



### III-093 – AVALIAÇÃO DOS VAPORES GERADOS A PARTIR DA EVAPORAÇÃO DE LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS

**Harley Alves da Mata Bacelar<sup>(1)</sup>**

Engenheiro Civil, Mestrando em Geotecnia Ambiental - COPPE/UFRJ.

**Álvaro Luiz Gonçalves Cantanhede**

M.Sc. em Engenharia de Meio Ambiente, Prof. Adjunto do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

**Iene Christie Figueiredo**

M.Sc. em Engenharia Ambiental, Profª. Assistente do Depto. de Recursos Hídricos e Meio Ambiente da Escola Politécnica – UFRJ.

**Lúcio Vianna Alves**

Coordenador de Projetos da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB).

**Lana Gopfert**

Graduanda em Engenharia Ambiental – UFRJ.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Departamento de Recursos Hídricos e do Meio Ambiente. Centro de Tecnologia, Bloco D – Sala 204, Cidade Universitária – Rio de Janeiro, RJ – CEP: 21.949-900 – Brasil - Tel.: +55 (21) 2562-7982 / +55 (21) 8168-7087 /Fax: +55 (21) 2562-7994 – e-mail: harleyalvesbacelar@ig.com.br

#### RESUMO

A enorme quantidade de lixiviado produzido nos aterros sanitários pode ser reduzida a pequenas parcelas de resíduos, através do processo da evaporação utilizando como fonte de energia o biogás do próprio aterro.

Além da redução de aproximadamente 97% do peso do lixiviado, esta preciosa fonte de energia, que normalmente é desperdiçada pode ser convertida em créditos de carbono, desde que os poluentes gerados na evaporação estejam dentro dos limites máximos permitidos pela legislação.

Portanto é de grande importância este estudo que vem sendo realizado no aterro metropolitano de Jardim Gramacho, localizado no município de Duque de Caxias no Rio de Janeiro, visando obter resultados satisfatórios para as emissões de gases na atmosfera. Para o estudo, foi utilizado um equipamento denominado Evaporador Unitário (EU) que foi desenvolvido pela COMLURB e que através da combustão do biogás (composto principalmente por metano e dióxido de carbônico), tem a capacidade de evaporar até 40 litros de lixiviado por hora. Como atualmente em Gramacho são produzidos por dia aproximadamente 1.500 m<sup>3</sup> de lixiviado, seriam necessários 1.563 Evaporadores Unitários para que todo este volume fosse evaporado. Contudo em aterros de médio e pequeno porte, todo o lixiviado gerado pode ser tratado pela evaporação de uma forma controlada, sem causar danos ao meio ambiente, e por um baixo custo de fabricação, operação e manutenção.

Sendo assim, esta pesquisa apresenta resultados de diversas análises realizadas nos vapores que são emitidos neste processo da evaporação de lixiviados.

Foram realizados ensaios nas amostras dos vapores condensados coletadas no campo, diretamente do Evaporador Unitário, e também nas amostras obtidas em ensaios de bancada de laboratório, onde foi possível encontrar resultados preliminares satisfatórios.

**PALAVRAS-CHAVE:** Aterro Sanitário, Evaporação, Evaporador Unitário, Lixiviado, Vapores.

#### INTRODUÇÃO

O lixiviado de aterros sanitários é tradicionalmente de difícil tratabilidade devido à dinâmica de geração com o tempo. Analiticamente caracterizam-se por elevados teores de DQO e DBO<sub>5</sub>, especialmente quando novo, decrescendo acentuadamente com a idade do aterro sanitário. A variabilidade da sua composição dificulta a generalização de tecnologia para o seu tratamento (SILVA e SEGATO, 2002).

Para o aterro de Gramacho, operado pela Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB), estima-se uma produção diária total de 1500 m<sup>3</sup> de lixiviado. Como opção para o tratamento desse lixiviado pesquisa-se atualmente a evaporação deste resíduo utilizando equipamento denominado



Evaporador Unitário (EU), desenvolvido pela COMLURB. O EU tem como fonte de energia o biogás gerado no próprio aterro. Este tipo de tratamento permite também reduzir o potencial de aquecimento global devido à queima do metano, principal componente do biogás. Entretanto, torna-se necessário avaliar com maior profundidade os subprodutos gerados pelo processo, considerando o desempenho do equipamento associado ao potencial risco da emissão de poluentes prejudiciais à saúde humana e ao meio ambiente.

Deste modo, a pesquisa avalia a aplicação da tecnologia de tratamento de lixiviados de aterros sanitários por evaporação, caracterizando os vapores produzidos a partir deste processo.

## MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas quatro atividades descritas a seguir:

### ATIVIDADE 01: ANÁLISES DOS VAPORES CONDENSADOS DO EVAPORADOR UNITÁRIO

Durante todo o processo de evaporação do lixiviado, uma pequena parte dos vapores emitidos foi condensada por uma chaminé (localizada na parte superior do EU), e coletada através de um recipiente fixado nesta chaminé. Amostras destes vapores condensados coletados foram analisadas pelo Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente (LEMA/UFRJ), segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade, NH<sub>4</sub>, SST, SSF, SSV, ST, SV, cor, turbidez e pH.

Também foram analisadas amostras do lixiviado bruto, segundo os mesmos parâmetros dos vapores condensados para poder comparar os resultados obtidos.

Na Figura 01 apresentada abaixo, pode-se observar o Evaporador Unitário em operação no Aterro de Gramacho – RJ.



Figura 01: Evaporador Unitário em operação próximo à lagoa de acumulação de lixiviado

## RESULTADOS DA ATIVIDADE 01

A Tabela 01 apresenta os resultados das análises das amostras do Lixiviado Bruto, e a Tabela 02 os resultados das análises das amostras do Vapor Condensado obtidos na evaporação do lixiviado pelo Evaporador Unitário.

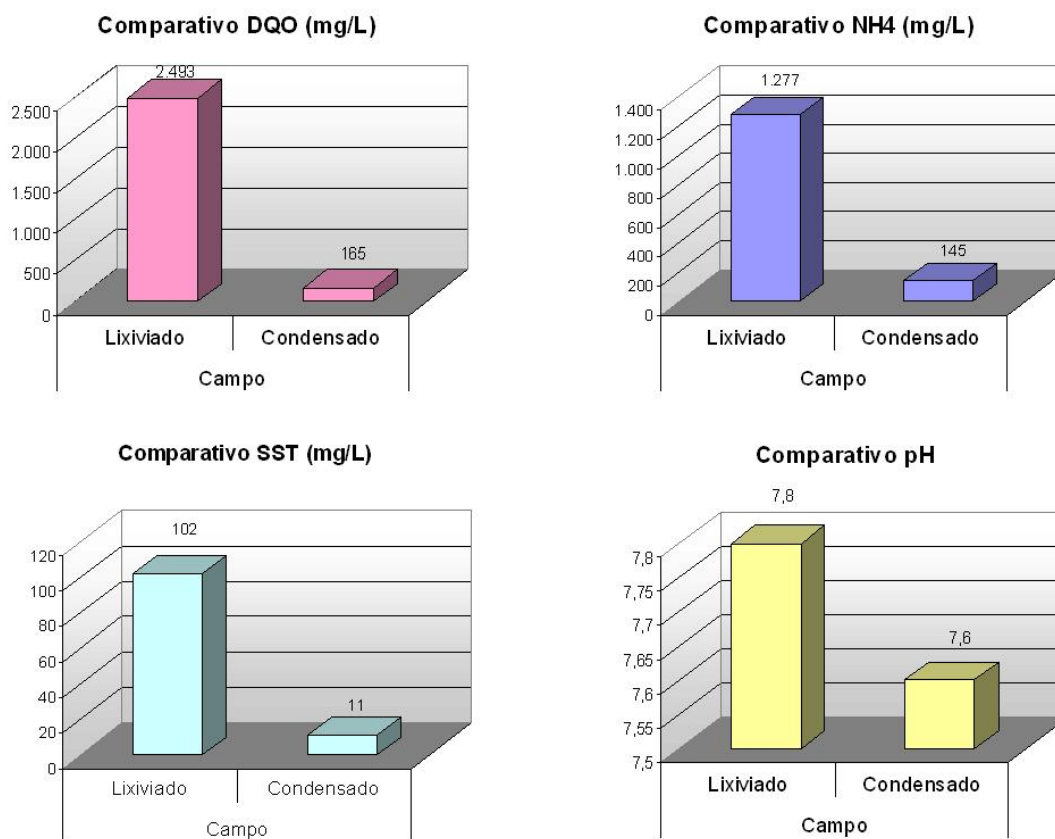
**Tabela 01: Análises das amostras de campo do Lixiviado Bruto.**

DADOS	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	pH
Média	2493	326	3851	6210	1277	102	7,8
D. Padrão	667	164	809	1980	948	121	0,39
Dados	21	6	21	21	17	21	21

**Tabela 02: Análises das amostras de campo do Vapor Condensado.**

DADOS	DQO (mg/L)	DBO (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	pH
Média	165	nd	48	340	145	11	7,6
D. Padrão	179	-	30	90	44	11	0,64
Dados	7	7	6	7	7	7	7

Os gráficos comparativos dos resultados de DQO, NH<sub>4</sub>, SST e pH, determinados para os experimentos de campo do Lixiviado Bruto e do Vapor Condensado apresentam-se abaixo na figura 02.

**Figura 02: Comparativos das amostras de campo do Lixiviado Bruto e do Vapor Condensado.**

Através dos resultados obtidos no campo, é possível concluir que as amostras de Lixiviado Bruto apresentaram elevados valores de desvio padrão e coeficiente de variação para a maior parte dos parâmetros analisados, e que o Vapor Condensado apresentou pH próximo à neutralidade (similar ao lixiviado bruto), baixa concentração de DQO, amônia e cloretos. Verificou-se também que as condições ambientais dificultam a fixação da amônia na amostra e consequentemente a sua detecção.

## ATIVIDADE 02: ANÁLISES DOS VAPORES CONDENSADOS ATRAVÉS DA EVAPORAÇÃO DO LIXIVIADO EM BANCADA DE LABORATÓRIO

Para uma melhor compreensão da técnica de evaporação do lixiviado e para comparação das análises das amostras de campo, foram realizados testes de evaporação em bancada no Laboratório de Geotecnia/COPPE-UFRJ.

A evaporação do lixiviado em bancada é composta por: balão de destilação (3 litros), coluna de fracionamento (40 cm), condensador, unha de destilação, erlenmeyer para coleta de vapor condensado e manta elétrica para aquecimento do lixiviado.

Estes ensaios de bancada apresentaram duração média de 140 minutos (2,3 horas), com operação a uma temperatura que variou de 99,8°C a 102 °C. O volume de lixiviado utilizado para os ensaios foi de 1 litro. O fim do ensaio é determinado quando se obtém um volume de condensado igual a 750 ml. O rendimento médio observado nos testes de bancada foi de 5,0 mL/min (0,3 L/h).

Para garantir a preservação da amônia na amostra de vapor condensado, optou-se pelo resfriamento do frasco de coleta do condensado durante toda a experiência.

Assim como na atividade 01, amostras destes vapores condensados coletados e do lixiviado bruto foram analisadas pelo Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente (LEMA/UFRJ), segundo os seguintes parâmetros: DQO, DBO, cloretos, alcalinidade, NH<sub>4</sub>, SST, SSF, SSV, ST, SV, cor, turbidez e pH.

Na Figura 03 apresentada abaixo, pode-se observar o aparato experimental utilizado nos ensaios de evaporação do lixiviado em bancada.



Figura 03: Equipamento utilizado no ensaio de evaporação do Lixiviado em bancada de laboratório

## RESULTADOS DA ATIVIDADE 02

A Tabela 03 apresenta os resultados das análises das amostras do Lixiviado Bruto, e a Tabela 04 os resultados das análises das amostras do Vapor Condensado obtidos na evaporação do lixiviado em bancada de laboratório.



Tabela 03: Análises das amostras em bancada do Lixiviado Bruto.

DADOS	DQO (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	pH
Média	2168	3456	5567	1869	49	7,5
D. Padrão	485	537	327	915	18	0,12
Dados	6	6	6	5	6	6

Tabela 04: Análises das amostras em bancada do Vapor Condensado.

DADOS	DQO (mg/L)	Cloretos (mg/L)	Alcalinidade (mg/L)	NH <sub>4</sub> (mg/L)	SST (mg/L)	pH
Média	31	376	2747	1617	9	8,5
D. Padrão	16	179	1894	261	46	0,64
Dados	3	3	3	3	3	3

Os gráficos comparativos dos resultados de DQO, NH<sub>4</sub>, SST e pH, determinados para os experimentos em bancada de laboratório do Lixiviado Bruto e do Vapor Condensado apresentam-se abaixo na figura 03.

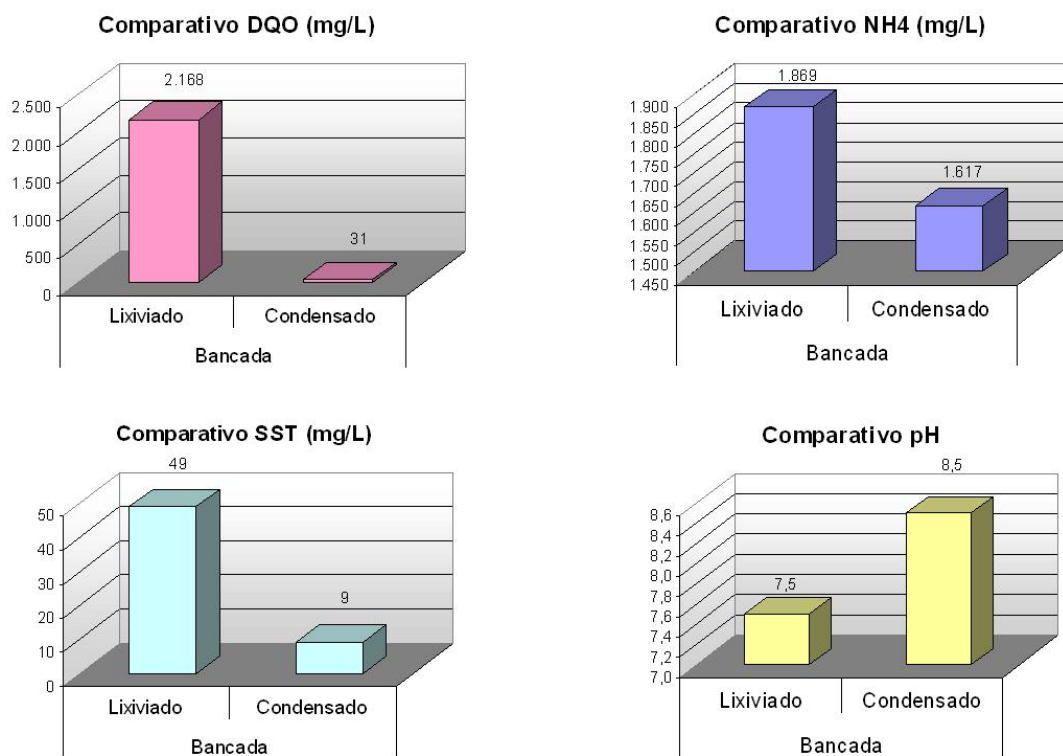


Figura 03: Comparativos das amostras em bancada do Lixiviado Bruto e do Vapor Condensado

Através dos resultados obtidos em bancada de laboratório, é possível concluir que existe a necessidade de manter a amostra refrigerada durante todo o processo de evaporação do lixiviado para minimizar a volatilização da amônia, e que foi detectada uma elevada concentração da amônia no vapor condensado. Verificou-se também uma elevação do pH nas amostras de Vapores Condensado, compatível com os resultados obtidos nos experimentos de campo.



### ATIVIDADE 03: AVALIAÇÃO COMPLEMENTAR DOS VAPORES CONDENSADOS ATRAVÉS DA EVAPORAÇÃO DO LIXIVIADO EM BANCADA DE LABORATÓRIO

Nas amostras de Vapores Condensados dos ensaios de bancada de laboratório, foram também realizadas 03 baterias de análises complementares de compostos orgânicos voláteis (Método US EPA 8260B), compostos orgânicos semi-voláteis (Método US EPA 8270C), metais (US EPA 3005A e 7470A) e de dioxinas e furanos (Método US EPA 8290 e 1613).

Na Figura 04 apresentada abaixo, pode-se observar o equipamento utilizado nas análises de Compostos Orgânicos Voláteis, realizado pelo laboratório da Analytical Solutions.



Figura 04: Equipamento utilizado nas análises de Compostos Orgânicos Voláteis

### RESULTADOS DA ATIVIDADE 03

As três amostras dos vapores condensados obtidos na evaporação do lixiviado em bancada de laboratório, foram analisadas nos dias 11/07/2008, 18/08/2008 e 21/08/2008, e obtiveram os seguintes resultados apresentados abaixo na tabela 05.

**Tabela 05: Resultados obtidos nas análises complementares dos vapores condensados em bancada.**

Parâmetros Analisados	Unidades	1ª Análise 11/07/08	2ª Análise 18/08/08	3ª Análise 21/08/08	Média
<b>Análise de Compostos Orgânicos Semi-Voláteis (detectados 14 parâmetros de 62 analisados)</b>					
Fenol	µg/L	3,90	3,55	2,93	3,46
2-Metilfenol	µg/L	48,74	7,19	28,58	28,17
3-Metilfenol	µg/L	12,26	1,01	1,08	4,78
4-Metilfenol	µg/L	7,59	0,66	0,77	3,01
2,4-Dimetilfenol	µg/L	7,30	5,37	9,34	7,34
Naftaleno	µg/L	1,91	3,54	0,71	2,05
Fenantreno	µg/L	0,73	1,32	ND	1,03
Fluoranteno	µg/L	0,81	1,28	ND	1,05
Pireno	µg/L	0,81	1,18	ND	1,00
Benzo[a]antraceno	µg/L	0,44	0,36	ND	0,40
Criseno	µg/L	0,55	0,59	ND	0,57
Dietilftalato	µg/L	5,75	ND	ND	5,75
Dibutilftalato	µg/L	0,66	ND	ND	0,66
Bis(2-etilhexil)ftalato	µg/L	147,55	404,77	538,50	363,61
<b>Análise de Dioxinas e Furanos</b>					
Dioxinas	pg/L	30	13	40	27,7
Furanos	pg/L	7,7	2,6	7,8	6,0
Total	pg/L	37,7	15,6	47,8	33,7
<b>Análise de Compostos Orgânicos Voláteis (detectados 04 parâmetros de 61 analisados)</b>					
Clorofórmio	µg/L	ND	12,32	4,49	8,41
Benzeno	µg/L	ND	ND	1,10	1,10
4-Metil-2-pentanona	µg/L	ND	ND	7,61	7,61
Tolueno	µg/L	ND	ND	1,93	1,93
<b>Análise de Metais (detectado 01 parâmetro de 19 analisados)</b>					
Boro	mg/L	ND	0,04	0,12	0,08

Os valores destacados em vermelho na tabela acima, são devidos às grandes diferenças apresentadas entre si, porém foram considerados para o cálculo da média. Já os parâmetros não detectados (ND) foram desconsiderados nos cálculos das médias.

Nas análises complementares de dioxinas e furanos, foi detectada uma média de 27,7 pg/L de dioxinas e 6,0 pg/L de furanos, totalizando o somatório de 33,7pg/L (cerca de 70 vezes maior que o limite máximo estabelecido pela Resolução CONAMA 316/2002, equivalente a 0,50 pg/L). No entanto cabe ressaltar que a EPA (agência de controle ambiental norte-americana) estabelece um valor máximo de 30,0 pg/L.

Na primeira análise do vapor condensado, não foi identificada a presença de nenhum dos compostos orgânicos voláteis (dos 61 parâmetros avaliados). Entretanto no terceiro ensaio foram detectados 04 parâmetros dos COV's. Já na análise de compostos orgânicos semi-voláteis (com 62 parâmetros), foram detectados 14 parâmetros que serão balizados com os limites máximos aceitos.

É importante observar que os ensaios em bancada foram realizados à temperatura de aproximadamente 100°C, ou seja, espera-se que os vapores emitidos pelo Evaporador Unitário em campo contenham menores teores de dioxinas e furanos, pois as temperaturas de processo são superiores a 800°C.



#### ATIVIDADE 04: ANÁLISE MICROBIOLÓGICA

Foram também realizadas análises microbiológicas em amostras do vapor condensado, obtido na evaporação do lixiviado em bancada de laboratório. Estas análises tiveram o objetivo de verificar a possível presença de fragmento de DNA de bactéria nas amostras, através da técnica de PCR (Reação de Polimerização em cadeia).

O PCR é uma metodologia que se baseia na amplificação exponencial seletiva de uma quantidade reduzida de DNA em uma amostra. Após esta amplificação, o material é submetido à técnica de DGGE (eletroforese em gel de gradiente desnaturante). O DGGE é um método de separação eletroforético baseado em diferenças no comportamento de desnaturação de fragmentos de DNA de cadeia dupla.

#### RESULTADOS DA ATIVIDADE 04

Não foi detectada pela técnica de DGGE a presença de fragmentos de DNA em quatro análises microbiológicas realizadas nas amostras do vapor condensado (no ensaio em bancada de laboratório), nos meses de junho e julho de 2008.

#### CONCLUSÕES

As condições de laboratório permitiram a detecção da amônia no Vapor Condensado, uma vez que cuidados experimentais foram tomados para impedir sua volatilização (refrigeração constante da amostra de condensado durante a coleta). Observou-se que quando não houve o resfriamento adequado da amostra de vapor condensado, a concentração de amônia se manteve em torno de 36 mg/L.

Nas análises de compostos orgânicos voláteis e compostos orgânicos semi-voláteis, poucos parâmetros foram encontrados devido ao tempo de exposição do lixiviado bruto na lagoa de acumulação, antes de passar pelo processo de evaporação. Sabe-se que estes compostos são facilmente volatilizados quando expostos à temperatura ambiente.

Devido a grande diferença de temperatura entre a evaporação no campo (maior que 800°C) e nos ensaios em bancada de laboratório (em torno de 100°C), é possível prever resultados ainda mais satisfatórios em ensaios complementares a serem realizados no campo, para quantificação de compostos orgânicos voláteis, compostos orgânicos semi-voláteis, metais e de dioxinas e furanos, ou seja, com menores quantidades de parâmetros detectados e possivelmente dentro dos limites aceitáveis no caso de dioxinas e furanos.

Nas análises microbiológicas realizadas, foi verificado que nenhum grupo bacteriano existente no lixiviado bruto é transportado para os vapores emitidos para a atmosfera, no processo de evaporação.

Com o avanço da pesquisa será possível obter melhores resultados através de um novo modelo em fase de teste, bem como o aproveitamento de alguns resíduos gerados no processo da evaporação.

#### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE - CONAMA. Resolução nº. 316, que dispõe sobre procedimentos e critérios para o funcionamento de sistemas de tratamento térmico de resíduos, 2002.
2. SILVA, C. L., SEGATO, L. M. Tratamento de líquidos percolados por evaporação através do aproveitamento de gás de aterros sanitários, XXVIII CONGRESSO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL 2002. Anais. Cancun, México, 2002.
3. VIGNOLI, C. N. Avaliação da Minimização das Emissões de Amônia no Processo de Tratamento de Chorume por Evaporação – Dissertação de Mestrado, Instituto de Química, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, 2001.