

## QUALIDADE DO EFLUENTE FINAL DO SISTEMA DE LAGOAS DE ESTABILIZAÇÃO NO TRATAMENTO DE LIXIVIADO DE ATERRO SANITÁRIO

Mariana Medeiros Batista (\*), Arthur Marinho Cahino, Larissa Granjeiro Lucena, Mariana Maciel Almeida de Andrade, Elisângela Maria Rodrigues Rocha.

\* Universidade Federal da Paraíba, marianamedeirosb@hotmail.com.

### RESUMO

Sistemas de tratamento biológico, por lagoas de estabilização, são comumente os mais utilizados para o tratamento de lixiviados no Brasil, devido a resultados satisfatórios na remoção da matéria orgânica biodegradável, além do elevado custo-benefício do processo. O objetivo deste trabalho residiu em avaliar a qualidade do efluente final do sistema de lagoas de estabilização existente no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa / PB - Brasil. O sistema de tratamento consiste em três tanques de decantação, seguidos por duas lagoas anaeróbias e duas facultativas. Para a caracterização do efluente, foram feitas 08 coletas ao longo do ano de 2015, sendo realizadas as seguintes análises físico-químicas: pH, cor, turbidez, alcalinidade total, condutividade elétrica, cloretos, nitrogênio amoniacal, nitrato, DQO, DBO<sub>5</sub> e série de sólidos. Foi observado que efluente final possui características de lixiviado bruto devido aos elevados valores nos parâmetros analisados, em particular, elevada coloração, altas concentrações de nitrogênio amoniacal e matéria orgânica recalcitrante (DQO), bem como uma baixa biodegradabilidade. Vale destacar que o efluente estudado apresentou-se em desacordo com os padrões estabelecidos para DBO<sub>5</sub> (Norma Técnica nº 301/88) e nitrogênio amoniacal (Resolução CONAMA nº 430/11), constituindo-se ainda um potencial poluente ambiental. Assim, sugere-se a adoção de tratamento complementar ao biológico, a exemplo de processos avançados de tratamento, a fim de obter uma melhor qualidade do efluente tratado, especialmente em relação à redução dos compostos recalcitrantes e nitrogenados remanescentes.

**PALAVRAS-CHAVE:** Lixiviado, aterro sanitário, lagoas de estabilização, análises físico-químicas.

### INTRODUÇÃO

O acelerado crescimento populacional somado aos hábitos de uma sociedade cada vez mais consumista têm contribuído significativamente para o aumento da produção de resíduos, em especial os resíduos sólidos urbanos. Do total de 64 milhões de toneladas de massa de resíduos coletada em 2014, a maioria, 52,4%, foi disposta em aterros sanitários, 13,1% em aterros controlados, 12,3% em lixões e apenas 3,9% encaminhados para unidades de triagem e de compostagem, restando a parcela de 18,3% sem informação (SNIS, 2016). Os aterros sanitários constituem, portanto, uma forma de disposição final dos resíduos bastante utilizada no Brasil.

Um dos grandes desafios deste tipo de disposição é o gerenciamento ambientalmente adequado do lixiviado. Este líquido escuro e com odor desagradável, produto da decomposição dos resíduos e de percolação da água da chuva constitui-se, segundo Primo, Rivero e Ortiz (2008), de uma mistura com elevadas concentrações de substâncias orgânicas e inorgânicas, incluindo ácidos húmicos, amônia, íons e sais inorgânicos, xenobióticos, além de metais pesados. Essa composição do pode sofrer variações temporais e locais, além de que as concentrações de seus constituintes variam em ordem de magnitude. Além de fatores climatológicos e das características dos resíduos, Renou *et al.* (2008) ressaltam que a idade do aterro tem uma grande influência na qualidade do lixiviado, já que relaciona-se à fase de decomposição em que os resíduos se encontram.

Devido à elevada carga poluente e complexa composição, os lixiviados de aterros sanitários são umas das principais fontes de contaminação ambiental, seja do solo ou das águas superficiais e subterrâneas, podendo comprometer a qualidade e o ecossistema do entorno. Ao percolarem no solo podem atingir o lençol freático e dispersar seus contaminantes e, ao atingir os corpos d'água superficiais, podem provocar alterações nos parâmetros físico-químicos das águas, bem como efeitos tóxicos deletérios à biota aquática.

A fim de minimizar os impactos e atender aos requisitos exigidos pelas legislações ambientais, torna-se necessário realizar o tratamento desse efluente antes de seu lançamento nos corpos hídricos. Em geral, o

tratamento ocorre por meio de métodos físico-químicos, biológicos ou uma combinação dos mesmos. No Brasil, os sistemas biológicos, em especial as lagoas de estabilização são amplamente utilizadas para o tratamento dos lixiviados de aterros sanitários, principalmente devido às condições climáticas favoráveis e disponibilidade de área territorial (MARTINS; CASTILHOS JR.; COSTA, 2010).

De maneira geral, os processos biológicos têm se apresentado eficientes na remoção das frações nitrogenadas e matéria orgânica presentes nos lixiviados de aterros jovens, que contém elevada biodegradabilidade ( $DBO_5/DQO > 0,5$ ). Entretanto, para lixiviados de aterros mais estabilizados, com uma maior presença de substâncias recalcitrantes, baixa relação  $DBO_5/DQO$  e elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal, este tipo de tratamento torna-se deficiente (RENOU *et al.*, 2008), gerando um efluente que nem sempre atende aos padrões de lançamento estabelecidos pelos órgãos ambientais.

Nesse sentido, o presente trabalho objetivou avaliar a qualidade do efluente final do sistema de lagoas de estabilização existente no Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa/PB - Brasil.

## METODOLOGIA

### Coleta das amostras

O Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa (ASMJP), em operação desde 2003, está localizado na região metropolitana do município de João Pessoa, ocupando uma área de cerca de 100 hectares. Atualmente recebe resíduos sólidos urbanos (classe II-A) de seis municípios: Alhandra, Conde, Cabedelo, Bayeux, Santa Rita e João Pessoa (JOÃO PESSOA, 2014).

O sistema de tratamento do lixiviado é do tipo biológico, composto por três tanques de decantação, seguidos por duas lagoas anaeróbias e duas facultativas (Figura 1). Atualmente, o efluente final é acumulado em três lagoas de reservação, sendo que parte desse líquido é direcionada à massa de resíduos, possibilitando a recirculação do lixiviado nas células.

As amostras de lixiviado estudadas corresponderam ao efluente final do sistema de tratamento. Foram, portanto, coletadas na tubulação de saída da segunda lagoa facultativa (UTM 25M 283203.67 mE, 9201619.01 mS). No total, foram realizadas oito coletas ao longo do ano de 2015, incluindo os períodos chuvoso e seco no município de João Pessoa (Março/15, Abril/15, Maio/15, Julho/15, Setembro/15, Outubro/15, Novembro/15 e Dezembro/15). As amostras foram colocadas em recipientes plásticos (5L) e encaminhadas ao Laboratório de Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB), onde foram armazenadas a 4 °C para preservação de suas características (APHA; AWWA; WEF, 1999).



Figura 1. Aterro Sanitário metropolitano de João Pessoa, com destaque para o sistema de tratamento de lixiviado: (1) Tanques de decantação, (2) Lagoa anaeróbia, (3) Lagoa facultativa, (4) Lagoa de reservação, (PC) Ponto de coleta. Fonte: Google Earth (2016)

### Determinações analíticas

Os parâmetros analisados foram pH, cor, condutividade elétrica (CE), alcalinidade total, cloretos, demanda química de oxigênio total (DQO), amônia (nitrogênio amoniacal), nitrato e série de sólidos (sólidos totais – ST, sólidos totais fixos – STF e sólidos totais voláteis – STV), seguindo metodologias do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA; AWWA; WEF, 1999) e demanda bioquímica de oxigênio (DBO<sub>5</sub>), pela leitura direta em aparelho OxiTop S6/IS12/IS12-6. A nomenclatura de cada um dos métodos utilizados nas análises segue na Tabela 1.

**Tabela 1. Método de análise dos parâmetros físico-químicos.**

Parâmetro físico-químico	Método
pH	Método Eletrométrico
Cor	Método do Platina-Cobalto
Turbidez	Método Nefelométrico
Condutividade elétrica	Método Eletrométrico
Alcalinidade total	Método da Titulação Potenciométrica
Nitrogênio amoniacal	Método Fotométrico da Nesslerização Direta
Nitrato	Método do Salicilato
Cloretos	Método Argentométrico
DBO <sub>5</sub>	Método Respirométrico
DQO	Método Titulométrico da Refluxação Fechada
Série de Sólidos	Método Gravimétrico

## RESULTADOS

### Caracterização do efluente final do sistema de lagoas de estabilização do ASMJP

A caracterização física e química do efluente final do sistema de lagoas do ASMJP pode ser verificada na Tabela 2. Apesar de certa variabilidade, as amostras apresentaram em geral características semelhantes nos meses de coleta, com CV < 35%. As variações encontradas nos resultados ao longo dos meses em que as amostras foram coletadas podem ser relacionadas, segundo Moravia (2007), às variações sazonais como períodos de chuva e seca, diferentes estações do ano, responsáveis por modificar as condições climáticas da região, composição do resíduo, carregamento de partículas, evaporação da lâmina líquida das lagoas e concentração de determinados compostos presentes no lixiviado.

**Tabela 2. Caracterização físico-química do efluente final do sistema de lagoas de estabilização do ASMJP**

Parâmetros	Número amostral	Média ± DP	CV
pH	8	8,1 ± 0,3	3,5
Cor (mg. Pt-Co. L <sup>-1</sup> )	7	5.625 ± 1.757	31,2
Turbidez (NTU)	8	165 ± 46	28,2
CE (mS.cm <sup>-1</sup> )	8	11,6 ± 2,4	21,0
Cloretos (mg. Cl <sup>-</sup> . L <sup>-1</sup> )	7	2.895 ± 937	32,4
Alcalinidade total (mg CaCO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	8	6.200 ± 429	6,9
ST (mg.L <sup>-1</sup> )	7	12.252 ± 1.838	15,0
STV (mg.L <sup>-1</sup> )	7	2.469 ± 432	17,5
STF (mg.L <sup>-1</sup> )	7	9.797 ± 1.645	16,8
N-amoniacal (mg N.L <sup>-1</sup> )	8	777 ± 158	20,3
Nitrato (mg. N-NO <sub>3</sub> .L <sup>-1</sup> )	8	3,4 ± 0,6	16,3
DBO <sub>5</sub> (mg. O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	7	629 ± 217	34,5
DQO (mg. O <sub>2</sub> .L <sup>-1</sup> )	8	3.553 ± 612	17,2
DBO <sub>5</sub> /DQO	7	0,17 ± 0,04	23,3

De forma geral, as características apresentadas pelo efluente em estudo são semelhantes às de lixiviados brutos provenientes de aterros mais antigos, de acordo com valores apresentados em Foo e Hameed (2009). Pela Tabela 2, pode-se observar a complexa composição desse efluente, caracterizado por forte coloração, pH básico, elevados valores de condutividade, alcalinidade e íons, especialmente cloretos, e uma quantidade considerável de sólidos totais, sendo que os sólidos fixos constituem a maior parcela, cerca de 80%, representando a fração inorgânica e/ou inerte dos sólidos presentes no efluente.

O pH do lixiviado está diretamente relacionado com a idade do aterro. Via de regra, aterros mais antigos, têm pH mais básico, enquanto que os mais novos apresentam valores de pH mais baixos (RODRIGUES, 2004). Os valores de pH básico (8,1 em média) encontrados no efluente confirmam a característica de aterro antigo do ASMJP (>10 anos).

Os altos valores de condutividade apresentados corroboram com os encontrados por Massarotto (2010), que estudou lixiviados com alto e baixo grau de biodegradabilidade, encontrando, respectivamente 11,80 e 15,60 mS.cm<sup>-1</sup>. Vale destacar ainda que a elevada condutividade verificada no efluente pode estar relacionada à elevada concentração de sais, como cloretos (2.895 mg Cl<sup>-</sup>. L<sup>-1</sup>, em média).

Moravia (2007) afirma que a presença de sólidos totais contribui de forma significativa para o aumento da turbidez. Quanto maior a carga de sólidos presentes no lixiviado, menor será a entrada de luz no líquido, o que leva a diminuição do valor de saturação do oxigênio dissolvido.

O supracitado autor encontrou ainda valores de alcalinidade próximos a 7.000 mg.L<sup>-1</sup> e concluiu que este valor elevado está associado à presença de resíduos da construção e demolição, que contém gesso, cimento e cal, e pode fazer com que a alcalinidade do lixiviado aumente. Em João Pessoa existe uma central de beneficiamento de resíduos da construção e demolição, contudo ainda é possível ocorrer mistura desses tipos de resíduos com os resíduos domiciliares, o que deve ter contribuído para valores elevados de alcalinidade.

Ao analisar as frações orgânicas e nitrogenadas do efluente, percebe-se que, mesmo após o tratamento biológico, o efluente apresentou ainda elevadas concentrações de nitrogênio amoniacal (com valor médio de 777 mg N.L<sup>-1</sup>) e um alto teor de matéria orgânica (DBO<sub>5</sub>: 629 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup> e DQO: 3.553 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>, em média).

A presença tanto de amônia quanto de nitrato indica poluição recente e antiga, respectivamente. Isso ocorre, pois o lixiviado após o tratamento biológico, não atingindo os padrões de lançamento, é recirculado, apresentando compostos mais antigos e poluição mais recente. Os altos teores de amônia são prejudiciais ao tratamento biológico realizado nas estações de tratamento, pois são nocivas às bactérias utilizadas na degradação e estabilização de substratos. Além disso, a amônia livre (NH<sub>3</sub>), mesmo em baixas concentrações, dissolvida na água pode ser tóxica aos peixes, sendo necessária a aplicação de tratamentos específicos para a remoção desse poluente (MOURA, 2008; RODRIGUES, 2004).

A DQO é um dos parâmetros mais utilizados para representar a matéria orgânica total presente em lixiviados de aterros sanitários. No ano de 2015, seus valores mantiveram-se elevados, em torno de 3.553 mg O<sub>2</sub>.L<sup>-1</sup>. Limites para esse parâmetro não existem na legislação federal, estadual ou municipal, mas indica a presença de compostos recalcitrantes que necessitam de tratamento avançado para serem eliminados.

Ao analisar a razão DBO<sub>5</sub>/DQO, indicativo de biodegradabilidade, observou-se que esta se manteve em torno de 0,17, o que indica um baixo nível de degradação biológica do lixiviado em estudo, estando de acordo com o pressuposto que tal relação é menor em aterros mais antigos (> 10 anos) e reforça a característica recalcitrante do lixiviado em questão.

Portanto, torna-se necessária a combinação do tratamento biológico já empregado no ASMJP com outros processos de tratamento avançados visando aumentar a biodegradabilidade e diminuir a recalcitrância do lixiviado. Diversos autores têm estudado a utilização de processos oxidativos avançados (POAs) como uma alternativa promissora de pós-tratamento aos processos biológicos (WANG; SMITH; EL-DIN, 2003).

### **Qualidade final do efluente e a legislação ambiental**

Atualmente, ainda não existe na legislação brasileira regulamentação específica relativa aos padrões de lançamento para lixiviados de aterro sanitário em corpos d'água receptores. Para este fim, faz-se o uso de legislação mais abrangente, a Resolução CONAMA n°430/11 (CONAMA, 2011), que alterou e complementou a Resolução CONAMA n° 357/05. No Estado da Paraíba, é utilizada a Norma Técnica n° 301/88 (SUDEMA, 1988), que dispõe sobre os critérios e padrões de lançamento de efluentes líquidos. Assim, dentre os parâmetros analisados no presente estudo, apenas pH, nitrogênio amoniacal e DBO<sub>5</sub> possuem padrões estabelecidos, seja a nível nacional ou estadual.

De acordo com os critérios para lançamento de efluentes líquidos estabelecidos nas referidas legislações, o efluente encontrou-se dentro da faixa de pH preconizada, entre 5 e 9 (Figura 2).

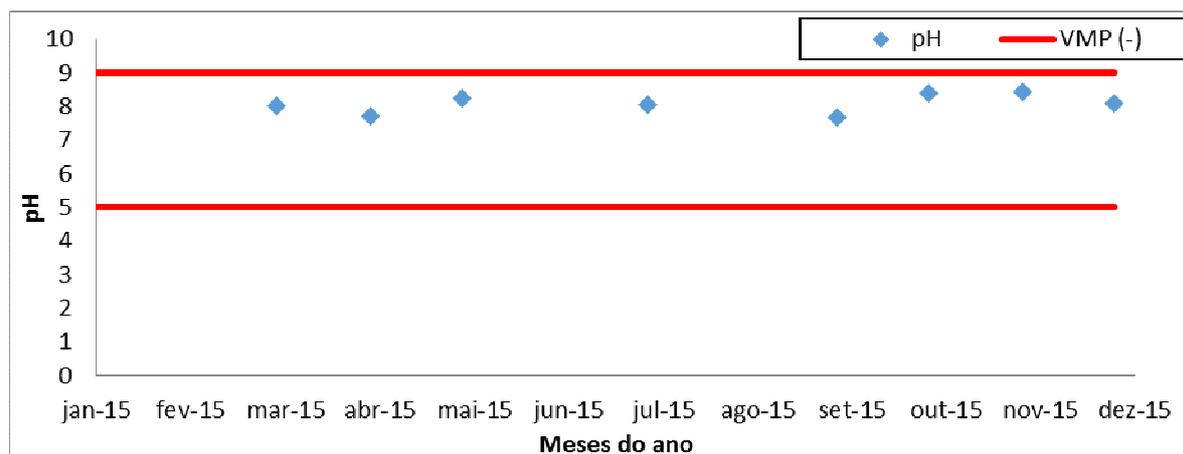


Figura 2. Valores de pH ao longo do ano de 2015 e condição de lançamento de efluentes líquidos, segundo Resolução CONAMA n° 430/11 e NT n° 301/88. Nota: VMP (valor máximo/mínimo permitido)

Por outro lado, apesar do sistema de tratamento existente no ASMJP contribuir para a remoção da fração biodegradável da matéria orgânica (DBO<sub>5</sub>) do lixiviado proveniente das células de resíduos, pode-se observar (Figura 3) que o efluente não atendeu ao padrão para DBO<sub>5</sub>, cujo valor máximo é de 60 mg.L<sup>-1</sup>, conforme limite estabelecido a nível estadual pela Norma Técnica n° 301/88.

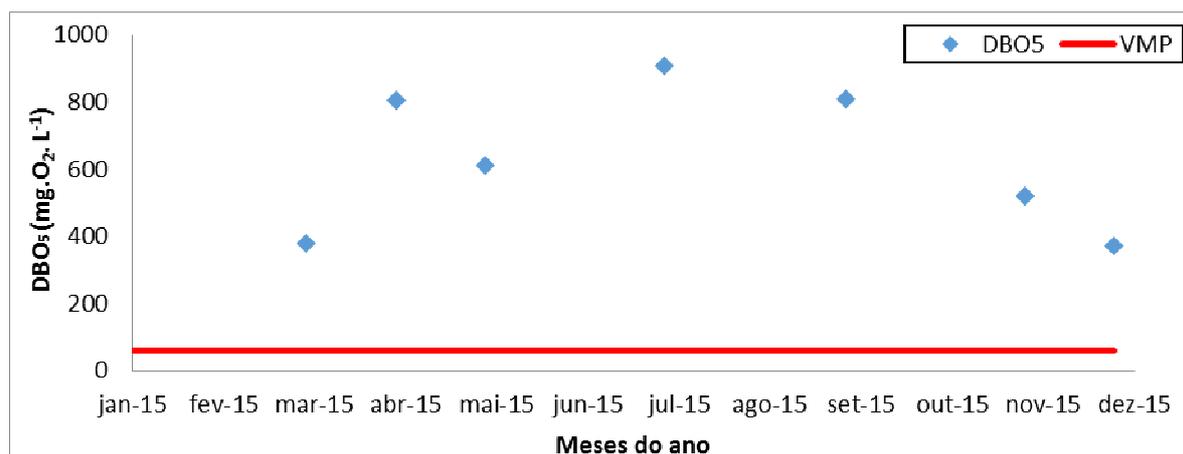


Figura 3. Valores de DBO<sub>5</sub> ao longo do ano de 2015 e condição de lançamento de efluentes líquidos, segundo NT n° 301/88. Nota: VMP (Valor Máximo Permitido)

O efluente também mostrou desconformidade para o parâmetro nitrogênio amoniacal (Figura 4), que ao longo do ano de 2015, apresentou elevadas concentrações, bem acima do valor máximo permitido (20 mg. L<sup>-1</sup>) estabelecido pela Resolução CONAMA n° 430/2011.

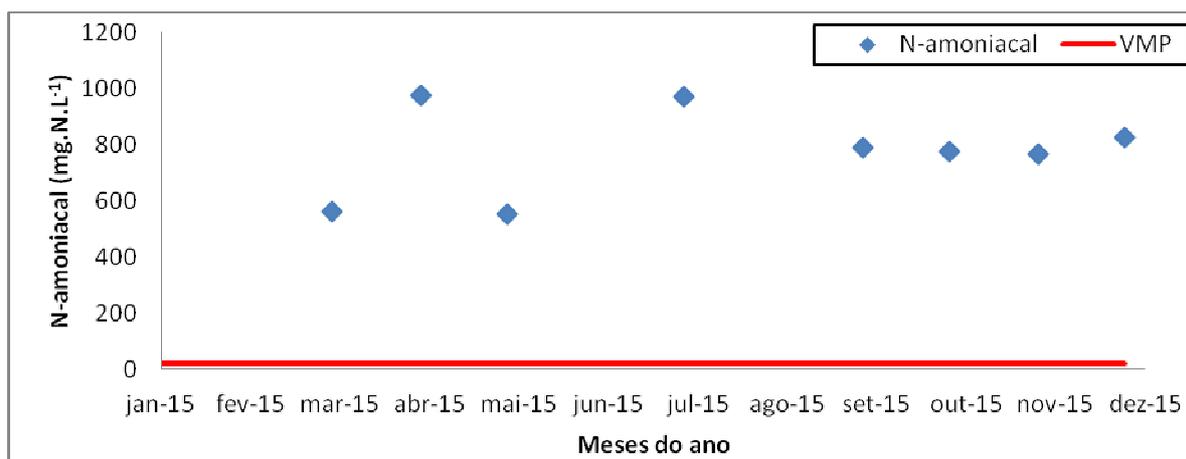


Figura 4 – Valores de nitrogênio amoniacal ao longo do ano de 2015 e condição de lançamento de efluentes líquidos, segundo Resolução CONAMA nº 430/11. Nota: VMP (Valor Máximo Permitido)

As características apresentadas pelo efluente do sistema de tratamento do ASMJP corroboram com dados de pesquisa desenvolvida por Castilhos *et al.* (2009), no âmbito do PROSAB (Programa de Pesquisa em Saneamento Básico), que estudaram três tipos diferentes de combinações de lagoas de estabilização no tratamento de lixiviados brasileiros e, de acordo com seus resultados, os sistemas apresentaram boa eficiência de remoção para DBO<sub>5</sub>, entretanto, os efluentes finais apresentaram ainda elevada coloração e matéria orgânica recalcitrante (DQO) dos lixiviados, além de que as concentrações de N-amoniacal não atendiam à legislação ambiental.

Diante do exposto, faz-se necessário uma legislação específica a respeito dos critérios de lançamento de efluentes de lagoas de tratamento de lixiviados de aterros sanitários, visto apresentar características que lhe conferem um potencial poluidor maior que efluentes de lagoas de tratamento de esgotos domésticos.

## CONSIDERAÇÕES FINAIS

O tratamento de lixiviados de aterro sanitário se constitui um grande desafio aos pesquisadores e governantes, pois a eficiência do processo depende da composição do efluente, das condições do aterro e das condições ambientais onde está instalado.

O sistema de tratamento de lixiviado do Aterro Sanitário Metropolitano de João Pessoa, apesar de reduzir parte da carga poluidora do lixiviado, ainda necessita de pós-tratamento para gerar um efluente com qualidade adequada para ser lançado no corpo hídrico. Sendo assim, processos de pós-tratamento devem ser implantados, a exemplo dos processos oxidativos avançados (POAs), que são uma ótima alternativa para a redução da matéria orgânica presente em efluentes recalcitrantes e processos biológicos complementares a fim de reduzir concentração de nitrogênio amoniacal remanescente.

## AGRADECIMENTOS

À equipe do Laboratório de Saneamento da Universidade Federal da Paraíba (UFPB) pelo auxílio nas análises físico-químicas. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pelo apoio financeiro e concessão da bolsa.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA, AWWA, WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**. 19ª Ed. American Public Health Association, Washington, DC, 1999.
2. Conselho Nacional de Meio Ambiente (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio de 2011**. Dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes, complementam e alteram a

- Resolução nº 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA. Diário Oficial da União: Brasília, n.92, p. 89, 2011.
3. Castilhos, A. B. de; Fernandes, F.; Lange, L. C.; Lopes, D. D.; Costa R. H. R.; Silva, S. M.; Martins, C. L.; Ferreira, C. F. A; Moravia, W. G. Tratamento de Lixiviado de Aterro Sanitário em Sistema de Lagoas. In: Gomes, L.P. (coord.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Programa de Pesquisas em Saneamento Básico - PROSAB. Rio de Janeiro: ABES, v.1, p.140-171, 2009.
  4. Foo, K. Y.; Hameed, B. H. An overview of landfill leachate treatment via activated carbon adsorption process. **Journal of Hazardous Materials**, v. 171, n. 1-3, p. 54–60, 2009.
  5. João Pessoa. **Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos do município de João Pessoa - PMGIRS/JP**. 2014. [Disponível em:< <http://www.joaopessoa.pb.gov.br/secretarias/emlur/plano-municipal-de-residuos-solidos/>>. Acesso em: 20. jul. 2016].
  6. Martins, C. L.; Castilho Junior, A. B.; Costa, R. H. Desempenho de sistema de tratamento de lixiviado de aterro sanitário com recirculação do efluente. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 15, n. 4, p. 401–410, 2010.
  7. Massarotto, W. L. **Avaliação de tecnologias para tratamento de lixiviados de aterros sanitários**. 2010. 113 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia Ambiental. Universidade de Ribeirão Preto, São Paulo, 2010.
  8. Moravia, W. G. **Estudos de caracterização, tratabilidade e condicionamento de lixiviados visando tratamento por lagoas**. 2007. 179 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2007.
  9. Moura, D. A. G. **Remoção de Amônia por Arraste com Ar de Lixiviados de Aterros Sanitários**. 2008. 131 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.
  10. Superintendência de Administração do Meio Ambiente (SUDEMA). Norma Técnica nº 301, de 24/02/1988. **Dispõe sobre os Critérios e Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos**. 1988.
  11. Primo, O.; Rivero, M. J.; Ortiz, I. Photo-Fenton process as an efficient alternative to the treatment of landfill leachates. **Journal of Hazardous Materials**, v. 153, n. 1-2, p. 834–842, 2008.
  12. Renou, S.; Givaudan, J. G.; Polain, S.; Dirassouyan, F.; Moulin, P. Landfill leachate treatment: Review and opportunity. **Journal of Hazardous Materials**, v. 150, n. 3, p. 468–493, 2008.
  13. Rodrigues, F. S. F. **Aplicação da Ozonização e do Reativo de Fenton como Pré-Tratamento de Chorume com Objetivos de Redução da Toxicidade e do Impacto no Processo Biológico**. 2004. 90 p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-Graduação de Engenharia Civil, Área De Recursos Hídricos. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004.
  14. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS). **Diagnóstico do manejo de resíduos sólidos urbanos – 2014**. Brasília: MCIDADES.SNSA, 2016.
  15. Wang, F.; Smith, D.W.; El-Din, M.G. Application of advanced oxidation methods for landfill leachate treatment—A review. **Journal of Environmental Engineering & Science**, v.2, n. 6, p. 413 – 427, 2003.