

## II-177 - ESTUDO DA APLICAÇÃO DOS MBBRs PARA TRATAMENTO BIOLÓGICO DE LIXIVIADOS DE ATERRO SANITÁRIO E ATERRO CONTROLADO

**Simone Maria Ribas Vendramel<sup>(1)</sup>**

Engenheira Química pela PUC-PR. Mestrado e doutorado em Engenharia Química pela COPPE/UFRJ. Pós-Doutorado na Universidade de Barcelona, Espanha. Professora do Curso técnico e tecnólogo de Meio Ambiente do IFRJ - Campus Rio de Janeiro.

**Renata Catherine Gomes do Nascimento**

Formada em Gestão Ambiental pelo IFRJ/Campus Rio de Janeiro. Graduanda em Geologia pela UFRJ.

**Caroline da Silva Rego Monteiro**

Graduanda em CST Gestão Ambiental, IFRJ/Campus Rio de Janeiro.

**Lucas Martins Corrêa**

Estudante do curso Técnico em Meio Ambiente, IFRJ/Campus Rio de Janeiro

**Endereço<sup>(1)</sup>:** Rua Senador Furtado, 121 - Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20270-021- Brasil - Tel: (21) 2566-7700 - e-mail: [simone.vendramel@ifrj.edu.br](mailto:simone.vendramel@ifrj.edu.br)

### RESUMO

A principal forma de descarte dos resíduos sólidos urbanos no Brasil é, atualmente, os aterros sanitários. Porém, até muito pouco tempo, antes da aprovação da PNRS (Política Nacional dos Resíduos Sólidos)<sup>1</sup> em 2010 era principalmente os lixões, que embora sejam remediáveis, não deixam de gerar milhares de litros de lixiviado diariamente. O lixiviado gerado em aterros ou lixões é um líquido altamente poluente proveniente da degradação de inúmeros compostos orgânicos e inorgânicos presentes nas diversas camadas de resíduos que se sobrepõem nos processos de aterramento e que apresenta, portanto, grande complexidade, variabilidade e, inclusive, toxicidade associada a sua composição. Por conta de todos estes fatores cada lixiviado possui características únicas e que se alteram com o passar do tempo, condições que levam a um grande desafio no que se refere o tratamento adequado e eficiente destes resíduos. Portanto, a caracterização de lixiviados assim como o tratamento dos mesmos é de suma importância para gerar conhecimento em torno desta diversidade assim como de extrema relevância para a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo caracterizar o lixiviado gerado em dois aterros do estado do Rio de Janeiro e avaliar o tratamento biológico dos mesmos usando a técnica dos MBBR (biofilme em leito móvel). Resultados dos parâmetros avaliados para os dois lixiviados mostraram características típicas dos lixiviados brasileiros, com destaque para as baixas concentrações de metais encontradas. No que se refere ao tratamento com a técnica dos MBBR, as eficiências de remoção para matéria orgânica foram poucas significativas para os dois lixiviados (12 e 22%). No caso das eficiências de remoção para amônia foram alcançados valores mais altos, de até 85% para bateladas de 168h, o que indica, provavelmente, que ocorreu “stripping” de amônia e não a biodegradação.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, metais, tratamento biológico.

### INTRODUÇÃO

Atualmente, o agravamento da crise hídrica no contexto nacional também ressalta as questões relacionadas à poluição dos recursos hídricos que influenciam diretamente na qualidade e disponibilidade das águas para as suas diversas utilidades. Neste contexto, um dos resíduos líquidos gerados com grande potencial poluidor é o lixiviado gerado nos processos de aterramento (aterros sanitários/aterros controlados/lixões) dos resíduos sólidos urbanos (RSU), o qual pode ser considerado um dos principais problemas associado à disposição destes resíduos.

Mundialmente, aterros ainda são a principal forma de disposição final dos resíduos sólidos urbanos. Nos países europeus, por exemplo, 38% dos 486 Kg de RSU gerados por pessoa no ano de 2010 foram enviados para aterros. Na China, em torno de 80% dos 0,173 bilhões de RSU gerados em 2013 também foram destinados em

aterros (Zhang *et al.*, 2016)<sup>2</sup>. No Brasil, a produção de resíduos sólidos urbanos varia entre 0,5 e 1,2 kg/hab.dia. Estima-se que a produção nacional diária de resíduos domiciliares seja em torno de 120 mil toneladas (Ferreira, 2000)<sup>3</sup>. Para estes montantes de RSU gerados em todo o mundo e destinados aos processos de aterramento são gerados milhares de litros de lixiviados diariamente.

No estado do Rio de Janeiro, assim como em todo o país, tanto os aterros sanitários existentes como, principalmente, os aterros controlados e lixões, representam um risco de grandes impactos ambientais. De um modo geral, as características que conferem este elevado potencial poluidor aos lixiviados são: alta concentração de matéria orgânica (biodegradável e recalcitrante), amônia e outros compostos inorgânicos como os metais e, ainda, a toxicidade que pode estar aliada a vários compostos presentes nestas categorias (Pacheco e Peralta-Zamora<sup>4</sup>, 2004, Schiopu e Gavrilescu<sup>5</sup>, 2010). Segundo Kjeldsen<sup>5</sup> *et al.* (2002), os poluentes presentes no lixiviado podem ser divididos em quatro grupos: material orgânico dissolvido; macro componentes inorgânicos; metais traço e compostos orgânicos xenobióticos.

A grande variabilidade e complexidade dos lixiviados é resultado de vários fatores como: origem e características globais dos resíduos sólidos (composição, teor de umidade, grau de compactação), condições climáticas (regime de chuvas, temperatura), área de disposição dos resíduos (permeabilidade do solo, escoamento superficial), o projeto, o modo de operação e, principalmente, a idade do aterro (quanto mais antigo, mais recalcitrantes são as substâncias que o compõe) (Borzacconi<sup>6</sup> *et al.*, 1998; El Fadel<sup>7</sup> *et al.*, 2002; Kjeldsen<sup>8</sup> *et al.*, 2002).

Por apresentar essa grande variabilidade em sua composição, não há uma simples e universal solução para o seu tratamento, a variedade de sistemas e tecnologias que são utilizados no tratamento de lixiviados em várias partes do mundo indica a não existência de uma concepção padrão (Hassan e Xie, 2014)<sup>9</sup>. Muitas são as possibilidades usadas na prática e/ou investigadas para o tratamento de lixiviados de aterro sanitário, começando pelas estratégias operacionais como: tratar no próprio local do aterro, tratar parcialmente no local do aterro e enviar para uma estação de tratamento de esgoto; ou enviar diretamente às estações de tratamento de esgoto para o tratamento combinado (PROSAB 5, 2009)<sup>10</sup>. E principalmente pelas diversas tecnologias e suas combinações para o tratamento dos lixiviados tais como: “stripping” (Kargi e Pamukoglu 2004), separação por membranas (Primo *et al.*, 2008), coagulação-floculação (Maranon *et al.*, 2008), oxidação química (Sun *et al.*, 2009), e processos biológicos (Yan e Hu, 2009; Spagni e Marsilli-Libelli, 2009) apud Hassan e Xie<sup>9</sup>, 2014.

A alternativa de operação escolhida bem como a tecnologia de tratamento a ser utilizada depende, além das características intrínsecas de cada lixiviado, também dos padrões de descarte para efluentes estabelecidos pelos órgãos ambientais, assim como da disponibilidade de estações de tratamento de esgoto e da parte financeira. Neste caso, os processos biológicos levam vantagem devido a sua simplicidade e baixo custo, no entanto, no que se refere ao tratamento de lixiviados não são tão efetivos como para esgoto. Devido justamente as características únicas e instáveis dos lixiviados, ou seja, o fato das mesmas se alterarem com o passar do tempo, tornando-se cada vez mais recalcitrantes, aumentam o desafio que é o tratamento adequado e eficiente deste resíduo líquido. Portanto, a caracterização de lixiviados assim como o tratamento dos mesmos é de suma importância para gerar conhecimento em torno desta diversidade assim como de extrema relevância para a proteção da qualidade das águas superficiais e subterrâneas.

Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo agregar conhecimento a partir da caracterização dos lixiviados gerados em um aterro sanitário e um aterro controlado no estado do Rio de Janeiro, assim como no estudo da tratabilidade dos mesmos por processos biológicos utilizando da técnica com biofilmes (MBBR), tendo como intuito contribuir na redução dos impactos ambientais destes lixiviados quando descartados nos cursos hídricos.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### 2.1 Coleta dos lixiviados

Foram realizadas três coletas distintas do lixiviado gerado no aterro controlado e no sanitário, durante o período de desenvolvimento do trabalho. As amostras foram coletadas em bombonas plásticas e submetidas à refrigeração ( $T \leq 4^{\circ}\text{C}$ ), até serem utilizadas para análise e/ou tratamento.

### 2.2 Caracterização dos lixiviados

Todas as amostras de lixiviado coletadas foram caracterizadas conforme os parâmetros apresentados na Tabela 1. Todos os procedimentos foram realizados seguindo a metodologia do “Standard Methods” (APHA, 2005)<sup>11</sup>

**Tabela 1 - Relação dos parâmetros e metodologia analítica utilizada na caracterização dos lixiviados de acordo com o “Standard Methods” (APHA, 2005).**

Parâmetro	Metodologia	APHA, 2005
pH	potenciometria	método 4500 H <sup>+</sup> B
Nitrogênio Amoniacal	eletrodo Íon-seletivo de amônia	método 4500-NH <sub>3</sub> D
Fósforo Total	espectrofotometria	método 4500 – PE
Íons Cloreto	argentimétrico de Mohr	método 4500-Cl <sup>-</sup> B
DBO <sub>5</sub>	Incubação e OD por Winckler	método 5210 B
DQO	espectrofotometria	método 5220 D
Série Sólidos	gravimetria	métodos 2540 B e C

Os ensaios de preparação das amostras de lixiviado para a determinação dos metais-traço foram realizados de acordo com as recomendações do Método 200.7 da “Environmental Protection Agency” (EPA, 2003)<sup>12</sup>. As análises foram efetuadas no espectrômetro de emissão por plasma indutivamente acoplado (ICP-OES) - OPTIMA 3000 Perkin Elmer.

### 2.3 Ensaios do tratamento biológico dos lixiviados

O tratamento proposto para o lixiviado neste estudo foi o biológico com biomassa fixa do tipo MBBR “Moving Bed Biofilm Reactor”. Para avaliar o tratamento proposto para os lixiviados foram utilizadas provetas de vidro com capacidade útil de dois litros como reatores aeróbios. A aeração artificial dos reatores foi obtida por difusores porosos colocados no fundo das provetas e conectados a compressores de ar (bombas de aquário) através de tubos de silicone. Como suporte para o crescimento do biofilme, condição de biomassa aderida, foram utilizadas peças de polipropileno (biomídias) marca AMB Bio Media™, com diâmetro de 15 mm e superfície para adesão microbiana de 550 m<sup>2</sup>m<sup>3</sup>, conforme apresentado na Figura 1. A quantidade de biomídias adicionadas aos reatores foi equivalente a 60% do volume de líquido, esta é a quantidade máxima de material recomendado pelo fabricante para que se tenha um leito móvel. A aeração artificial é também a força motriz para a movimentação das biomídias.



**Figura 1 - Peças de polipropileno utilizadas como suporte (biomídias).**

Os reatores operaram em modo batelada, inicialmente com tempo de 24 horas de aeração, durante o período de 120 dias. A troca do lixiviado era realizada diariamente sendo retirado totalmente o líquido do reator e alimentado com o volume total de efluente bruto. O volume de lixiviado tratado em cada batelada era de 1,0 L. Na etapa final do trabalho foi alterado o tempo das bateladas para 168 horas, sendo nessas condições operado por 50 dias.

A eficiência do processo foi monitorada pela determinação dos parâmetros nitrogênio amoniacal ( $\text{N-NH}_3$ ) e DQO no lixiviado alimentado aos reatores e após uma batelada completa.

## RESULTADOS OBTIDOS

### 3.1 Caracterização dos lixiviados

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos pela caracterização físico-química dos lixiviados de interesse deste estudo, assim como as suas respectivas médias e desvios padrão. Apresenta-se também uma comparação dos resultados obtidos com a faixa mais provável para lixiviados de aterros brasileiros, conforme levantamento realizado por Souto e Povinelli (2007)<sup>13</sup>.

**Tabela 2 – Resultados da caracterização físico-química dos lixiviados estudados e a comparação com a faixa mais provável destes parâmetros para aterros brasileiros.**

Parâmetros físico-químicos	Aterro Sanitário	Aterro controlado	Faixa mais provável para aterros brasileiros*
DQO ( $\text{mg L}^{-1}$ de $\text{O}_2$ )	$6065 \pm 719$	$3797 \pm 678$	190-22300
DBO <sub>5</sub> ( $\text{mg L}^{-1}$ de $\text{O}_2$ )	$500 \pm 14$	$136 \pm 22$	<20-8600
pH	8,08	8,12	7,2-8,6
N-amoniacal ( $\text{mg L}^{-1}$ de N)	$1371 \pm 497$	$1014 \pm 380$	0,4-1800
Cloreto ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$6543 \pm 216$	$2850 \pm 47$	500-3000
P-total ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$5,60 \pm 0,19$	$4,58 \pm 0,24$	0,1-15
Sólidos Totais ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$15603 \pm 2384$	$8914 \pm 2728$	3200-14400
Sólidos Suspensos Totais ( $\text{mg L}^{-1}$ )	$255 \pm 274$	$158 \pm 83$	5-700
Tempo de operação	5 anos	>15 anos	-

\*SOUTO e POVINELLI (2007).

Observa-se da Tabela 2 que todos os parâmetros se encontram dentro da faixa mais provável para aterros brasileiros, quando comparados aos dados compilados por Souto e Povinelli (2007)<sup>13</sup>. Vale ressaltar que a faixa mais provável apresentada é extremamente ampla para a maioria dos parâmetros, provavelmente por conta das distintas características dos aterros e, principalmente, dos resíduos neles depositados.

Os altos valores de DQO observados para ambos os aterros se encontram dentro do esperado e indicado na literatura. De acordo com Renou *et al.* (2008)<sup>14</sup>, valores de DQO de até  $4.000 \text{ mg.L}^{-1}$  são característicos de aterros antigos e, entre  $4.000$  e  $10.000 \text{ mg.L}^{-1}$  de aterros intermediários, o que condiz com os resultados obtidos e os respectivos tempos de operação dos aterros. A razão DBO/DQO, a qual determina o grau de recalcitrância em efluentes sugere uma elevada recalcitrância para os lixiviados de estudo, tendo resultado em valores iguais a 0,08 e 0,03 para o aterro sanitário e para o aterro controlado, respectivamente.

As elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal dos lixiviados são, em geral, complicadores no tratamento dos mesmos, principalmente quando se utiliza o tratamento biológico, por conta das características tóxicas da amônia. Os demais parâmetros avaliados pH, P-total e sólidos apresentaram valores que não apontam

problemas aos tratamentos, a não ser pelo pH ligeiramente básico dos dois lixiviados que favorece o equilíbrio do nitrogênio amoniacal para sua forma tóxica (amônia na forma  $\text{NH}_3$ ).

As altas concentrações de cloreto estão dentro da faixa de variação correspondente da fase metanogênica dos aterros segundo Souto & Povinelli (2009)<sup>15</sup>. Sendo os íons cloretos ( $\text{Cl}^-$ ) advindos da dissolução de sais, em geral, não constituem um problema de toxicidade para os micro-organismos responsáveis pela degradação biológica.

Na Tabela 3 são apresentados os resultados obtidos para dez possíveis metais presentes em lixiviados de aterros, assim como a comparação com dados da literatura e com os padrões de descarte para efluentes segundo a Resolução CONAMA 430 de 2011<sup>16</sup>.

**Tabela 3 - Concentrações de metais determinadas no lixiviado de um aterro sanitário e de um aterro controlado no estado do Rio de Janeiro, comparadas com resultados da literatura e padrões de descarte para efluentes da Resolução CONAMA 430. Concentrações em  $\text{mg L}^{-1}$ .**

Metais	Aterro Sanitário	Aterro Controlado	CONAMA 430/2011	Faixa mais provável aterros brasileiros*
<b>Cu</b>	0,023 – 0,086	0,053 – 0,076	1	0,005 – 0,150
<b>Fe</b>	1,840 – 3,995	1,440 – 2,115	15	0,01 – 65
<b>Mn</b>	0,116 – 0,142	0,068 – 0,092	1	0,04 – 2,0
<b>Zn</b>	0,193 – 0,827	0,053 – 0,126	5	0,01 – 1,50
<b>Cr</b>	0,261 – 0,294	0,052 – 0,083	1,1	0,003 – 0,500
<b>Co</b>	0,035 – 0,043	0,037 – 0,051	-	-
<b>Ni</b>	0,184 – 0,248	0,092 – 0,135	2	0,03 – 0,50
<b>Al</b>	0,501 – 0,810	0,059 – 0,089	-	-
<b>Cd</b>	< LD	< LD	0,2	0 – 0,065
<b>Pb</b>	< LD	< LD	0,5	0,01 – 0,50

Fontes: \*Souto e Povineli, 2007.

Nota: LD – limite de detecção

A partir dos resultados apresentados na Tabela 3, pode-se observar que as concentrações de Cd e Pb para os dois aterros do estado do Rio de Janeiro encontraram-se abaixo do limite de detecção do aparelho que efetuou a determinação dos mesmos. Comparando-se os resultados obtidos para os lixiviados de estudo com os padrões de descarte preconizados pela Resolução CONAMA 430/2011<sup>16</sup>, verifica-se que todos os metais avaliados apresentaram concentrações inferiores aos valores estipulados na Resolução. Destes resultados é possível afirmar que não há um impacto expressivo ao meio ambiente e/ou a saúde pública no que se refere à presença de metais nestes lixiviados do estado do Rio de Janeiro.

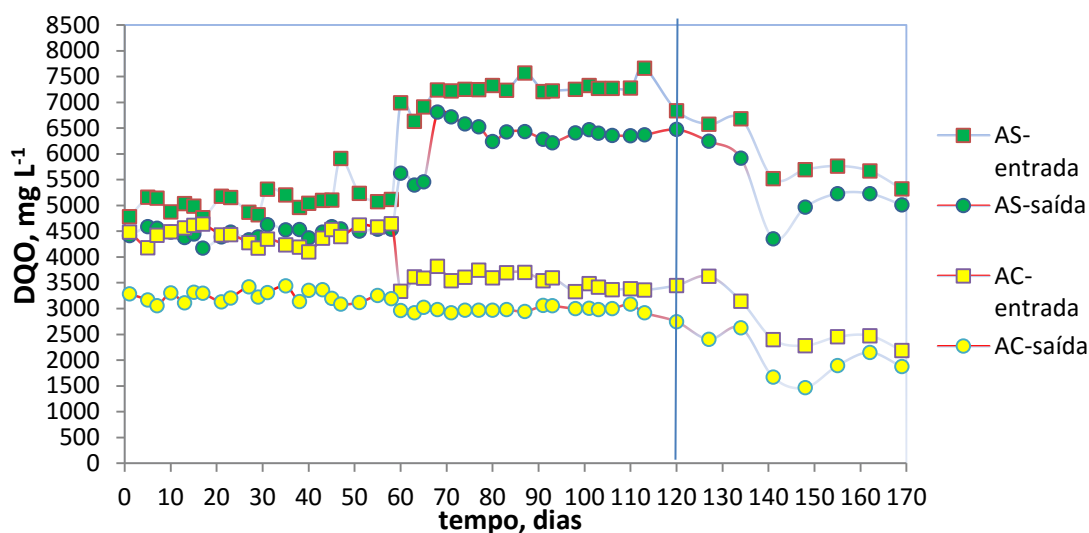
Em comparação com os dados compilados por Souto e Povineli (2007)<sup>13</sup>, os quais representam as características de lixiviados gerados em 25 aterros brasileiros (18 aterros localizados na região sudeste, 5 na região sul, 1 na região nordeste e 1 na região norte), pode-se inferir que a grande variação na concentração dos metais ocorre, provavelmente, em função de características distintas dos resíduos depositados nos diferentes aterros. Desta forma, entende-se ser de grande relevância estudos que apresentem a caracterização atualizada de lixiviados gerados no Brasil, devido a sua grande variabilidade. Ressalta-se ainda que, se as concentrações de metais estão abaixo dos padrões de descarte para efluentes determinados pela legislação, os custos com o tratamento do lixiviado diminuem, não sendo necessário introduzir uma etapa específica para removê-los.

### 3.2 Ensaios do tratamento biológico dos lixiviados

Para a avaliação da capacidade de tratamento dos lixiviados de estudo, utilizando a tecnologia dos MBBRs, foram monitorados os parâmetros DQO e amônia no líquido dos reatores cinco minutos após a alimentação da nova batelada de lixiviado e ao final de cada batelada.

Os dois biorreatores utilizados para o tratamento do lixiviado de aterro sanitário (AS) e do lixiviado do aterro controlado (AC), foram operados em paralelo por um período de 220 dias. Deste período, os 40 dias iniciais foram destinados ao desenvolvimento do biofilme e à estabilização do sistema, os demais 180 dias foram, então, monitorados por DQO e amônia. Durante os 120 dias de operação iniciais as bateladas foram de 24h e nos 50 dias posteriores as bateladas foram de 168h.

Os Gráficos 1 e 2 apresentam os resultados do monitoramento dos parâmetros DQO e amônia, respectivamente, para o período de operação de 170 dias. A linha vertical próxima ao centésimo vigésimo dia representa a mudança no tempo de reação dos biorreatores, de 1 para 7 dias.



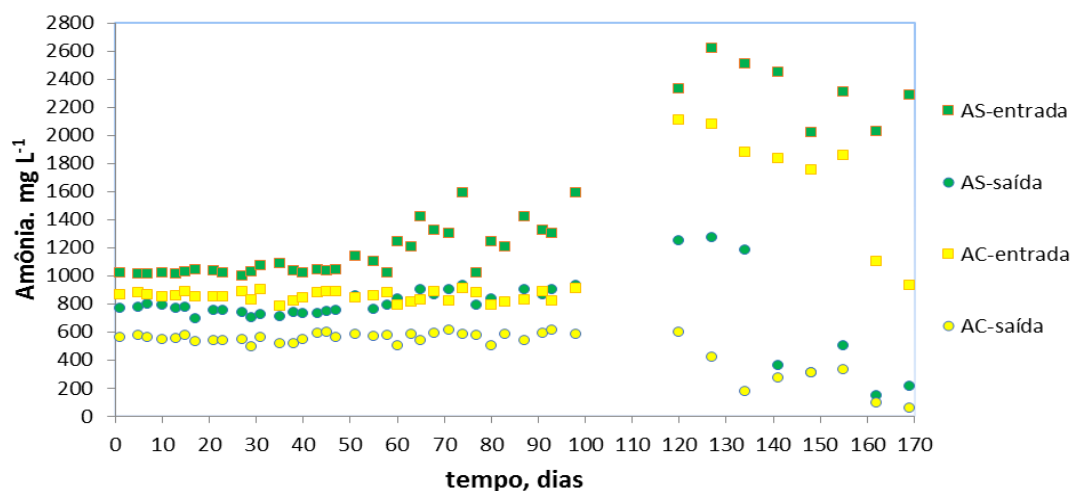
**Figura 2 – Monitoramento dos valores DQO nos dois biorreatores de trabalho durante 170 dias de operação. “AS” refere-se ao aterro sanitário e “AC” ao aterro controlado.**

Observa-se da Figura 2 que o comportamento de biodegradação para a remoção da matéria orgânica foi bastante similar para o lixiviado dos dois aterros, mesmo apresentando considerável diferença na DQO de alimentação (entrada). A mudança nos valores de entrada dos dois lixiviados por volta do sexagésimo e centésimo décimo dia, ocorreu por conta de ter-se dado início a novas bombonas de lixiviados coletadas em períodos distintos.

A expectativa de que o aumento do tempo de reação poderia levar a um incremento na biodegradação dos componentes orgânicos presentes nos lixiviados não levou aos resultados esperados. As eficiências médias de remoção da matéria orgânica para os dois MBBRs foram 12% e 22%, respectivamente para os lixiviados AS e AC.

Os resultados de monitoramento dos MBBRs para a amônia estão representados na Figura 3, para o mesmo período de operação de 170 dias. A linha vertical próxima ao centésimo vigésimo dia representa a mudança no tempo de reação dos biorreatores, de 1 para 7 dias. Os dados referentes ao período de 100 a 120 dias não foram apresentados por problemas técnicos na determinação da amônia.





**Figura 3 – Monitoramento da amônia nos dois biorreatores de trabalho durante 170 dias de operação.**  
“AS” refere-se ao aterro sanitário e “AC” ao aterro controlado.

Observa-se da Figura 3 que a alteração do tempo de reação dos reatores (a partir de 120 dias) apresentou comportamento totalmente distinto aos anteriores, inclusive em relação à concentração da amônia do afluente que foi consideravelmente superior ao período anterior, provavelmente por conta da nova batelada de lixiviado coletada. A mudança no tempo de reação de 24 para 168h gerou significativo aumento na eficiência de remoção de amônia (média de 73 e 85% para AS e AC, respectivamente), sendo que para as bateladas de 24h nunca passou de 34% em média para os dois lixiviados. Infere-se que o aumento no tempo de reação, muito provavelmente, favoreceu o “stripping” da amônia, considerando o pH propício para esta técnica. Não foi possível comprovar se ocorreu biodegradação ou “stripping” por conta da inviabilidade da determinação do nitrato, produto típico do processo de nitrificação (oxidação biológica tradicional de amônia).

## CONCLUSÕES

Os resultados deste trabalho mostram que os lixiviados de estudo oriundos de aterros do estado do Rio de Janeiro apresentaram baixas concentrações de metais, dentro dos limites de descarte para efluentes líquidos determinados pela legislação ambiental (CONAMA 430/2011)<sup>16</sup>. Assim pode-se dizer que os possíveis impactos destes lixiviados no meio ambiente são minimizados no que se refere à presença de metais traço. Ademais, neste caso os custos com o tratamento do lixiviado diminuem, não sendo necessário introduzir uma etapa específica para a remoção de metais.

Contudo, os resultados obtidos para matéria orgânica e nitrogênio amoniacal nestes lixiviados, embora estejam de acordo com os valores apresentados na literatura, corroboram o fato deste resíduo líquido possuir composição química complexa e de alta variabilidade e, por conseguinte com grande prejuízo para o meio ambiente, caso seja descartado sem o devido tratamento.

A alta concentração de matéria orgânica recalcitrante e elevadas concentrações de amônia dos lixiviados poderiam ter inibido completamente o crescimento microbiano nos MBBRs. Porém, ainda assim foram alcançadas eficiências de remoção para DQO e amônia, mesmo que com valores pouco expressivos (máximo de 22 e 34%, respectivamente). Tem-se a expectativa de que um pré-tratamento físico-químico dos lixiviados auxilie no melhor desempenho do processo biológico proposto (MBBR).

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. PNRS - POLÍTICA NACIONAL DE RESÍDUOS SÓLIDOS. Brasil. [Lei n. 12.305, de 2 de agosto de 2010]. Política nacional de resíduos sólidos [recurso eletrônico]. – 2. ed. – Brasília: Câmara dos Deputados, Edições Câmara, 2012.73 p. – (Série legislação; n. 81).
2. ZHANG, D; VAHALA, R; WANG, Y; SMETS, B.F. Microbes in biological processes for municipal landfill leachate treatment: Community, function and interaction. *International Biodeterioration & Biodegradation* <http://dx.doi.org/10.1016/j.ibiod.2016.02.013> (2016), (in press).
3. FERREIRA, João Alberto. Resíduos Sólidos: Perspectivas Atuais. In: Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde – Uma Visão Multidisciplinar. Rio de Janeiro: Editora FIOCRUZ, p.19 – 40, 2000.
4. PACHECO, J. R. e PERALTA-ZAMORA, P. G. Integração de Processos Físico-químicos e Oxidativos Avançados para Remediação de Percolado de Aterro Sanitário (Chorume), *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.9, n.4, p. 306 - 311, 2004.
5. SCHIOPU, A. M. e GAVRILESCU, M. Options for the Treatment and Management of Municipal Landfill Leachate: Common and Specific Issues. *Clean – Soil, Air, Water*, v. 38, n. 12, p. 1101–1110, 2010.
6. KJELDSEN P.I.; BARLAZ, M.A; ROOKER, A.P.; BAUN, A.; LEDIN, A.; CHRISTENSEN, T.H. Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review. *Critical Reviews in Environmental Science and Technology*, v.32, p.297-336, 2002.
7. BORZACCONI, L., LÓPEZ, I., OHANIAN, M., VINAS M., “Anaerobic-Aerobic Treatment of Municipal Solid Waste Leachate”, *Environmental Technology*, v. 20, p. 211-217, 1998.
8. 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. *Waste Management*, v.22, p.269-282, 2002
9. HASSAN, M. e XIE, B. Use of aged refuse-based bioreactor/biofilter for landfill leachate treatment. *Applied Microbiological Biotechnology*, n. 98, p. 6543 – 6553, 2014.
10. PROSAB 5. Programa de Pesquisa em Saneamento Básico. 3-Resíduos sólidos. Estudos de Caracterização e Tratabilidade de Lixiviados de Aterros Sanitários para as Condições Brasileiras. Rio de Janeiro, ABES, 2009.
11. APHA, AWWA, Standard Methods for Examination of Water and Wastewater, 20 ed., New York, WPCF, 2005.
12. Método 200.7 da Environmental Protection Agency. Appendix c to part 136—inductively coupled plasma—atomic emission spectrometric method for trace element analysis of water and wastes, p. 325 – 327, 2003.
13. SOUTO, G. D. B. e POVINELI, J. Características do lixiviado de aterros sanitários no Brasil. In: XXIV Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Anais. Rio de Janeiro, RJ: ABES, 2007. v. 3. p. 01-07, 2007.
14. RENOU, S.; GIVAUDAN, J. G.; POULAIN, S.; DIRASSOUYAN, F. e MOULIN, P. Landfill Leachate Treatment: Review and Opportunity. *Journal of Hazardous Materials*, p.468-493, 2008.
15. SOUTO, G. D. B. e POVINELI, J. Ammonia Stripping From Landfill Leachate Using Packed Towers. In Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium, Sardinia. Proceedings of the Twelfth International Waste Management and Landfill Symposium, 2009.
16. CONAMA 430, Resolução de 13 de maio de 2011- Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução 357, de 17 de março de 2005. Conselho Nacional do Meio Ambiente, Ministério do Meio Ambiente.