



### III-102 – REMOÇÃO DE AMÔNIA DO LIXIVIADO DE ATERROS SANITÁRIOS POR ARRASTE (*STRIPPING*) EM TORRES RECHEADAS AERADAS

**Gabriel D'Arrigo de Brito Souto<sup>(1)</sup>**

Licenciado em Ciências Biológicas pela Pontifícia Universidade Católica do Rio Grande do Sul. Engenheiro Civil pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Mestre e Doutor em Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

**Fernanda de Matos Ferraz**

Bacharel em Química Ambiental pela Universidade Estadual Paulista (UNESP). Mestranda do programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

**Liana Notari Pasqualini**

Engenheira Ambiental pela Universidade Federal de Viçosa. Mestranda do programa de Pós-Graduação em Engenharia Hidráulica e Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP).

**Jurandyr Povinelli**

Engenheiro Civil e Engenheiro Sanitarista pela USP. Especialização em Engenharia Sanitária pela USP. Mestre em Saúde Pública pela USP. Doutor em Engenharia Hidráulica e Saneamento pela EESC-USP. Livre-Docente (USP). Professor Titular da EESC/USP.

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Prof. Carvalho de Freitas, 1336 – Teresópolis – Porto Alegre - RS - CEP: 91720-090 - Brasil - Tel: (51) 3336-5358 - e-mail: [gbsouto@terra.com.br](mailto:gbsouto@terra.com.br)

#### RESUMO

O lixiviado é provavelmente o mais sério problema ambiental relacionado aos aterros sanitários. Apesar do considerável esforço de pesquisa na área, ainda não foi encontrada uma estratégia eficaz para o seu tratamento. Dentre os diversos poluentes presentes no lixiviado, o nitrogênio amoniacal parece ser o mais relevante. Este trabalho objetivou demonstrar a possibilidade de remoção do nitrogênio amoniacal do lixiviado com o uso de torres recheadas aeradas. Esses dispositivos são bastante usados no âmbito da engenharia química, mas sua aplicação ao saneamento ainda é bastante limitada. Os resultados obtidos mostraram que as torres recheadas são eficazes na remoção do nitrogênio amoniacal, alcançando eficiências de cerca de 99 %, dependendo da duração da batelada.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, Amônia, *Stripping*, Arraste, Torres Recheadas, Aterros Sanitários.

#### INTRODUÇÃO

O lixiviado é, muito provavelmente, o mais sério problema ambiental dos aterros sanitários, mesmo daqueles corretamente projetados e operados. Apesar do considerável esforço de pesquisa na área, ainda não foi encontrada uma forma ideal de efetuar seu tratamento.

Entre os diversos poluentes presentes no lixiviado, o nitrogênio amoniacal parece ser o mais relevante. Na forma de amônia livre ( $\text{NH}_3$ ) ele é efetivamente tóxico para a biota aquática (USEPA, 1999). Como suas concentrações no lixiviado são usualmente altas, podendo chegar a cerca de 2 000 mg/L, qualquer alternativa de tratamento proposta deve prever a sua remoção.

O conhecimento sobre torres recheadas (*packed towers*) é bastante consolidado dentro da engenharia química. Surpreendentemente, porém, existe um número muito pequeno de trabalhos científicos e ainda menor de aplicações em escala real desses equipamentos no tocante à remoção de amônia do lixiviado de aterros sanitários. Uma dessas raras exceções é a unidade piloto desenvolvida pelo engenheiro Luigi Cardillo (ABLP, 2006). Isto, provavelmente, se deve a uma tendência de aplicar sistemas usados para o tratamento de esgotos sanitários, em particular os sistemas biológicos de nitrificação/desnitrificação. Quando se adota o arraste (*stripping*) de amônia, normalmente são usados tanques de arraste e não torres. Como os custos dos sopradores são muito menores no caso das torres, devido às muito menores perdas de carga do fluxo de ar



(LaGrega *et al.*, 2001), os tanques de arraste são dificilmente justificáveis, exceto no caso de serem adaptações de tanques de aeração já existentes.

O presente trabalho tem por objetivo demonstrar as possibilidades do uso de torres recheadas aeradas para a remoção da amônia do lixiviado de aterros sanitários, destacando o efeito de alguns pré-tratamentos, como a elevação do pH mediante adição de cal hidratada.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Lixiviado

O lixiviado usado nessa pesquisa foi coletado de um aterro sanitário que recebe os resíduos urbanos domésticos de uma cidade de médio porte, além de alguns resíduos de abatedouro, previamente autorizados. As características atuais desse lixiviado permitem considerá-lo como bastante estabilizado (“chorume velho”).

### Torres de arraste

As torres usadas no presente trabalho consistem em tubos de PVC de 150 mm de diâmetro e 140 cm de altura. Na base da torre há aberturas para a entrada de ar e a saída de líquido. O topo é aberto à atmosfera. O leito recheado ocupa uma altura de 1 m, sustentado por um fundo falso. O material de recheio consiste de anéis tipo “Raschig”, feitos de polietileno corrugado, com diâmetro de 25 mm.

O lixiviado é introduzido pela parte superior da torre, através de um dispositivo que permite uma distribuição homogênea sobre o material de recheio. O ar é introduzido com auxílio de um compressor. Os fluxos de ar e de líquido seguem em contra-corrente.

A Figura 1 apresenta o esquema geral das torres. A Figura 2 ilustra o material de recheio.

### Operação das torres

As torres foram operadas em regime de batelada. Para cada batelada era feita uma nova coleta de lixiviado no aterro. O lixiviado era mantido em recipientes plásticos de 20 L, sendo encaminhado ao topo da torre com auxílio de uma bomba dosadora do tipo diafragma. O retorno do lixiviado ao recipiente era feito por gravidade. Os pontos de coleta e retorno eram afastados o máximo possível para minimizar a possibilidade de curtos-circuitos.

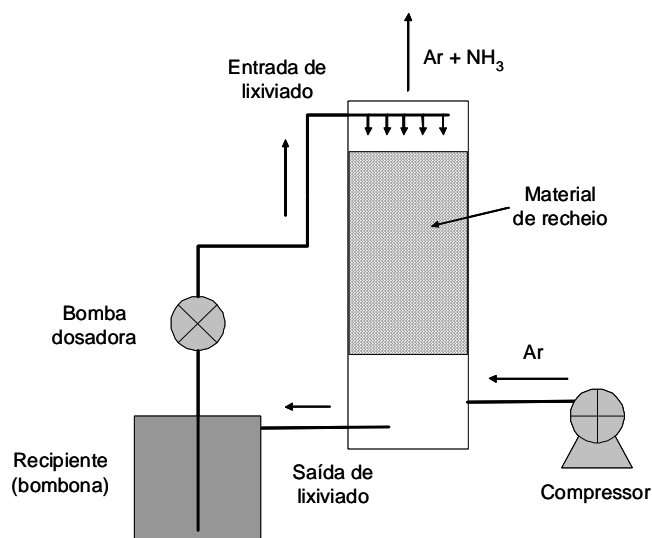


Figura 1: Desenho esquemático das torres de arraste.



**Figura 2:** Anéis de Raschig corrugados usados como material de recheio.

A vazão de líquido variou entre 240 e 350 mL/min. A vazão de ar foi mantida constante em cerca de 1,1 L/s. Uma vez que a variável significativa para o processo é a razão entre as vazões de ar e de líquido, e considerando que o controle da vazão de líquido é muito mais fácil que o da vazão de ar, optou-se por manter a última constante e variar somente a primeira.

### **Variação do pH**

Em um dos experimentos o pH do lixiviado bruto foi elevado para 12 mediante a adição de cal hidratada –  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  – em pó. O uso do reagente sólido se mostrou necessário tendo em vista a elevada alcalinidade do lixiviado (cerca de 10 000 mg/L de  $\text{CaCO}_3$ ), o que inviabilizou o uso de soluções ou mesmo suspensões de  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . A necessidade de separação do lodo fez com que essa batelada fosse realizada com um volume menor de lixiviado - 10 L, ao contrário dos 16 L usuais.

### **Análises físico-químicas**

As variáveis pH, alcalinidade, nitrogênio total Kjeldahl, nitrogênio amoniacal, nitrito, nitrato, demanda química de oxigênio (DQO), condutividade e carbono (total, orgânico, inorgânico e volátil) foram medidas de acordo com APHA *et al.* (2005).

## **RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados brutos referentes às diversas bateladas podem ser obtidos diretamente de Souto (2009). Neste artigo serão apresentados apenas os gráficos mais importantes resultantes dos experimentos.

### **Caracterização do lixiviado**

A **Tabela 1** apresenta as características do lixiviado bruto usado nos ensaios.

### **Remoção de amônia em torres aeradas sem elevação de pH**

Na Figura 3 nota-se que, sem qualquer correção de pH, praticamente todo o nitrogênio amoniacal (mais de 99 %) é eliminado após 6 dias de operação. A mensuração das concentrações de nitrito e nitrato mostra que o papel da nitrificação é muito pequeno nesse processo (Figura 4). A formação desses compostos só ocorre depois que as concentrações de nitrogênio amoniacal estão abaixo de 50 mg/L. Desse modo comprova-se que o principal fenômeno responsável pela remoção da amônia é o arraste (*stripping*).



Tabela 1: Características do lixiviado bruto

Variável	Unidade	Mínimo	Máximo
pH		8,0	8,2
Nitrogênio amoniacal	mg/L de N	1 800	2 900
Nitrogênio total Kjeldahl	mg/L de N	2 100	3 200
Nitrito	mg/L de N	-	1,0
Nitrato	mg/L de N	-	1,1
Alcalinidade total	mg/L de CaCO <sub>3</sub>	9 000	11 000
Condutividade	µS/cm	19 500	27 000
DQO	mg/L de O <sub>2</sub>	3 600	4 900
Carbono total	mg/L de C	3 300	4 200
Carbono volátil ( <i>purgeable</i> )	mg/L de C	80	400
Carbono inorgânico	mg/L de C	1 900	2 900
Carbono orgânico	mg/L de C	870	1 600

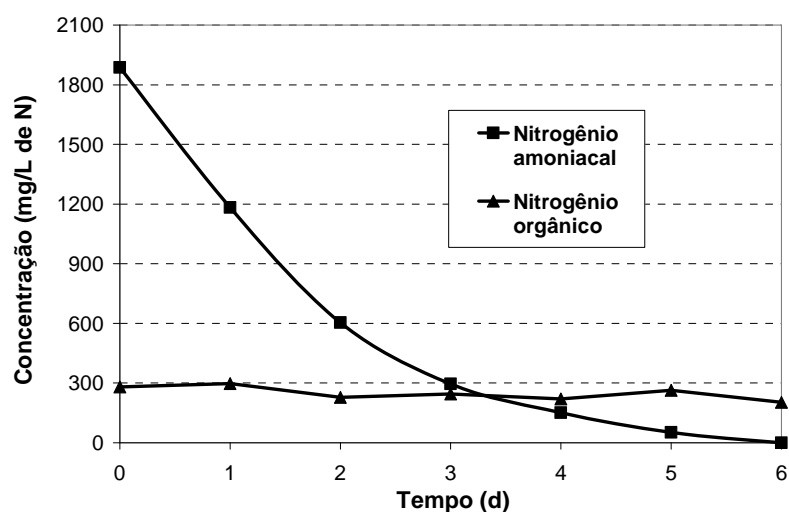


Figura 3: Variação do nitrogênio amoniacal ao longo do tempo, para uma batelada com vazão de líquido de 300 mL/min, vazão de ar de 1,1 L/s e sem correção de pH.

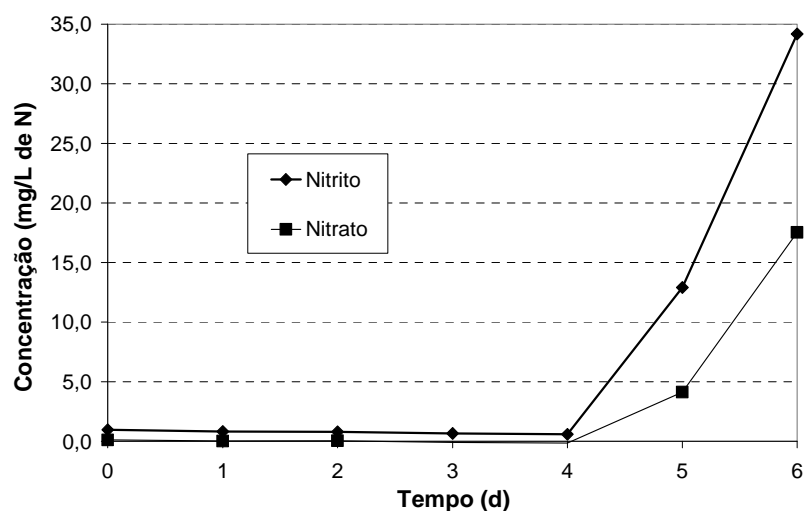


Figura 4: Variação das concentrações de nitrito e nitrato ao longo do tempo, para uma batelada com vazão de líquido de 300 mL/min, vazão de ar de 1,1 L/s e sem correção de pH.



Um possível mecanismo de nitrificação-desnitrificação biológica não deve ocorrer de forma significativa. Os microrganismos desnitrificantes consomem matéria orgânica (carbono orgânico). O comportamento da variação das concentrações das diversas formas de carbono (Figura 5) mostra que as concentrações de carbono orgânico permanecem praticamente constantes ao longo do tempo.

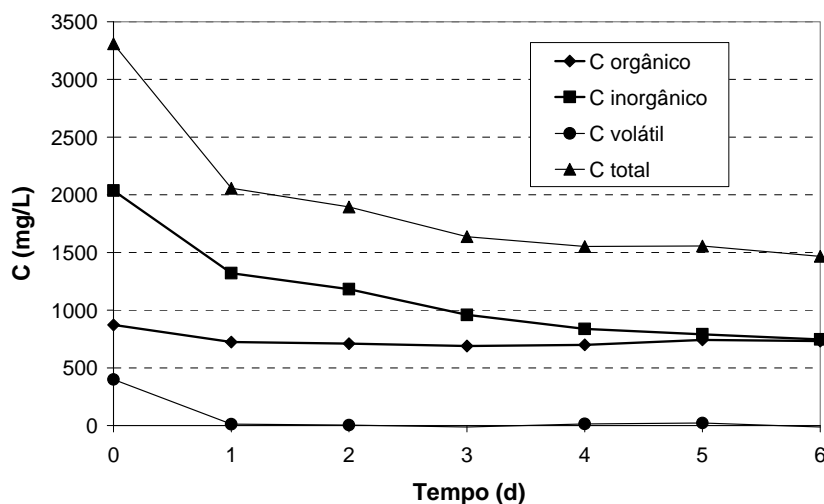


Figura 5: Variação das concentrações de carbono ao longo do tempo em torre aerada, com vazão de líquido de 300 mL/min, vazão de ar de 1,1 L/s e sem correção de pH.

#### Remoção de amônia em torres aeradas com elevação prévia do pH

A Figura 6 mostra que a elevação do pH a 12 diminui em quase 60 % o tempo necessário para a remoção quase completa da amônia. Entretanto, isso exigiu o consumo de 18 g de  $\text{Ca(OH)}_2$  por litro de lixiviado, o que conduziu a uma geração de 125 mL de lodo por litro de lixiviado.

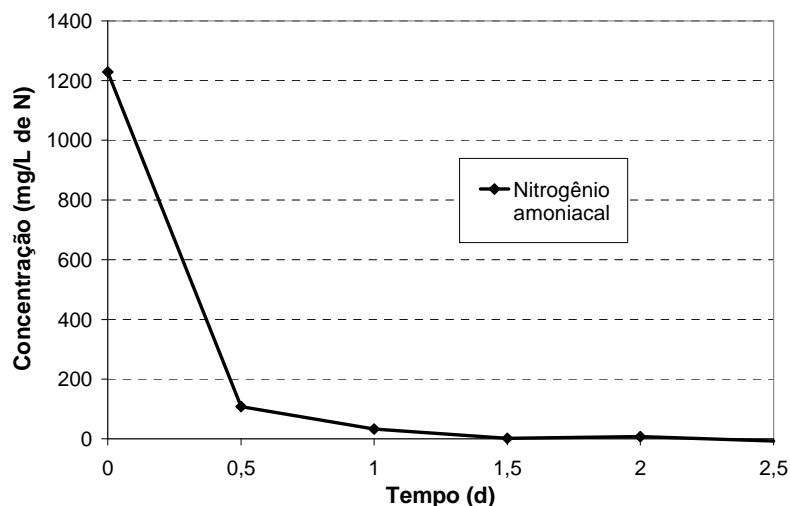


Figura 6 : Variação da concentração de nitrogênio amoniacal ao longo do tempo, para uma batelada com vazão de líquido de 240 mL/min, vazão de ar de 1,1 L/s e com o pH elevado para 12.



### Consumo de ar

Relacionando-se o volume de ar gasto em cada batelada com a massa de amônia removida, constata-se que, independentemente das condições de operação, são necessários 12 m<sup>3</sup> de ar para remover um grama de amônia. Essa constância conduz à hipótese de que a alcalinização talvez não seja fundamental, e que a aceleração observada tenha sido meramente função do menor volume de lixiviado usado. Comprovar tal hipótese requer novos ensaios, mas, se comprovada, indica que o principal parâmetro de projeto deva ser a razão entre as vazões de ar e de lixiviado.

### CONCLUSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho permitem concluir que o uso de torres recheadas aeradas para a remoção de amônia do lixiviado de aterros sanitários é uma técnica promissora que merece estudos mais aprofundados. A elevação prévia do pH, embora resulte em aumento da velocidade, implica no consumo de grandes quantidades de alcalinizante. Além disso, requer o manejo e a disposição do lodo gerado. Deve-se assim buscar outras formas de otimizar o processo, como o aquecimento prévio do lixiviado ou o aumento da razão entre a vazão de líquido e a vazão de ar.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABLP – Associação Brasileira de Limpeza Pública. Remoção de amônia por arraste com ar. *Limpeza Pública*, v. 62, p. 27, 2006.
2. APHA, AWWA, WEF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater. 21<sup>a</sup>ed., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation. Washington DC, USA, 2005.
3. LAGREGA, M.D., BUCKINGHAM, P.L., EVANS, J.C. and Environmental Resources Management. Hazardous Waste Management. 2<sup>nd</sup> ed. International Edition. Singapore: McGraw-Hill. McGraw-Hill Series in Water Resources and Environmental Engineering. 1 202 p., 2001.
4. SOUTO, G.D.B. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros – estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar (*stripping*). Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 371 p. 2009.
5. USEPA – United States Environmental Protection Agency. 1999 Update of Ambient Water Quality Criteria for Ammonia. Office of Water. EPA-822-R-99-014. 1999.