

### III-180 - REMOÇÃO E RECUPERAÇÃO DA AMÔNIA LIBERADA NO PRÉ-TRATAMENTO DOS LIXIVIADOS DE ATERROS SANITÁRIOS POR “AIR STRIPPING”

**Fernanda de Matos Ferraz** <sup>(1)</sup>

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” (UNESP). Mestre e Doutoranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

**Edilinson Martins de Albuquerque**

Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Amazonas (UFAM). Mestrando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

**Luciano do Valle Monteiro**

Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestrando em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

**Ludimila Turetta**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa (UFV). Mestranda em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

**Jurandyr Povinelli**

Professor Titular do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo.

**Endereço** <sup>(1)</sup>: Av. Trabalhador São-carlense, 400 - Centro - São Carlos - SP- CEP: 13566-590 - Brasil - Tel: (16) 3373-8753 - e-mail: fernanda.m.ferraz@gmail.com

#### RESUMO

O lixiviado de aterros sanitários é um efluente líquido poluente devido, principalmente, à sua elevada concentração de amônia, dentre outros constituintes. O objetivo deste trabalho é a aplicação do processo físico-químico “air stripping” (ou arraste com ar) para remoção da amônia dos lixiviados bruto e pré-tratado por precipitação química com hidróxido de cálcio e cal comercial (pH 11). Para tanto, utilizou-se uma torre de PVC de 2,24 m de altura e 15 cm de diâmetro, recheada com anéis do tipo “Raschig” de polietileno corrugado, com diâmetro de 1,5 cm e 5 cm de comprimento. Com o uso de um compressor, injetou-se ar na parte inferior da torre, com vazões de 1600 e 3600 L h<sup>-1</sup>. Os lixiviados bruto ou pré-tratado por precipitação química foram bombeados para a parte superior da torre com vazão de 30 L h<sup>-1</sup>. Para que a amônia não fosse apenas transferida do lixiviado para a atmosfera, neutralizou-se essa substância em dois frascos de 6 L, preenchidos com 4 L de solução de ácido sulfúrico 0,4 mol L<sup>-1</sup>. Os resultados obtidos indicaram remoção praticamente completa de toda a amônia contida nos lixiviados bruto e pré-tratado por precipitação química. A melhor condição para remoção e recolhimento da amônia foi observada quando se ajustou o pH do lixiviado com cal comercial e operou-se a torre com vazão de ar de 1600 L h<sup>-1</sup>. Nesse caso, a concentração de amônia no efluente da torre de “air stripping” foi inferior a 15 mg L<sup>-1</sup> e cerca de 80 % da amônia liberada na fase gasosa foram recolhidos nos dois frascos lavadores.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviados de Aterros Sanitários, Amônia, Precipitação Química, “Air Stripping”, Sulfato de amônio.

#### INTRODUÇÃO

Os aterros sanitários ainda são considerados a melhor alternativa para disposição final dos resíduos sólidos, principalmente para os países em desenvolvimento com disponibilidade de área para construção dessas unidades. Todavia, ainda que operados em conformidade com a NBR 8419/1992 (ou seja, com impermeabilização de base, sistema de drenagem, dentre outros), há nos aterros sanitários geração de gases de efeito estufa (como metano e dióxido de carbono) e lixiviado (Bidone e Povinelli, 2010).

O lixiviado é uma água residuária de coloração escura e forte caráter poluidor, formado a partir da mistura do chorume com águas pluviais que possam infiltrar nas células dos aterros sanitários. Em sua composição há:

elevada concentração de amônia e sólidos dissolvidos totais (como os cloretos); presença de matéria orgânica biodegradável e refratária (como as substâncias húmicas); e metais pesados (Renou et al., 2008; Lange e Amaral, 2009; Bidone e Povinelli, 2010).

Encontrada em elevada concentração, tanto no lixiviado “novo” quanto no “velho”, a amônia é uma das substâncias que mais contribuem com caráter poluente dessa águas residuária (Renou et al., 2008). Caso o lixiviado seja lançado nos corpos d’água, há possibilidade de eutrofização e quando volatilizada, a amônia contribui com a poluição atmosférica formando material particulado ao neutralizar vapores ácidos (WHO, 1996; Environment Canada, 2001).

Visando o atendimento da concentração máxima permitida de amônia em efluentes líquidos ( $20 \text{ mg L}^{-1}$ ), determinada pela Resolução CONAMA 397/08, e a minimização da poluição atmosférica, esta pesquisa propôs o pré-tratamento do lixiviado de aterros sanitários por “air stripping” e absorção, para recolhimento da amônia removida da fase líquida.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Água residuária

As amostras de lixiviado foram coletadas na extremidade do sistema de drenagem do aterro sanitário de São Carlos-SP, conforme indicado na figura 1b.

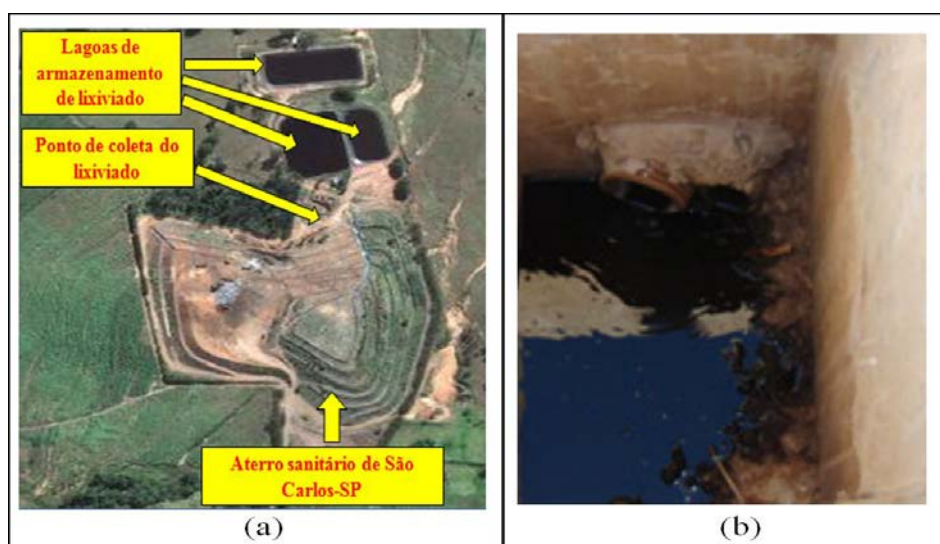


Figura 1: Aterro sanitário de São Carlos (a) e detalhe do ponto de coleta do lixiviado (b).

### Torre recheada aerada

A torre utilizada neste trabalho foi construída em PVC, com dimensões de 15 cm de diâmetro e 2,24 m de altura. O material de recheio consistiu de anéis do tipo “Raschig”, feitos de polietileno corrugado, com diâmetro interno de 1,5 cm e 5 cm de comprimento, dispostos em cerca de 1,80 m ao longo da torre e sustentados por um fundo falso.

### Operação da Torre

Os experimentos foram realizados em regime de batelada, com recirculação do lixiviado, e encerrados quando a concentração de amônia no efluente líquido era de, no máximo,  $20 \text{ mg L}^{-1}$  (valor estabelecido pela Resolução 397/08 do CONAMA). Foram utilizados os lixiviados bruto e pré-tratado por precipitação química com hidróxido de cálcio padrão analítico, de modo que seu pH fosse ajustado para 11. Visando a redução nos custos desse pré-tratamento, avaliou-se também a precipitação química do lixiviado com cal comercial. Uma embalagem de 20 kg desse produto é comercializada por cerca de R\$ 7, ao passo que um frasco de 500 g de hidróxido de cálcio é comercializado por cerca de R\$ 20 reais.

Conforme mostrado na figura 2, em cada batelada, o volume de 12 L de lixiviado era armazenado em recipiente plástico e bombeado até o topo da torre por meio de uma bomba dosadora do tipo diafragma, que operou com vazão de  $30 \text{ L h}^{-1}$ . Em sentido contrário ao deslocamento do líquido, o ar era injetado na parte inferior da torre, com o uso de um compressor operando com vazões de 1600 e  $3600 \text{ L h}^{-1}$ .

O efluente gasoso da torre foi conduzido a dois frascos lavadores contendo 4 L de uma solução de ácido sulfúrico  $0,4 \text{ mol L}^{-1}$ . A solução resultante da neutralização da amônia pelo ácido sulfúrico é o sulfato de amônio, produto utilizado como fertilizante. Após esse procedimento de recolhimento e recuperação da amônia como fertilizante, o efluente gasoso do segundo frasco era liberado para a atmosfera. Antes do início de cada experimento, adicionava-se fenolftaleína ao conteúdo dos frascos, para que se pudesse identificar a saturação da solução ácida pela neutralização da amônia. Uma vez observada a saturação, os frascos eram esvaziados e alimentados novamente com solução ácida.

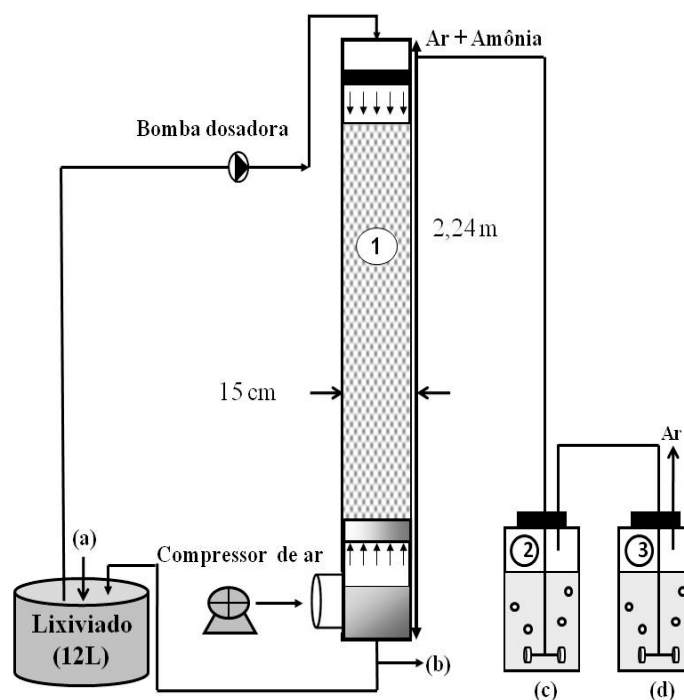


Figura 2: Torre de arraste (1) frascos lavadores (2 e 3), sendo a, b, c e d os pontos de amostragem.

### Análises físico-químicas

As variáveis pH, condutividade e nitrogênio amoniacal foram medidas de acordo com APHA-AWWA et al. (2005).

### RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os experimentos foram realizados em diferentes condições operacionais (tabela 1), de maneira que se pudesse avaliar o desempenho da torre e frascos lavadores a partir de variações na vazão de ar e ajuste no pH do lixiviado. Na tabela 2 é apresentada a caracterização físico-química do lixiviado coletado no aterro sanitário de São Carlos-SP.

**Tabela 1: Condições operacionais da torre e frascos lavadores avaliadas nos experimentos.**

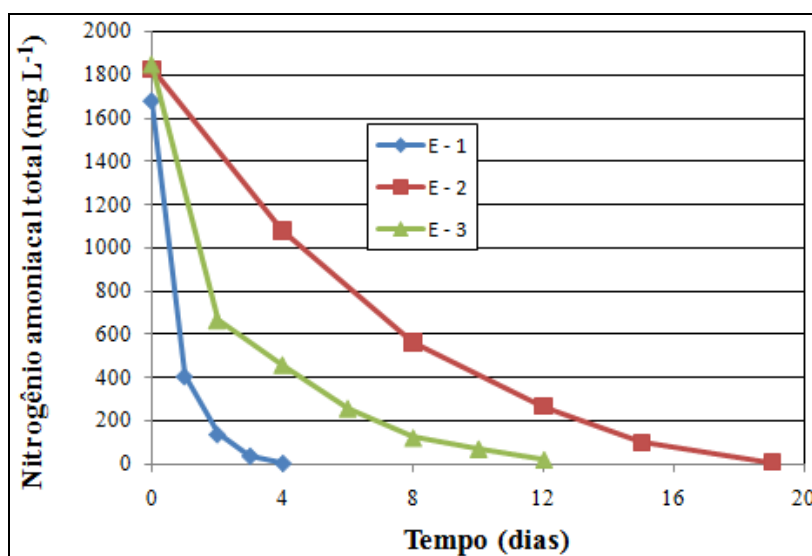
<i>Experimentos</i>	$Q_{lix}$ ( $L\ h^{-1}$ )	<i>pH</i>	$Q_{ar}$ ( $L\ h^{-1}$ )	<i>Tempo de operação (dias)</i>	<i>Solução para neutralização da amônia</i>
E – 1	18	7,8	3600	4	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.4 mol L <sup>-1</sup> )
E – 2	18	8,0	1600	19	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.4 mol L <sup>-1</sup> )
E – 3	18	11,0	1600	12	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.4 mol L <sup>-1</sup> )
E – 4	18	11,4*	1600	12	H <sub>2</sub> SO <sub>4</sub> (0.4 mol L <sup>-1</sup> )

$Q_{lix}$ : vazão de lixiviado;  $Q_{ar}$ : vazão de ar; (\*) pH ajustado com uso de cal comercial.

**Tabela 2: Caracterização do lixiviado bruto.**

<i>Variáveis físico-químicas</i>	<i>Mínimo</i>	<i>Máximo</i>
Alcalinidade total (mgCaCO <sub>3</sub> L <sup>-1</sup> )	5047	9745
pH	7,8	8,3
Carbono total (mg L <sup>-1</sup> )	1874	2430
Demanda Química de Oxigênio (mgO <sub>2</sub> L <sup>-1</sup> )	2100	3470
Condutividade (μS cm <sup>-1</sup> )	14800	26600
Nitrogênio total Kjeldahl (mg L <sup>-1</sup> )	1845	2316
Nitrogênio orgânico (mg L <sup>-1</sup> )	165	333
Nitrogênio amoniacal total (mg L <sup>-1</sup> )	1680	1983
Sólidos totais (mg L <sup>-1</sup> )	6534	11542
Sólidos fixos (mg L <sup>-1</sup> )	5104	8619
Sólidos voláteis (mg L <sup>-1</sup> )	1430	2923

De acordo com a figura 3, a remoção de nitrogênio amoniacal total (NAT) foi praticamente completa nos experimentos E -1, E -2 e E -3, e a qualidade dos efluentes em termos do NAT esteve em conformidade com a Resolução CONAMA 397/08 (que atualiza a Resolução CONAMA 357/05).

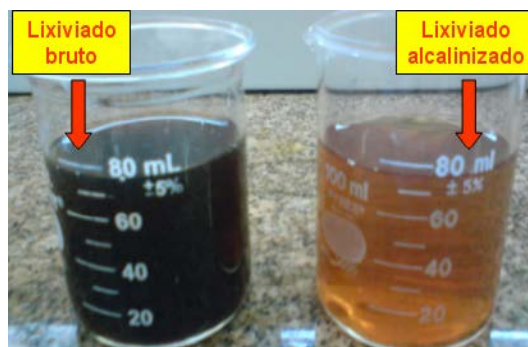


**Figura 3: Remoção do nitrogênio amoniacal total pela torre recheada aerada nos experimentos E-1, E-2 e E-3.**

Houve grande variação nos tempos de operação da torre em função das vazões de ar utilizadas. O maior valor do coeficiente de transferência de massa ( $K_{La}$ ), 1,4 d<sup>-1</sup>, foi obtido no experimento E -1, resultando no menor tempo de operação da torre de arraste, 4 dias. Todavia, essa condição operacional não foi eficaz para a neutralização da amônia nos frascos lavadores. Devido ao forte borbulhamento do gás efluente da torre de arraste, parte da solução de ácido sulfúrico foi lançada para fora dos frascos lavadores, impossibilitando a neutralização da amônia.

Com a realização do segundo experimento (E-2), constatou-se que a vazão de ar de  $1600 \text{ L h}^{-1}$  era adequada ao recolhimento da amônia, porém, o tempo de operação da torre aumentou de 4 para 19 dias (figura 3) e o coeficiente de transferência de massa foi reduzido para  $0,2 \text{ d}^{-1}$ , o que inviabilizaria o tratamento do lixiviado nessas condições.

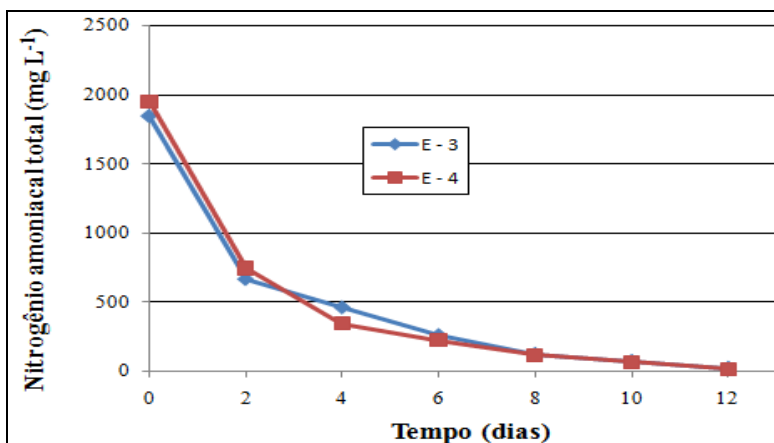
No terceiro experimento (E-3), ajustou-se o pH do lixiviado para 11 com a adição de 18 g de hidróxido de cálcio padrão analítico por litro dessa água residuária. Com esse procedimento, o tempo de operação da torre foi reduzido para 12 dias (em relação a E -2) e o coeficiente de transferência de massa foi elevado para  $0,4 \text{ d}^{-1}$ . Embora tenham sido gerados 130 mL de lodo por litro de lixiviado, houve notória clarificação dessa água residuária (figura 4).



**Figura 4: Aspecto do lixiviado antes e após a alcalinização.**

Conforme previamente mencionado, o preço da cal comercial é bastante inferior ao hidróxido de cálcio padrão analítico. Portanto, visando a redução nos custos da alcalinização, utilizou-se no experimento E - 4 cal comercial para elevar o pH do lixiviado a 11. Foram gastos 24 g de cal por litro dessa água residuária, o que resultou na geração de 175 mL de lodo.

Nota-se na figura 5 que o desempenho da torre foi praticamente igual aquele obtido no experimento E - 4, sendo também  $0,4 \text{ d}^{-1}$  o coeficiente de transferência de massa.



**Figura 5: Remoção do nitrogênio amoniacal total pela torre recheada aerada nos experimentos E-3 e E-4.**

Na figura 6 são mostradas as relações entre as variáveis condutividade e nitrogênio amoniacal total para os experimentos 3 e 4, sendo próximos a 1 os coeficientes de correlação (R) obtidos. A condutividade relaciona-se à capacidade de uma determinada solução em conduzir corrente elétrica, e seus valores variam com a concentração de íons presentes. A remoção do íon amônio ( $\text{NH}_4^+$ ) do lixiviado pela volatilização da amônia na forma não ionizada ( $\text{NH}_3$ ) resulta na diminuição da concentração de íons nessa água residuária, e com isso, são reduzidos os valores da condutividade no decorrer do tempo de operação da torre de arraste.

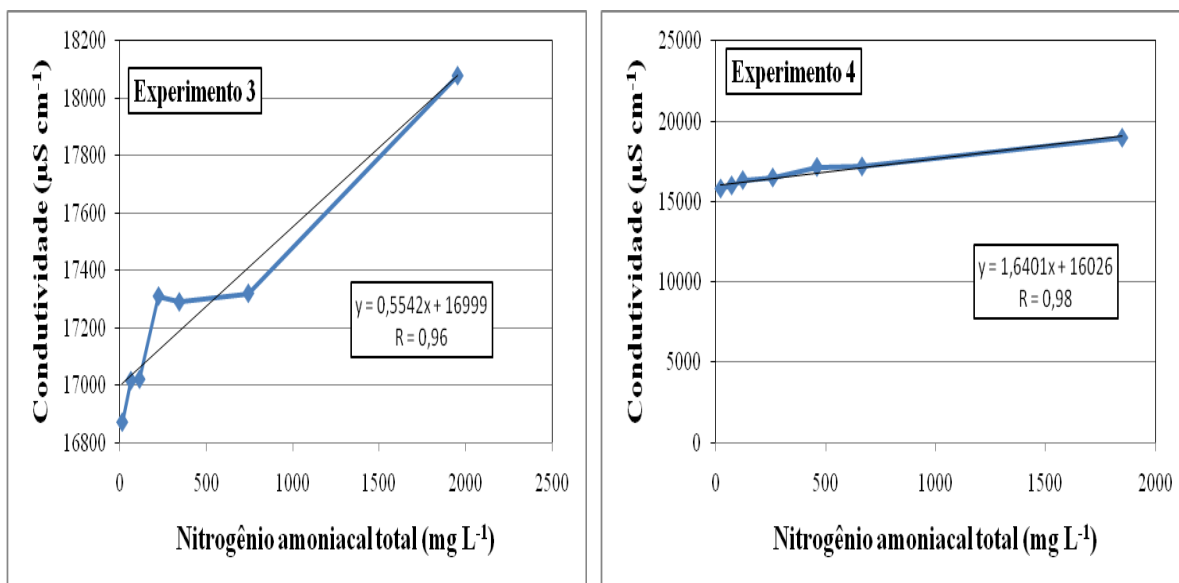


Figura 6: Relação entre condutividade e nitrogênio amoniacal total nos experimentos 3 e 4.

Nas figuras 7, 8 e 9 são mostradas as eficiências do recolhimento da amônia liberada pela torre de arraste nos experimentos E -2, E - 3 e E - 4. Os melhores resultados da neutralização da amônia em solução de ácido sulfúrico foram obtidos no experimento E -2 (figura 7), com eficiência de 97 %. Nos experimentos E - 3 e E - 4, a neutralização da amônia foi satisfatória, porém a eficiência dos frascos lavadores nessas situações foi reduzida para 75 % (figuras 8 e 9). Dentre as causas desse resultado tem-se: o menor tempo de contato (12 dias) entre a amônia e a solução ácida, em comparação aos 19 dias do experimento E - 2; além das perdas de amônia para a atmosfera, durante a abertura dos frascos para retirada de amostra.

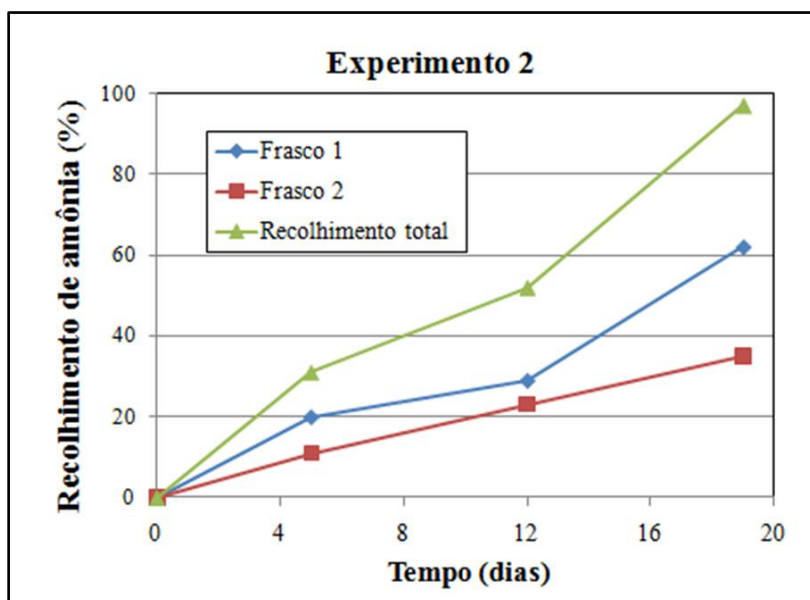


Figura 7: Recolhimento da amônia no experimento E - 2.



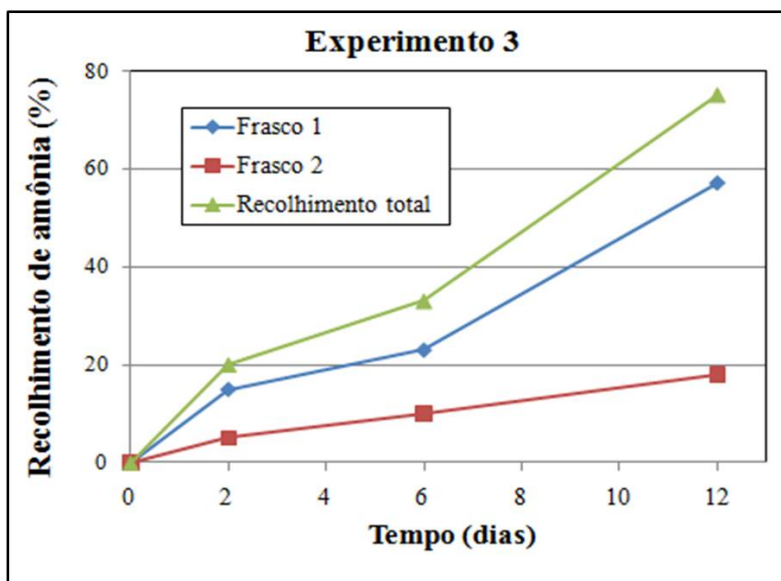


Figura 8: Recolhimento da amônia no experimento E – 3.

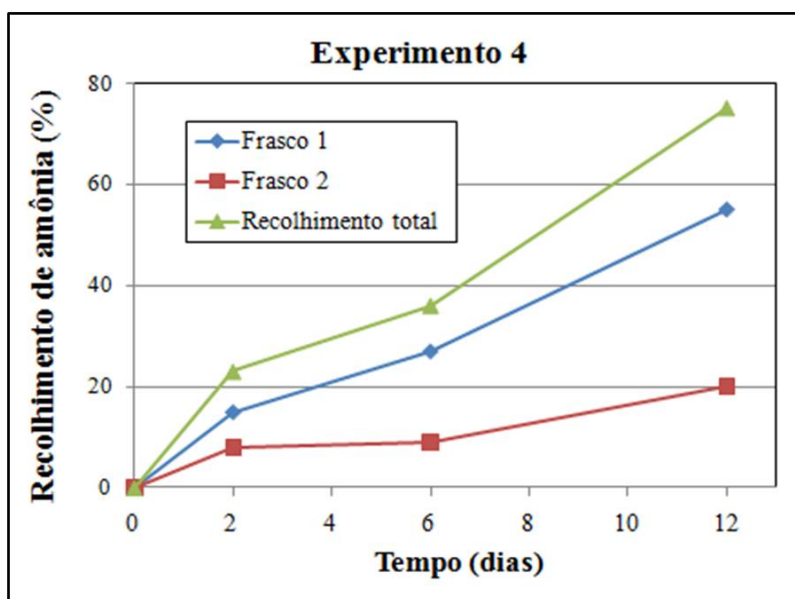


Figura 9: Recolhimento da amônia no experimento E – 4.

## CONCLUSÕES

Os resultados obtidos indicaram que a qualidade do lixiviado tratado esteve em conformidade com as especificações da Resolução CONAMA 397/08 quanto ao nitrogênio amoniacal total. O ajuste do pH do lixiviado com cal comercial é uma alternativa interessante para a redução do tempo de operação da torre, clarificação do lixiviado e custos, uma vez que o valor comercial desse produto é cerca de 35 % menor que o do hidróxido de cálcio padrão analítico. Os resultados do recolhimento e recuperação da amônia como sulfato de amônio foram promissores, com eficiências variando de 75 a 97 %.

## **REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS**

1. APHA AWWA. Standard methods for examination of water and wastewater. 21 ed., New York, WPCF, 2005.
2. BIDONE, F.R.A & POVINELLI, J. Conceitos Básicos de Resíduos Sólidos. In: EESC-USP. Projeto REENGE. São Carlos, 2010.
3. ENVIRONMENT CANADA. (2001). Canadian Environmental Protection Act, 1999 - Priority Substances List Assessment Report - Ammonia in the Aquatic Environment.
4. LANGE, C.L.; AMARAL, M.C.S. Geração e características do lixiviado. In: Gomes, L.P. Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para condições brasileiras. Rio de Janeiro: ABES, 2009. 360 p.
5. RENOU S, GIVAUDAN JG, POULAIN S, DIRASSOUYAN F, MOULIN P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. Journal of Hazardous Materials, v.150, p.468–493, 1998.
6. WORLD HEALTH ORGANIZATION (WHO). Environmental health criteria, nº 54: Ammonia. Geneva, 1986. Disponível em: <<http://www.inchem.org/documents/ehc/ehc/ehc54.htm>>. Acesso em set.2010.