

Análise do chorume produzido por um lixão após encerramento das atividades. Estudo de caso: antigo Lixão do Roger

*Analysis of slurry produced by a dump after closing activities.
Case study: Roger's old Dump*

- **Data de entrada:**
28/04/2021
- **Data de aprovação:**
05/09/2022

Ana Mayara Andriola Medeiros^{1*} | Claudia Coutinho Nóbrega¹ |
Carmem Lucia Moreira Gadelha¹ | Raissa Barreto Linsa¹

DOI: <https://doi.org/10.36659/dae.2023.052>

ORCID ID

Medeiros AMA  <https://orcid.org/0000-0003-0428-0938>
Nóbrega CC  <https://orcid.org/0000-0003-3459-185X>

Gadelha CLM  <https://orcid.org/0000-0002-7226-4684>
Lins RB  <https://orcid.org/0000-0002-9621-2707>

Resumo

O Lixão do Roger recebeu os resíduos sólidos da cidade de João Pessoa, capital da Paraíba-Brasil, ao longo de 45 anos. Esta pesquisa teve como objetivo analisar, por meio de parâmetros químicos, as alterações no chorume bruto durante o período 2006 a 2018. Foram coletadas amostras de duas células (C1 e C2) e analisados os parâmetros: demanda bioquímica de oxigênio (DBO5); demanda química de oxigênio (DQO); chumbo; alumínio; mercúrio; amônia; nitrito; nitrato; fosfatos e óleos e graxas. Os resultados revelaram que a relação DBO/DQO indicou a presença de material recalcitrante. As baixas concentrações para chumbo, mercúrio e alumínio podem indicar a predominância de resíduos sólidos domiciliares. Amônia e nitrito apresentaram valores elevados, e baixas concentrações de nitrato indicam condições anaeróbicas prevalentes no Lixão. Os baixos valores de fosfato expressam também a estabilidade do chorume.

Palavras-chave: Monitoramento Ambiental. Área Degradada. Resíduos Sólidos.

Abstract

The Dump Roger has received solid waste from the city of João Pessoa, capital of Paraíba - Brazil, over 45 years. This research aimed to analyze, through chemical parameters, changes in crude slurry, during the period 2006 to 2018. Samples of two cells (C1 and C2) were collected and the following parameters were analyzed: biochemical oxygen demand (DBO5); chemical oxygen demand (DQO); lead; aluminum; mercury; ammonia; nitrite; nitrate; phosphates and oils and greases. The results revealed that the DBO/DQO ratio indicated the presence of recalcitrant material. Low concentrations for lead, mercury and aluminum may indicate the predominance of household solid waste. Ammonia and nitrite showed high values and low nitrate concentrations, indicating anaerobic conditions prevalent in the Dump. The low phosphate values also express the stability of slurry.

Keywords: Environmental Monitoring. Degraded Area. Solid Waste.

¹ Universidade Federal da Paraíba - João Pessoa - Paraíba - Brasil.

* **Autora correspondente:** anamayarandriola@gmail.com.

1 INTRODUÇÃO

São três as principais modalidades de disposição final dos resíduos sólidos urbanos - RSU: os lixões, os aterros sanitários e os controlados (FREITAS, 2016). No Brasil, a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais (ABRELPE, 2020) concluiu que a maior parte dos resíduos coletados é encaminhada para a disposição em aterros sanitários, tendo ocorrido um aumento em torno de 10 milhões de toneladas (entre 2010 e 2019), passando de 33 milhões de toneladas por ano para 43 milhões. No entanto, a quantidade de resíduos que são depositados de forma inadequada em lixões e aterros controlados também cresceu de 25 milhões de toneladas por ano para pouco mais 29 milhões.

A destinação final dos RSU ambientalmente inadequada traz inúmeros problemas socioeconômicos, sanitários, de saúde pública, de poluição e contaminação das águas superficiais e subterrâneas, de degradação de áreas de mangue. De acordo com Dermatas (2017), além da poluição da água, do ar e do solo, que levam ao risco de doenças, invalidez e morte da população envolvida, há também prejuízos para o crescimento econômico na maioria dos países em desenvolvimento. Oguntoke et al. (2019) consideram que, dentre os impactos ambientais negativos provocados pelo manejo inadequado dos resíduos sólidos, tem-se as emissões de poluentes atmosféricos tóxicos, devido a sua queima ao ar livre, sendo uma das principais causas que afetam a saúde do homem, principalmente nos grupos de risco, como crianças e idosos.

Grande parte dos problemas atrelados aos RSU ocorre, no entanto, por causa, principalmente, do chorume, líquido originário do processo da biodegradação da fração orgânica desses resíduos com a solubilização de compostos orgânicos e inorgânicos. Para Lange e Amaral (2009), a interação desse líquido com águas pluviais infiltradas na massa de resíduos aterrados resulta

na formação de lixiviado. O principal risco é a sua infiltração nas águas subterrâneas ou mistura com as águas superficiais, a poluição do solo (ALIZADEH et al., 2018), e também a degradação de áreas de manguezais. Quando escoado pelos resíduos aterrados, o lixiviado carrega uma série de poluentes orgânicos e inorgânicos que devem ser tratados para reduzir seu impacto sobre os solos e as águas superficiais e subterrâneas (BHATT et al., 2017).

Mishra et al. (2018) consideram que a produção de lixiviado depende dos padrões e da quantidade de precipitação e que suas características são determinadas pela composição dos resíduos, condições hidrogeológicas do local, fase do aterramento, processos químicos e biológicos, taxa de infiltração e condições climáticas. Costa et al. (2019) afirmaram que o clima tropical com temperaturas e volumes de precipitação elevados favorecem o processo de degradação dos resíduos e a formação de lixiviados. Esse lixiviado pode conter elevadas concentrações de matéria orgânica e contaminantes inorgânicos como sais e metais pesados, podendo apresentar alta toxicidade (MENDONÇA, 2010).

Wojciechowska (2017) também relata que as características qualitativas e quantitativas do lixiviado mudam com a idade do aterro, tipo de resíduos aterrados, métodos de aterro (ou seja, de compactação, de recirculação do lixiviado) e condições climáticas (profundidade de penetração da chuva, intensidade, distribuição no tempo, temperatura do ar, etc).

Mishra et al. (2018) entendem que o processo biológico responsável pela degradação da fração orgânica de resíduos sólidos aterrados é muito lento e pode estar ativo por até 25 anos após o encerramento das atividades do aterro. Consideram que o processo ocorre em quatro fases: na primeira, aeróbica, os organismos são ativos, e ela pode durar de 0 a 5 anos; na segunda, de

5 a 10 anos, entram em ação os formadores de ácidos que causam degradação; a terceira fase, de fermentação do metano, vai de 15 a 20 anos; a quarta e última fase, de maturação em estado estacionário (maior que 20 anos) ocorre quando a atividade microbiana se estabiliza.

Peng (2017) explica que no processo biológico de degradação os resíduos sólidos aterrados são transformados em gases (CH_4 , CO_2 , NH_3 , dentre outros), líquidos (como o lixiviado que apresenta alta concentração de matéria orgânica em termos de DQO, elevada concentração de nitrogênio amoniacal, em decorrência da presença do NH_4^+ , além de sólidos remanescentes, refratários ao processo de digestão anaeróbia).

Para Sá et al. (2012), o lixiviado de aterro novo, quando recebe boa quantidade de água pluvial, é caracterizado por pH ácido, altas concentrações de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) e de Demanda Química de Oxigênio (DQO) e diversos compostos potencialmente tóxicos, além de microrganismos patogênicos. Com o passar dos anos há uma redução significativa da biodegradabilidade devido à conversão em gás metano e CO_2 de parte dos componentes biodegradáveis. Altas concentrações de matéria orgânica biodegradável no lixiviado novo favorecem a elevada razão da $\text{DBO}_{5,20}/\text{DQO}$ (AHMED; LAN, 2012), diminuindo com o tempo em razão dos processos de estabilização da matéria orgânica biodegradável, permanecendo apenas a de difícil biodegradação.

No contexto dos problemas causados pelos lixões, mesmo desativados, ressalta-se a importância do monitoramento dos resíduos aterrados e dos líquidos e gases gerados (KUMAR, et al., 2019), considerando que a decomposição desses resíduos perdurará por décadas, impactando a qualidade ambiental da área destinada ao lixão (HUSSEIN et al., 2019).

O Lixão do Roger, situado no manguezal adjacente ao rio Sanhauá, tributário da margem direita

do estuário do rio Paraíba do Norte, recebeu os resíduos sólidos da cidade de João Pessoa, capital do estado da Paraíba-Brasil, ao longo de 45 anos. Após o encerramento das suas atividades, no ano de 2003, a Autarquia Municipal Especial de Limpeza Urbana (EMLUR- João Pessoa/PB) elaborou um projeto para recuperação da área degradada. Então, o Lixão foi dividido em 05 células, mas apenas duas (C1 e C2) foram concluídas e tiveram finalizados os processos de recuperação ambiental. Apesar de desativado, ainda se atribuem ao Lixão problemas de degradação e poluição ambiental na área do manguezal e da porção estuarina do rio Sanhauá, nas suas proximidades.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivo avaliar o comportamento do chorume do Lixão do Roger (após encerramento das atividades) por meio de série histórica, num período de 12 anos (2006 a 2018), considerando parâmetros químicos obtidos ao longo do monitoramento, a fim de obter informações acerca da estabilidade dessa área.

3 METODOLOGIA

Para o estudo foram realizadas coletas de chorume bruto no antigo Lixão do Roger. Em laboratório foram analisados os parâmetros químicos: demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅); demanda química de oxigênio (DQO); chumbo; alumínio; mercúrio; amônia; nitrito; nitrato; óleos e graxas e fosfato.

O monitoramento foi realizado nas células C1 e C2 (Fig. 1), que tiveram finalizadas o processo de recuperação ambiental da área degradada. Foram 74 coletas do chorume bruto (em cada célula) ao longo do tempo, no período compreendendo as datas 13/09/2006 e 06/11/2018, resultando em 12 anos de monitoramento ininterrupto.



Figura 1 - Vista aérea das células 01 e 02 na região do antigo lixão do Roger
Fonte: Adaptado Google Earth, 2019

Para as coletas das amostras de chorume foram instalados piezômetros com profundidade de 12,90 m, denominados de PZ1 e PZ2 correspondendo às células C1 e C2, respectivamente. A retirada do chorume dos piezômetros era feita utilizando-se de um coletor portátil constituído de um tubo de PVC de 32 mm de diâmetro e 1 metro de comprimento. Na extremidade inferior havia uma válvula de pé e crivo (por onde a amostra adentrava ao coletor), e na superior, uma corda amarrada que servia de sustentação do coletor quando este era introduzido no piezômetro. A Fig. 2 mostra a coleta de chorume na célula C2 onde se vê também o coletor portátil.

Todas as análises do chorume seguiram os procedimentos conforme o Standard Methods for Examination of Water and Wastewater (APHA, AWWA, WEF, 2017).



Figura 2 - Coleta do chorume bruto, realizado na Célula 02.
Fonte: Os autores, 2018

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 DBO₅ e DQO

Durante todo o período de monitoramento do chorume do antigo Lixão do Roger, a DQO apre-

sentou valores mais elevados que a DBO₅, expressando predominância da fração inerte (não biodegradável). A Fig. 3 mostra o comportamento dos parâmetros DBO₅ e DQO na célula 01.

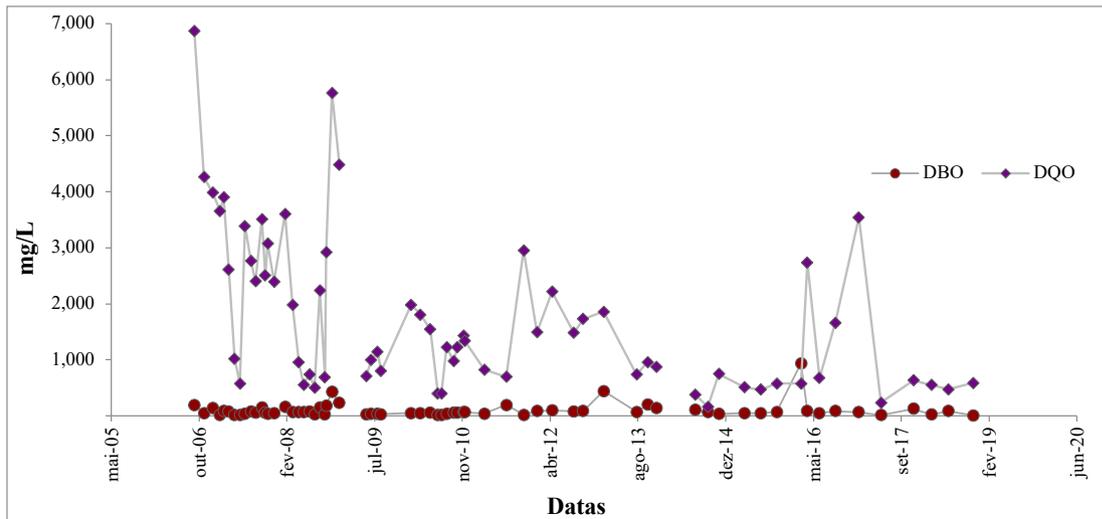


Figura 3 - Comportamento dos parâmetros DBO₅ e DQO na célula C1

Realizando-se a análise do comportamento dos parâmetros DBO₅ e DQO na célula C2, percebe-se,

igualmente, que os valores obtidos para o parâmetro DQO são superiores aos obtidos pela DBO₅ (Fig. 4).

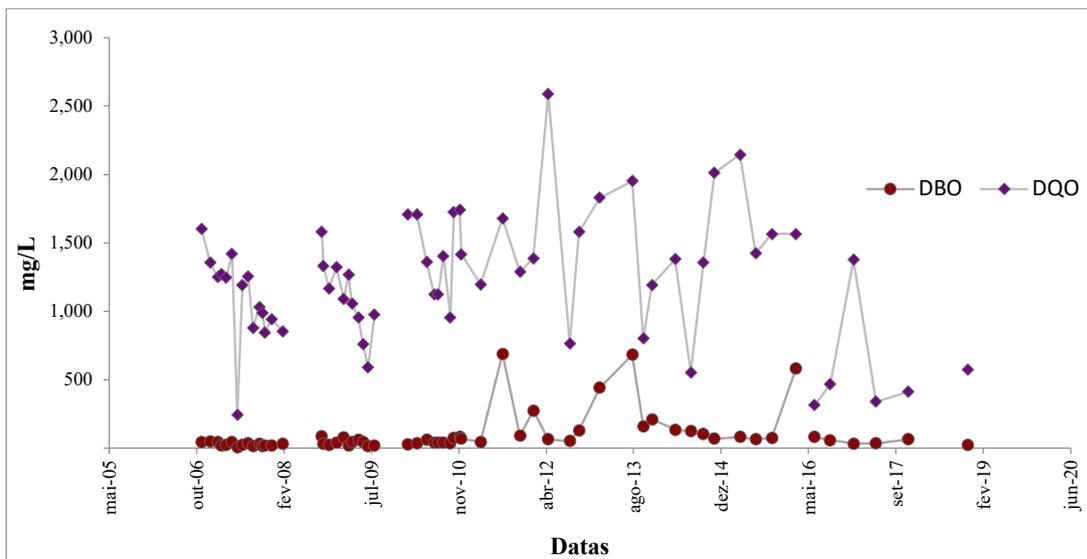


Figura 4 - Comportamento dos parâmetros DBO₅ e DQO na célula C2

O antigo Lixão do Roger não é mais alimentado, ou seja, não recebe resíduo sólido desde sua de-

sativação, no ano de 2003. Dessa forma, eventuais valores altos de DBO₅ após o encerramento

das atividades podem expressar inconsistência nos dados. Os picos isolados de DBO_5 podem ser interpretados como interferência de fatores externos como a ocorrência de falta de energia no laboratório durante a análise das amostras

Durante todo o período de monitoramento, os valores de DQO para a célula C1 ficaram entre 160 e 6.870,5 $mg.L^{-1}$, e para a célula C2 entre 243,9 e 2.587,5 $mg.L^{-1}$. De acordo com o Compromisso Empresarial para Reciclagem - CEMPRE (2018), os aterros que apresentam chorume com faixa de variação de DQO de 500 a 4.500 mg^{-1} estão na fase metanogênica. Assim, consideram-se que os resíduos aterrados nas células C1 e C2 do Lixão estejam nessa fase, pois apresentam 86,57% e 83,58%, respectivamente, dentro do intervalo de DQO citado. Vale salientar que ao final do monitoramento, no ano de 2018, já haviam se passado 15 anos do encerramento das atividades desse Lixão. Tal constatação está em concordância com o que afirmaram Mishra et al. (2018) sobre tempo de duração de cada fase da decomposição dos resíduos sólidos aterrados.

Os valores reduzidos de DBO_5 nas duas células indicam que o chorume é proveniente de uma massa de resíduos antiga. As células C1 e C2 estão 88,06% e 74,63%, respectivamente, dentro do intervalo de 20 a 550 $mg.L^{-1}$ de DBO_5 que o CEMPRE (2018) considera também como sendo fase metanogênica.

A fase metanogênica é uma das etapas do processo de degradação da matéria orgânica biodegradável e é caracterizada pela presença de bactérias anaeróbicas que consomem os compostos orgânicos simples, formados na fase acetogênica, resultando na geração de metano e dióxido de carbono. Nessa fase, a relação DBO_5/DQO é baixa.

De acordo com Shalini et al. (2010), nos aterros jovens, a relação DBO_5/DQO fica em torno de 0,5 ou maior. Valores entre 0,4 e 0,6 são indicadores de boa degradabilidade. Em aterros mais velhos,

essa relação varia, geralmente, entre 0,05 e 0,2 em razão dos processos de estabilização (ou seja, menor concentração de matéria orgânica biodegradável e elevada concentração de matéria orgânica recalcitrante). Dessa forma, a relação DBO_5/DQO pode ser relacionada tanto à idade do aterro como ao seu grau de estabilização.

No antigo Lixão do Roger, ao longo do período de monitoramento do chorume, a relação DBO_5/DQO média encontrada para a célula C1 foi igual a 0,01 e para C2 foi de 0,04 indicando, portanto, processo de decomposição avançado, restando apenas material predominantemente recalcitrante.

4.2 Metais pesados

A Resolução do Conselho Nacional de Meio Ambiente - CONAMA nº 430/2011 complementa e altera a Resolução CONAMA nº 357/2005, que dispõe sobre condições e padrões de lançamento de efluentes. No parágrafo 1º, Art. 16, estabelece que os efluentes oriundos de sistemas de disposição final de resíduos sólidos devem atender às condições e padrões definidos.

Os parâmetros chumbo e mercúrio estão presentes na referida Resolução, apresentando valores máximos de lançamento da ordem de 0,5 $mg.L^{-1}$ Pb e 0,01 $mg.L^{-1}$ Hg, respectivamente. Utilizando como base as condições limites, impostas pela legislação, foi possível comparar e verificar o comportamento dos dois parâmetros.

Os valores de chumbo permaneceram menores que o limite na célula C1 e foram excedidos apenas uma vez na célula C2, com valor de 0,75 $mg.L^{-1}$ na coleta realizada em 16/09/2014. Já o mercúrio apresentou inconsistência nos resultados durante as primeiras campanhas de coletas, no fim de 2006 e início de 2007, apresentando valores acima do permitido.

Visto que a Resolução CONAMA nº 430/2011 não reporta sobre os valores máximos do alumínio presentes no efluente, e como também o estado da Paraíba não possui legislação acerca dos padrões de lançamento de cargas poluidoras, os teores desse parâmetro foram comparados aos da Resolução do Conselho Estadual do Meio Ambiente – CONSEMA nº 355/2017, que dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos no estado do Rio Grande do Sul.

Segundo a referida Resolução, o padrão de emissão do alumínio não deve ultrapassar 10 mg.L⁻¹. Então, observou-se para a célula C1 que em seis

amostras o valor limite foi ultrapassado, sendo cinco entre os anos de 2013 e 2018. Na célula 02, apenas em 09/04/2014 ficou fora do intervalo limite, registrando 14,16 mg.L⁻¹. Avaliando todo o período de monitoramento, pôde-se verificar que os teores de alumínio foram considerados relativamente baixos.

No geral, houve uma correspondência entre os valores de chumbo, mercúrio e alumínio para as duas células, na mesma campanha de coleta de chorume, com exceção para o mercúrio, comentada anteriormente. As Fig. 5 e 6 mostram os valores dos três parâmetros para as células C1 e C2, respectivamente.

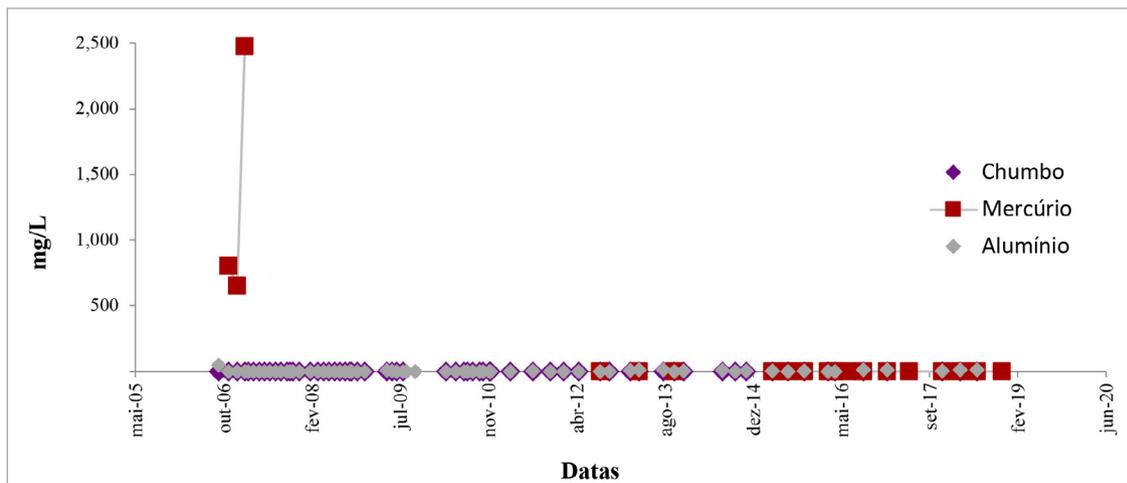


Figura 5 - Comportamento dos parâmetros Pb, Hg, Al, na célula C1

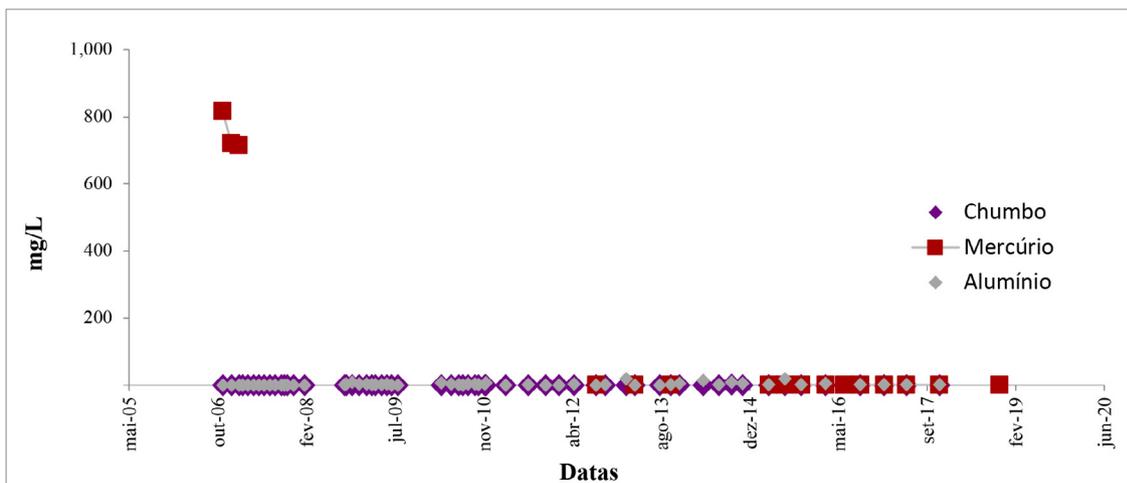


Figura 6 - Comportamento dos parâmetros Pb, Hg, Al, na célula C2

Os resultados obtidos para os metais mercúrio, chumbo e alumínio também podem sugerir o grau de estabilidade do antigo Lixão do Roger, pois Araújo et al. (2020) afirmam que o chorume pode conter altas concentrações de metais, diminuindo ao longo do tempo. Reque (2015) também relata que os metais podem apresentar concentrações mais elevadas em aterros novos (operação iniciada recentemente). Devido ao ambiente ácido (que permite a solubilização dos íons metálicos), tendem a diminuir ao longo do tempo, na medida em que o pH vai aumentando com a idade da massa de resíduos aterrados. As concentrações de metais pesados presentes no chorume também podem ter relação com o tipo de resíduo recebido no lixão, sendo, teoricamente, concentrações menores no caso do resíduo sólido domiciliar e maiores para o resíduo sólido industrial.

4.3 Amônia, Nitrito, Nitrato

A Resolução CONAMA nº 430/2011 tampouco estabelece padrões de lançamento de efluentes para os parâmetros: amônia, nitrito e nitrato e, como já mencionado, o estado da Paraíba não possui legislação específica para efluentes.

Silva et al. (2015) afirmam que a amônia, um dos subprodutos gerados durante a decomposição dos resíduos sólidos, também pode causar toxicidade ao meio. Em elevadas concentrações ela se torna tóxica, dificultando os processos de degradação (SILVA, 2016).

No processo de degradação da matéria orgânica, o oxigênio dissolvido (OD) é consumido, ocorrendo a formação de amônia, que, em condições

aeróbias, é oxidada para nitrato. Em condições anaeróbias, o nitrato sofre redução para nitrito. Assim, Paes (2003) afirma que os altos valores de nitrogênio amoniacal não convertidos em nitrato e nitrito são característicos de um chorume com alta carga orgânica. Os valores baixos de nitrito indicam também um chorume não estabilizado.

Silva (2014) também explica que em condição aeróbia a amônia é oxidada para nitrito e logo em seguida para nitrato, enquanto em situações anaeróbias o nitrato é reduzido a nitrito e, posteriormente, a gás nitrogênio. Dessa forma, a relação entre amônia e nitrato é um indicativo da fase em que se encontra o processo biológico, responsável pela degradação da fração orgânica de resíduos sólidos aterrados, citada por Mishra et al. (2018), que também está associada tanto à idade do aterro como a sua estabilidade.

De acordo com o CEMPRE (2018), para aterros consolidados, com mais de 10 anos, os valores de nitrato devem ficar na faixa de variação 5-10 mg.L⁻¹. Durante 12 anos de monitoramento do antigo Lixão do Roger, os limites desse parâmetro foram ultrapassados apenas em três vezes em coletas seguidas, para ambas as células, nas datas: 03/11/2011, 18/01/2012, 12/04/2012. As concentrações registradas nessas coletas foram cerca de 100 vezes maiores do que os outros valores de nitrato. É possível a interferência de algum fator externo na obtenção desses resultados.

Os valores de nitrito foram predominantemente maiores que os valores de nitrato, indicando que a condição anaeróbia predomina. As Fig. 7 e 8 mostram o comportamento dos parâmetros mencionados para as células C1 e C2, respectivamente.

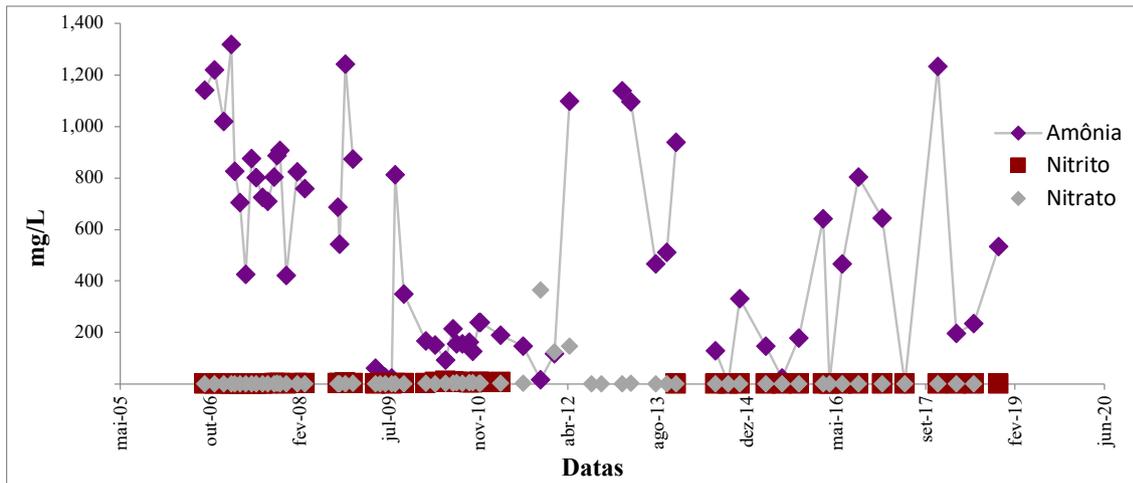


Figura 7 - Comportamento dos parâmetros NH_3 , NO_2^- , NO_3^- na célula C1

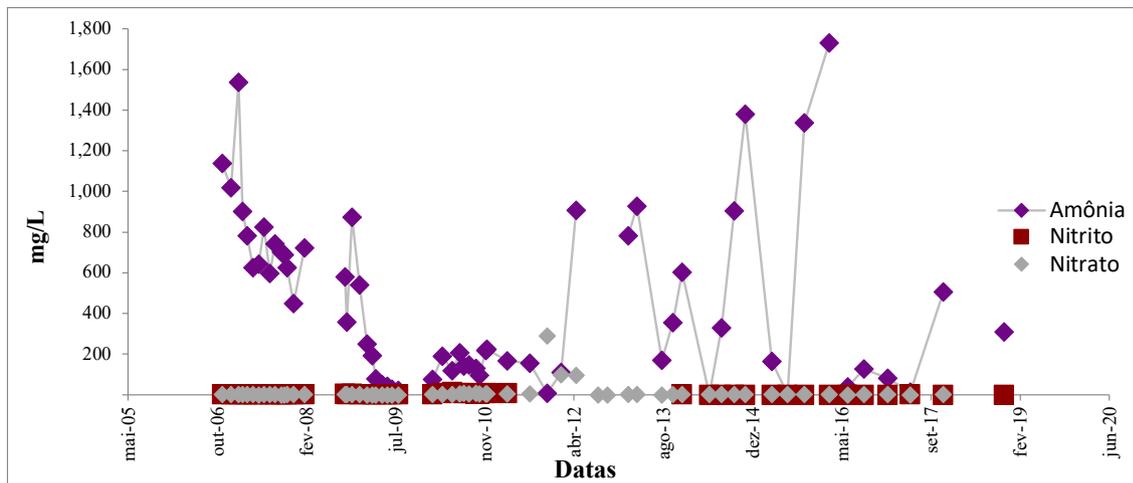


Figura 8 - Comportamento dos parâmetros NH_3 , NO_2^- , NO_3^- na célula C2

4.4 Fosfato e Óleos e Graxas

Os fosfatos orgânicos são a forma como o fósforo compõe moléculas orgânicas, sendo um dos principais nutrientes para os processos biológicos. Entre as fontes de fósforo, destacam-se a matéria orgânica fecal e os detergentes superfosfatados, utilizados em grande escala (CETESB, 2015).

O CEMPRE (2018) estabelece para aterro sanitário consolidado, com mais de 10 anos, o limite de 8 mg.L^{-1} para o ortofosfato. Pode-se considerar o mesmo valor característico para o parâmetro fosfato. Dessa forma, as concentrações de fosfato apresentaram-se satisfatórias para células

C1 e C2, estando, respectivamente 83,08% e 79,03% dentro do limite considerado.

Óleos e graxas são substâncias orgânicas de origem mineral, vegetal ou animal. Essas substâncias geralmente são hidrocarbonetos, gorduras, ésteres, entre outros. São provenientes de despejos e resíduos industriais, resíduos sólidos, efluentes de oficinas mecânicas (CETESB, 2015). Quando essas substâncias estão presentes em excesso, há dificuldade de degradação por microrganismos, por sua baixa solubilidade.

Os óleos e as graxas apresentaram valores menores no início do monitoramento até o ano 2008,

obtendo posteriormente valores maiores durante o fim de 2008 até início de 2013, e voltando a decair e estabilizar até a última coleta. Atualmente, para esse parâmetro não existe resolução que estabeleça padrões de lançamento de efluentes.

5 CONCLUSÕES

As relações médias de DBO5/DQO obtidas foram: 0,01 para a célula C1 e de 0,04 para a célula C2, indicando avançado estágio de degradação da massa de resíduo aterrada, associado à idade do Lixão do Roger. Devido ao material recalcitrante e valores elevados de DQO, as águas subterrâneas apresentam risco de contaminação caso haja percolação.

As concentrações de chumbo, mercúrio e alumínio foram baixas, indicando que os resíduos sólidos provenientes do antigo Lixão do Roger eram predominantemente domiciliares.

As concentrações de amônia, nitrato e nitrito indicam que ainda há o processo de degradação da matéria orgânica em condição anaeróbia. Valores altos de amônia podem matar ou inibir os microrganismos, comprometendo, assim, a degradação microbiológica.

Os valores de fosfato no chorume são característicos de um aterro consolidado, sendo mais um fator que expressa a estabilidade do chorume.

De acordo com os parâmetros analisados, é possível afirmar que o processo de decomposição da matéria orgânica se encontra em fase avançada nas massas de resíduos das células C1 e C2.

As atividades realizadas no antigo Lixão do Roger provocaram degradação do solo, poluição do ar e contaminação das águas superficiais e subterrâneas.

Vale ressaltar que no Brasil a legislação específica que dispõe sobre condições e padrões para efluentes aborda poucos parâmetros.

6 CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Todos os autores contribuíram de forma igualitária.

7 REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS (ABRELPE). **Panorama de Resíduos Sólidos no Brasil, 2020**. São Paulo, 2020. 52 p.

AHMED, F. N.; LAN, C. Q. Treatment of Landfill Leachate Using Membrane bioreactors: A Review. **Desalination**, v. 287, p.41-54, 2012. <https://doi.org/10.1016/j.desal.2011.12.012>

ALIZADEH, M.; MIRHOSEINI, S. A.; DOLATABADI, M.; EBRAHIMI, A. A. Evaluation of the Effect of Landfill Leachate on the Surface Water Quality: A Case Study in Tonekabon Landfill. **Journal of Environmental Health and Sustainable Development**, v. 3, n. 1, p. 472-480, 2018.

APHA, AWWA & WEF. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 23th edition. Public Health Association Inc., New York, 2017.

ARAÚJO, L. G. S. de; NORBERTO, A. de S.; FERREIRA, R. P. de S.; MARIANO, M. O. H.; CALLADO, N. H. Evaluation of the efficiency of leachate treatment in a landfill. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 7, p. 1-35, 2020. <https://doi.org/10.33448/rsd-v9i7.4466>

BHATT, A. H. et al. Estimating landfill leachate BOD and COD based on rainfall, ambient temperature, and waste composition: Exploration of a MARS statistical approach. **Environmental Technology & Innovation**, v. 8, p. 1-16, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.eti.2017.03.003>

COMPROMISSO EMPRESARIAL PARA RECICLAGEM (CEMPRE). VILHENA, A. (Coord.). **Lixo municipal: manual de gerenciamento**. 4. ed. São Paulo, 2018.

CONSELHO NACIONAL DE MEIO AMBIENTE (CONAMA). **Resolução CONAMA nº 430/2011**. Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente-CONAMA. Ministério do Meio Ambiente. Brasil, 2011.

CONSELHO ESTADUAL DO MEIO AMBIENTE (CONSEMA). **Resolução CONSEMA nº 355 de 2017**. Dispõe sobre os critérios e padrões de emissão de efluentes líquidos para as fontes geradoras que lancem seus efluentes em águas superficiais no Estado do Rio Grande do Sul. Secretaria do Ambiente e Desenvolvimento Sustentável, Porto Alegre, 2017. Acesso em: < http://www.laboratoriogreenlab.com.br/images/pdf_gerais/Consema_355-2017.pdf>

COSTA, A. M.; ALFAIA, R. G. D. S. M.; CAMPOS, J. C. Landfill leachate treatment in Brazil – An overview. **Journal of environmental management**, v. 232, p. 110-116, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2018.11.006>

- DERMATAS, D. Waste management and research and the sustainable development goals: focus on soil and groundwater pollution. **Waste Management & Research**, v. 35, n. 5, p. 453–455, 2017. <https://doi.org/10.1177/0734242X177064>
- FREITAS, C. M. Levantamento da disposição final de resíduos sólidos urbanos em 32 municípios do Estado de Goiás / Survey of the disposal of municipal solid waste in thirty-two counties of the State of Goiás. **Revista de Biologia Neotropical**, v. 12, n. 2, p. 120, 2016.
- HUSSEIN, M.; YONEDA, K.; MOHD. ZAKI, Z.; OTHMAN, N.; AMIR, A. Leachate characterizations and pollution indices of active and closed unlined landfills in Malaysia. **Environmental Nanotechnology, Monitoring & Management**, v. 12, p. 1-9, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.enmm.2019.100232>
- KUMAR, S.; DHAR, H.; NAIR, V. V.; RENA; GOVANI, J.; ARYA, S.; BHATTACHARYA, J. K.; VAIDYA, A. N.; AKOLKAR, A. B. Environmental quality monitoring and impact assessment of solid waste dumpsites in high altitude sub-tropical regions. **Journal of Environmental Management**, v. 252, 2019. <https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2019.109681>
- LANGE, L. C.; AMARAL, M. C. S. DO. Geração e Características do Lixiviado. In: GOMES, L. P. (Org.). **Estudos de caracterização e tratabilidade de lixiviados de aterros sanitários para as condições brasileiras**. Rio de Janeiro: ABES, 2009. PROSAB, v. 3, cap. 2, p. 26-59. ISBN: 978-85-7022-163-6
- MENDONÇA, J. M. dos S. **Avaliação da ecotoxicidade de percolados em áreas de disposição de resíduos na região metropolitana de Natal/RN**. 2010. 72 f. Dissertação (Mestrado em Ecologia) – Centro de Biociências, Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2010.
- MISHRA, S.; TIWARY, D.; OHRI, A. Leachate characterisation and evaluation of leachate pollution potential of urban municipal landfill sites. **International Journal of Environment and Waste Management**, v. 21, n. 4, p. 217-230, 2018. <https://doi.org/10.1504/IJEW.2018.10014602>
- OGUNTOKE, O., EMORUWA, F.O., TAIWO, M.A. Assessment of air pollution and health hazard associated with sawmill and municipal waste burning in Abeokuta Metropolis, Nigeria. **Environmental Science and Pollution Research**, v. 26, p. 32708-32722, 2019. <https://doi.org/10.1007/s11356-019-04310-2>
- PAES, R. F. C. **Caracterização do chorume produzido no aterro da Muribeca – PE**. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2003.
- PENG, Y. Perspectives on technology for landfill leachate treatment. **Arabian Journal of Chemistry**, v. 10, n. 2, p. S2567-S2574, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.arabjc.2013.09.031>
- REQUE, P. T. **Avaliação da biodegradabilidade de lixiviado de aterro sanitário consorciado com esgoto doméstico em um sistema biológico de tratamento de efluentes**. 2015. 169 f. Dissertação (Mestrado em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, 2015.
- SÁ, L. F.; JUCÁ, J. F. T.; MOTTA SOBRINHO, M. A. Tratamento do lixiviado de aterro sanitário usando destilador solar. **Ambi-Agua**, Taubaté, v. 7, n. 1, p. 204-217, 2012. <http://dx.doi.org/10.4136/ambi-agua.815>
- SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Meio Ambiente. Companhia Ambiental do Estado de São Paulo (CETESB). **Relatório de Qualidade das Águas Superficiais 2014**. São Paulo: CETESB, 2015.
- SHALINI, S. S.; KARTHIKEYAN, O. P.; JOSEPH, K. Biological stability of municipal solid waste from simulated landfills under tropical environment. **Bioresource Technology**, v. 101, n. 3, p. 845-852, 2010. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2009.08.104>
- SILVA, S. A. **Geotêxteis como elementos redutores da capacidade poluente de chorumes**. 2014. 135 f. Tese (Doutorado em Geotecnia) – Universidade de Brasília, Brasília, 2014.
- SILVA, A. S.; RIBEIRO, L. S.; PAIVA, W.; MELO, M. C.; MONTEIRO, V. E. D. Avaliação do potencial tóxico dos resíduos sólidos urbanos da cidade de Campina Grande – PB. **Revista Matéria**. Rio de Janeiro, v.20, n.4, p.840-851, 2015.
- SILVA, A. S. **Análise de componentes tóxicos em resíduos sólidos urbanos**. 2016. 161 f. Tese (Doutorado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2016.
- WOJCIECHOWSKA, E. Potential and limits of landfill leachate treatment in a multi-stage subsurface flow constructed wetland–evaluation of organics and nitrogen removal. **Bioresource technology**, v. 236, p. 146-154, 2017. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2017.03.185>