químicas (DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrogênio total, fósforo, cor e turbidez) e microbiológicas (coliformes totais e coliformes *Escherichia coli*). De acordo com os resultados obtidos de DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrogênio total, fósforo, cor, turbidez, coliformes totais e coliformes termotolerantes diminuíram continuamente com o tempo. Ao contrário do pH que tiveram um aumento gradativo 5,30 até a faixa alcalina de 7,85. Este fato se deve ao clima mais quente, úmido e a elevada precipitação da região do Amazonas, acelerando a decomposição da matéria orgânica dos resíduos aterrado no lisímetro diminuindo a fase ácida e alcançando a fase metanogênica mais rapidamente. Os resultados da estimativa do Método Suíço foram muito superiores aos valores reais da vazão de lixiviado gerado no lisímetro.

**PALAVRAS-CHAVE:** Resíduos sólidos, Caracterização de lixiviado, Método Suíço.

#### **INTRODUÇÃO**

No Brasil estão sendo desenvolvidas várias pesquisas, visando melhor compreender as interações físico-químicas e biológicas que ocorrem em Aterros de Resíduos Sólidos Urbanos (ARSU) ao longo do tempo. Neste sentido, faz-se necessário desenvolver métodos que facilitem o estudo dos fatores que interferem no processo de biodegradação.

Um método eficiente é a construção de células experimentais em escala reduzida (lisímetros) que representam uma técnica economicamente viável e bastante interessante, que pode contribuir para uma melhor compreensão de rotas metabólicas da degradação de produtos orgânicos e para obtenção de parâmetros de projeto, dimensionamento, construção e operação de ARSU (SILVA, 2007).

A partir do lisímetro pode-se determinar o volume de lixiviado produzido e comparar com alguns métodos empíricos como Método Suíço e do Balanço Hídrico (LINS & JUCÁ, 2003).

Este volume de lixiviado e sua composição estão condicionadas à uma série de fatores com destaque para o clima local (regime de chuvas, temperatura, velocidade dos ventos e umidade relativa do ar), tipo de cobertura dos resíduos (material, periodicidade e espessura), a umidade dos resíduos no momento do aterramento, o grau de compactação dos resíduos, a capacidade de campo da massa aterrada e eventuais contribuições externas de água.

De acordo com TORRES *et al.* (1997) a composição do lixiviado apresenta altas concentrações de matéria orgânica, medida como DQO (Demanda Química de Oxigênio), DBO<sub>5</sub> (Demanda Bioquímica de Oxigênio), COT (Carbono Orgânico Total) e AGV (Ácidos Graxos Voláteis), bem como quantidades consideráveis de substâncias inorgânicas (metais pesados), e ainda apresenta variações de pH; valores altos de sólidos totais, sólidos dissolvidos e de nitrogênio na forma amoniacal, entre outros.

Atualmente, o tratamento do lixiviado é apontado pela grande maioria dos técnicos e pesquisadores da área como o principal problema associado aos aterros sanitários. Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi determinar a quantidade e qualidade do lixiviado gerado em lisímetro construído no sul do Amazonas.

## **MATERIAIS E MÉTODOS**

### **COMPOSIÇÃO GRAVIMÉTRICA DOS RESÍDUOS PARA PREENCHIMENTO DO LISÍMETRO.**

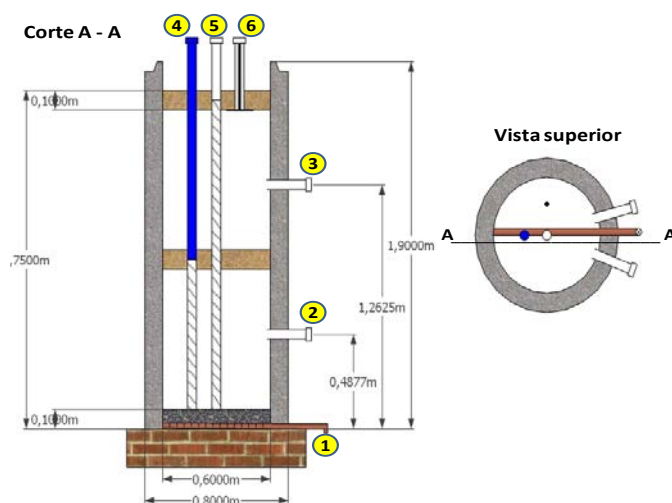
A composição gravimétrica tem como objetivo determinar a quantidade de cada componentes produzido na cidade como papel, papelão, plástico, Politereftalato de Etileno (PET), trapo, metais (ferrosos e não ferrosos), alumínio, vidros, madeira, couro, borracha, entulhos, embalagens tetra pak, pilhas, baterias, material de jardinagem, matéria orgânica e outros. As análises da composição gravimétrica foram realizadas nos meses de março de 2010 e setembro de 2010 com os resíduos domiciliares e comerciais obtidas do caminhão da cidade de Humaitá/AM, conforme metodologia de JARDINS *et al.* (1995).

### **CARACTERIZAÇÃO DO LISÍMETRO**

O lisímetro foi projetado e construído no *Campus* da Universidade Federal do Amazonas (UFAM), e preenchido com a mesma composição de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) da cidade.

O período de estudo foi de setembro de 2010 a setembro de 2011. Foram utilizadas duas manilhas de concreto armado de 0,6 m de diâmetro interno e 1m de altura, seladas na junção com massa de cimento e, com um volume de 0,49 m<sup>3</sup>. A parte superior é aberta e possui uma área de 0,28 m<sup>2</sup> que foi responsável pela captação da precipitação que incidia no lisímetro, uma vez que não havia escoamento superficial. A base foi fechada com argamassa, formando um cilindro rígido de 2 m de altura conforme Figura 1.

A)



B)



**Figura 1. A) Corte da célula experimental (Lisímetro) e equipamentos de instrumentação. 1. Tubo de drenagem, 2 e 3. Tubo de coleta de sólidos, 4. Dreno de gás, 5. Piezômetro, 6. Placa de recalque. B) Foto do Lisímetro instalado.**

O sistema de drenagem de base foi constituído por um tubo de drenagem de PVC perfurado com 25 mm de diâmetro, apoiado diretamente na base com uma leve inclinação (0,5%) para o centro para facilitar o funcionamento do sistema de drenagem. Sobre o tubo de drenagem foi utilizado uma camada de pedra britada com 0,10 m de altura. Acima da camada de base foi colocada uma camada RSU compactada e sobre esta camada RSU foi colocada 0,10 m de solo argiloso.

### MONITORAMENTO CLIMATOLÓGICO E DA CÉLULA EXPERIMENTAL.

Os dados climatológicos como temperatura do ar e pH da precipitação foram coletados diariamente no *Campus* da UFAM/Humaitá/AM, localizado nas coordenadas de 07°30'26.93" S e 63°01'32.58" O.

### MONITORAMENTO DOS PARÂMETROS FÍSICOS E QUÍMICOS DO LIXIVIADO GERADO NO LISÍMETRO.

As coletas de lixiviado foram realizadas juntamente com os dados climatológicos através de uma proveta graduada para determinação do volume.

A Tabela 1 apresenta as metodologias e equipamentos empregados nas análises físico-químicas e microbiológicas do lixiviado.

**Tabela 1. Metodologias e equipamentos utilizados nas análises do lixiviado.**

Parâmetros	Metodologia	Equipamentos
DBO <sub>5</sub> (mg.L <sup>-1</sup> )	Iodométrico	Incubadora - Marca Velpe
DQO (mg.L <sup>-1</sup> )	Titulométrico – Refluxo fechado	Digestor Hach Espectrofotômetro- DR 2010
Nitrogênio (mg.L <sup>-1</sup> )	Kjedahl	Destilador de Nitrogênio BT 541
pH	Potenciométrico	pHmeter Tec-2 Marca Tecnal
Fósforo (mg.L <sup>-1</sup> )	Ácido ascórbico	Digestor VELPE ECO 8
Cor (uH)	Colorimétrico	HI 83200 BENCH
Turbidez (UNT)	Turbidímetro	HI 88703 - HANNA
Coliformes Totais e <i>E. coli</i> (NMP/100mL)	Colilert – (ONPG/MUG)	Estufa de cultura/FANEM/002

## MÉTODO SUÍÇO

O conhecimento da geração de lixiviados é de fundamental importância na definição das estratégias de gestão e procedimentos de tratamento a serem adotados em projeto. Os métodos mais utilizados são o Método Suíço que utiliza dados operacionais do aterro e características da camada de cobertura, verificando-se a relação entre a precipitação pluviométrica e a geração de líquidos lixiviados (LINS e JUCÁ, 2003).

Por ser o mais comumente utilizado, foi bastante oportuna uma comparação dos resultados obtidos, com aqueles calculados através do procedimento conhecido como “Método Suíço”. Trata-se de um modelo simples de previsão da vazão média de lixiviados cuja fórmula é apresentada na Equação 01.

$$Q = \frac{P.A.K}{t} \quad (\text{Eq. 01})$$

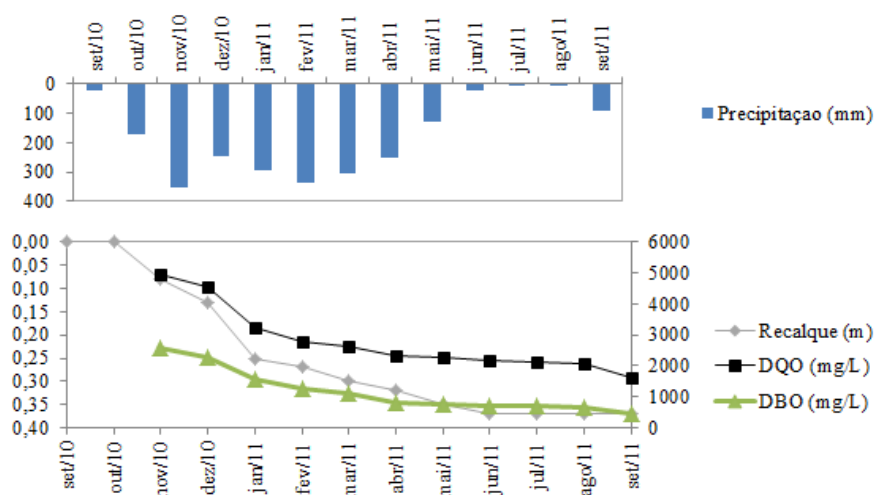
Em que: Q = vazão média de líquido percolado (L/s); t = 31.536.000 seg. (1 ano); P = precipitação anual média, em mm; A = área do aterro sanitário em m<sup>2</sup>; K = coeficiente empírico adimensional; Valores de K recomendados: Aterros de fraca compactação (de 400 a 700 kg/m<sup>3</sup>): K = 0,4.

## RESULTADOS

A composição gravimétrica utilizada para preenchimento do lisímetro foi de papel: 4,50%, papelão: 3,24%, plástico filme: 5,35%, plástico rígido: 4,95%, Pet: 0,75%, trapo: 1,70%, metais ferrosos: 3,55%, alumínio: 0,02%, vidros coloridos: 2,10%, vidros não coloridos: 0,83%, madeira: 0,60%, couro: 0,08%, borracha: 0,50%, entulho de construção: 4,28%, tetra Pak: 0,003%, pilhas: 0,001%, resíduos hospitalar: 1,16%, material de jardinagem: 5,33%, matéria orgânica: 55,62%, e outros: 5,44%.

A quantidade de resíduo utilizado no lisímetro foi de 190,9 kg. A massa específica aparente compactada foi 435,74 kg/m<sup>3</sup> considerada fracamente compactado (Peso específico 0,4 a 0,70 kg/m<sup>3</sup>) (ROCCA *et al.*, 1993).

A Figura 2 apresenta a redução contínua da concentração de DBO<sub>5</sub> e DQO no lisímetro provavelmente pela decomposição e diluição da matéria orgânica pelas chuvas e elevada temperatura e umidade da região.



**Figura 2. Variação dos parâmetros: Precipitação; Recalque; DBO<sub>5</sub>; e DQO com o tempo.**

Na Figura 2 são apresentados os valores da concentração de DBO<sub>5</sub> e DQO, que variaram dentro da faixa de aterros novos de acordo com O'LEARY & TCHOBANOGLIOUS (1994) e EL FADEL *et al.* (2002). Além disso, pode-se notar uma redução contínua dos valores de DBO<sub>5</sub> e DQO.

CATAPRETA (2008) observou que em país tropical a transição de “chorume novo” para “chorume velho” foi mais acelerado devido a decomposição mais rápida dos resíduos em função das temperaturas e índice pluviométrico mais elevados, características do material aterrado que em sua maioria foi composto por matéria orgânica.

Estes fatores contribuíram para a evolução do recalque no lisímetro que foi de 0,37 m no período de estudo

A Tabela 2 apresenta a fase ácida, com pH baixo, que foi de novembro 2010 a janeiro 2011, porém os parâmetros como DBO<sub>5</sub> e DQO foram elevados.

**Tabela 2. Estatística descritiva do lixiviado do Lisímetro**

Estatística	pH	Fósforo (mg/L)	Nitrogênio Amoniacal (mg/L)	Coliformes Totais (CT/100 mL)	<i>Escherichia Coli</i> (CF/100 mL)	Turbidez (NTU)	Cor (uH)
Méd	-	30,7	283,7	3,1x10 <sup>5</sup>	1,8x10 <sup>5</sup>	316,36	888,00
DP	0,77	5,9	29,5	1,3x10 <sup>5</sup>	6,7x10 <sup>5</sup>	80,42	205,79
Mín	5,30	21,8	245,0	1,2x10 <sup>5</sup>	1,1x10 <sup>5</sup>	236,00	630,00
Máx	7,83	42,0	330,0	5,2x10 <sup>5</sup>	3,3x10 <sup>5</sup>	467,00	1.236,00

Méd.: Média; DP: desvio Padrão; Mín.: Mínimo; Máx.: Máximo; NA: Número de Amostras.

No início da produção do lixiviado o pH foi ácido de acordo com PINTO (2000) ocorreu a aceleração das atividades microbianas, com produção significativa de ácidos carboxílicos, resultando na queda de pH (<6,0). A hidrólise enzimática dos compostos de massas moleculares mais elevadas (lipídios, proteínas e polissacarídeos) forma compostos mais simples (açúcares, aminoácidos, ácidos graxos) utilizados como fonte de energia. Esses compostos mais simples são convertidos em outros intermediários (ácido acético, propiônico, butírico, CO<sub>2</sub> e H<sub>2</sub> (acidogênese)). Nessa etapa, o pH do lixiviado cai para valores próximo a 5,0. SANTOS (2010) verificou valores de pH ao redor de 5,0 em estudos similares através de um lisímetro, provavelmente influenciado pela presença de matéria orgânica como frutas, verduras e hortaliças.

Contudo, durante a fase metanogênica quando o pH variou entre 6,5 e 7,85 os valores de DBO<sub>5</sub>, DQO e nutrientes apresentaram significativo decréscimo, como o observado em outros estudos realizados por BIDONE (2001). Estes valores de pH indicam o processo de decomposição dos RSU, através da evolução da

degradação microbiológica da matéria orgânica, que reflete a evolução global do processo de estabilização da massa de resíduos no lisímetro.

As concentrações de nitrogênio total e fósforo foram decrescente no período de estudo. Provavelmente devido à diluição da matéria orgânica.

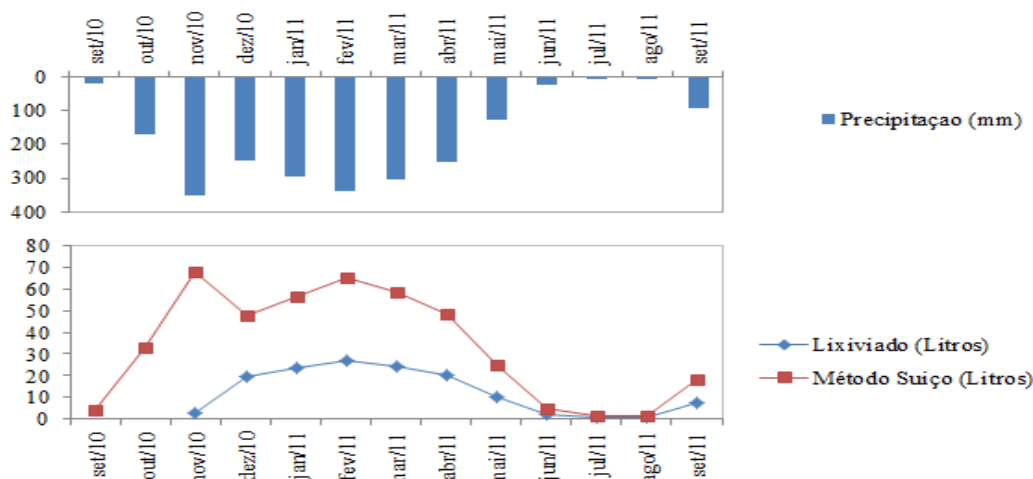
A densidade de coliformes totais e *E. coli* apresentaram uma redução ao longo do período de estudo, provavelmente pela diluição no período de chuva e avançou também no período de seca, o que pode estar associado as mudanças das condições ambientais do lisímetro, demonstradas pelo aumento da toxidade da lixívia e a não reposição de novos resíduos.

Os valores de cor e turbidez do lixiviado apresentados na Tabela 2 produzido no lisímetro foram constituídos basicamente de uma mistura de substâncias orgânicas e inorgânicas, compostos em solução e em estado coloidal e diversas espécies de microrganismos, o que ocorre no aterro sanitário, conforme demonstra também estudos desenvolvidos por ANDRADE (2002). A cor escura do lixiviado provavelmente deve-se ao material orgânico dissolvido como ácidos graxos voláteis e compostos orgânicos mais refratários como ácidos húmicos e fúlvicos.

No período de chuva os valores de cor e turbidez foram elevado devido à percolação da água da chuva na parte superior, que arrasta os materiais finos das argilas usadas na sua cobertura, matéria orgânica e inorgânica. No período de seca as concentrações de cor e turbidez reduziram-se, todavia foi observada, em seguida, uma leve tendência de aumento de cor na época seca, devido ao aumento da concentração do lixiviado.

Observou-se uma coloração marrom mais elevada no período de seca. Também constatou-se a diminuição do odor de matéria orgânica ao longo do tempo, principalmente no período de chuva.

A Figura 3 apresenta a precipitação mensal e a evolução da geração de lixiviado no lisímetro e também o estimado pelo Método Suíço, durante o período do estudo. Os volumes de lixiviados determinados pelo Método Suíço levaram a um valor de 254,27% superior lixiviado produzido no lisímetro. Este resultado mostra que o método empírico foi falho na previsão da quantidade de lixiviado no lisímetro.



**Figura 3. Precipitação mensal, evolução da geração de lixiviado no lisímetro (real e estimativa Método Suíço).**

## CONCLUSÕES

Pelos resultados obtidos, conclui-se que as características físico-químicas analisadas em termos de DBO<sub>5</sub>, DQO, nitrogênio amoniacal, fósforo, cor, turbidez e microbiológicas através de coliformes totais e *Escherichia coli* do lixiviado do lisímetro, tiveram as suas concentrações continuamente diminuídas ao longo do período de estudo, ao contrário do pH que tiveram um aumento gradativo de 5,3 até a faixa alcalina de 7,85. Este fato se



deve ao clima mais quente e úmido da região, a decomposição da matéria orgânica dos RSU aterrado no lisímetro, acelerando a fase ácida, alcançando a fase metanogênica mais rapidamente, dentro do primeiro ano.

Os resultados dos volumes de lixiviados do lisímetro encontrados através dos cálculos efetuados usando o Método Suíço foram 254,27% superiores em relação aos valores reais do lisímetro, o que demonstra preliminarmente da necessidade de uma adaptação do modelo às condições tropicais.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALMEIDA, M. L. O.; VILHENA, A. Lixo Municipal – Manual de Gerenciamento Integrado. 2º ed., IPT/CEMPRE. São Paulo, 2002.
2. ANDRADE, S.M.A. Caracterização físico-química e tratabilidade por coagulação-floculação dos líquidos percolados gerados no aterro sanitário de Uberlândia-MG. 182 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) - Faculdade de Engenharia Química da Universidade Federal de Uberlândia (FEQ/UFU), Uberlândia, 2002.
3. BIDONE, F.R.A. Resíduos Sólidos provenientes de Coletas Especiais: Eliminação e Valorização. 2001. Projeto PROSAB 2. ABES, Rio de Janeiro.
4. CATAPRETA, C. A. A. Comportamento de um aterro sanitário experimental: avaliação da influência do projeto, construção e operação. Tese (doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais, Escola de Engenharia. 2008. 316 f.
5. EL-FADEL, M.; BOU-ZEID, E.; CHAHINE, W.; ALAYLI, B. Temporal variation of leachate quality from pre-sorted and baled municipal solid waste with high organic and moisture content. In: Waste Management, v.22, n. 3, p.269-282. 2002.
6. LINS, E. A. M.; JUCÁ, J. F. T. A utilização de métodos empíricos para a estimativa do percolato gerado no aterro da Muribeca. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, SC. Anais... Joinville: ABES, 2003.
7. O'LEARY, P. R.; TCHOBANOGLOUS, G. Landfilling. In: KREITH, F. Handbook of Solid Waste Management. New York: McGraw Hill, Inc., p. 14-1 – 14-93. 1994.
8. PINTO, D. M. L. Avaliação da biodegradabilidade da fração orgânica dos resíduos sólidos domésticos. Tese (Doutorado em hidráulica e saneamento). Escola de Engenharia de São Carlos – USP, São Carlos. SP. 2000.
9. ROCCA, A.C. *et al.* Resíduos sólidos industriais. São Paulo: Cetesb, 1993.
10. SANTOS, V. C. Projeto, Construção e instrumentação de um lisímetro em escala de laboratório para estudos em resíduos sólidos urbanos. Projeto de Graduação (Graduado em Engenharia Ambiental) – Faculdade de Engenharia e Arquitetura, Universidade de Passo Fundo, Passo Fundo-RS, 2010.
11. SILVA, F. M. S. ALCÂNTARA, P. B.; LIMA, M. A. G. A.; PALHA, M. L. A. P. Monitoramento microbiológico do lixo em lisímetro no aterro sanitário da Muribeca. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2007.
12. TORRES, P., BARBA, L.E. , RIASCOS, J.; VIDAL, J.C. Tratabilidade biológica de chorume produzido em aterro não controlado. Engenharia Sanitária e Ambiental. São Carlos, Abr/Jun, Vol. 2, no 2, p.55-62, 1997.