



Monitoramento de Células Experimentais de Aterro de Resíduos Domiciliares

Raphael Ferreira Porto¹

Ronei de Almeida¹

Marco André Giovannini Hinojosa²

Bianca Ramalho Quintaes²

Daniele Maia Bila³

Juacyara Carbonelli Campos¹

Tecnologia Ambiental

Resumo

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar a composição físico-química dos lixiviados gerados em células experimentais de resíduos domiciliares (RDO). Três células experimentais de RDO foram preenchidas com cerca de 120 kg de resíduos cada (massa específica de 600 kg/m³) e monitoradas durante 61 dias. A caracterização dos lixiviados gerados foi realizada com base nos parâmetros potencial hidrogeniônico (pH), demanda química de oxigênio (DQO), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) e condutividade. Os resultados apontaram que os lixiviados coletados se encontram na fase acidogênica de biodegradação dos resíduos, visto que os efluentes apresentaram caráter ácido — com valores de pH variando de 4,5 a 6,2. Os lixiviados apresentaram elevada concentração de matéria orgânica, quantificada através do parâmetro DQO. O valor máximo obtido foi de 17870 mg O₂. L⁻¹. Durante o período monitorado, observou-se também uma tendência de aumento nas concentrações de N-NH₃ dos lixiviados das três células experimentais, além de elevado valor de condutividade. Os resultados do presente estudo podem ser utilizados para definição de estratégias para gerenciamento eficiente dos lixiviados gerados nos aterros de resíduos.

Palavras-chave: Acidogênese, Aterro, Biodegradação, Lixiviado, Resíduos sólidos.

¹Escola de Química, Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ) – Departamento de Processos Inorgânicos, porto@eq.ufrj.br; ronei@eq.ufrj.br; juacyara@eq.ufrj.br.

²Companhia Municipal de Limpeza Urbana do Rio de Janeiro (COMLURB) – Centro de Pesquisas Aplicadas, hinojosagam@yahoo.com.br; brquintaes@gmail.com.

³Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ), Departamento de Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente, danielebilauerj@gmail.com.



INTRODUÇÃO

A geração de resíduos sólidos urbanos (RSU) tem se mostrado um problema a nível global devido a diversos fatores, como a falta de locais adequados para disposição final desses resíduos e a dificuldade de se adotar um tratamento efetivo para o efluente gerado na degradação desses resíduos, denominado de lixiviado (DE ALMEIDA et al. (2020). A disposição de RSU em aterros sanitários é a alternativa mais empregada na maioria dos países, em razão dos custos reduzidos e maior simplicidade (CALABRÒ *et al.*, 2018; DE ALMEIDA e CAMPOS, 2020; KJELDSEN *et al.*, 2002)

Após os RSU serem dispostos em células de aterros e, então, cobertos, tem-se início uma série de processos biológicos e físico-químicos (CASTILHOS Jr. *et al.*, 2003). De acordo com Pohland & Harper (1985), o processo de degradação dos resíduos sólidos nos aterros é dividido em cinco fases e, conforme elas se sucedem, é gerado o lixiviado. A fase I é a fase aeróbia, caracterizada pelo consumo rápido de oxigênio (O_2) disponível nos interstícios dos resíduos e geração de dióxido de carbono (CO_2). Em seguida ocorre a fase II, fase de transição, que consiste na passagem da condição aeróbia para a condição anaeróbia de decomposição; o nível de O_2 é reduzido, levando a uma predominância de microrganismos anaeróbios. Na fase III, fase acidogênica, há aumento na concentração de demanda química de oxigênio (DQO) e redução do pH como consequência da formação de ácidos orgânicos voláteis. Na fase IV, fase metanogênica, os ácidos que foram gerados na fase III são, então, convertidos em metano e CO_2 , contribuindo para a elevação do pH e redução da concentração de DQO. A fase V é a fase de maturação final, na qual ocorre uma escassez de nutrientes, restando apenas substratos de difícil biodegradação, e, conseqüentemente, há redução — e até cessação — da produção de gases (POHLAND & HARPER, 1985).

O emprego de células experimentais de RSU possibilita acompanhar a decomposição dos resíduos em menor tempo do que normalmente ocorre em um aterro sanitário. O monitoramento através de células experimentais viabiliza buscar melhorias no tocante ao gerenciamento de RSU, como reduzir os custos de aterramento, sugerir soluções para tratamento ou recuperação de recursos do lixiviado e redução dos impactos ambientais dos aterros de resíduos (BILGILI *et al.*, 2011).

As características físico-químicas dos lixiviados variam de acordo com o tipo de resíduo aterrado, o nível da decomposição, fatores climáticos, tempo em atividade da célula e outros fatores. Portanto, os lixiviados de aterro podem apresentar diferenças consideráveis em suas características entre um local e outro, ou num mesmo local em diferentes épocas no ano (REINHART & AL-YOUSFI, 1996).

É importante acompanhar as variações dos parâmetros físico-químicos do lixiviado gerado na biodegradação dos resíduos para definição da melhor rota de tratamento do lixiviado. Cabe destacar que o conhecimento da composição do efluente gerado nos aterros de resíduos pode também ser utilizado para definição de estratégias para gerenciamento dos resíduos dispostos nesses locais (KUMAR *et al.*, 2010). Dentro desse contexto, o objetivo geral do presente estudo foi avaliar a composição físico-química de lixiviados gerados em células experimentais de resíduos domiciliares (RDO).

METODOLOGIA

As três células experimentais (C1, C2 e C3) se encontram no município do Rio de Janeiro/RJ, no bairro de Vargem Pequena, dentro das instalações do Laboratório de Educação Ambiental do Centro de Pesquisas Aplicadas da Companhia Municipal de Limpeza Urbana (COMLURB).

A montagem das células foi realizada com uso de três contêiner de polietileno de alta densidade (PEAD) (74×59×105 cm) (a), com capacidade de 240 L, três adaptadores flange soldável 20 mm de policloreto de vinila (PVC) (b), três nípeis roscáveis de PVC ½” (c), três joelhos roscáveis 90° ½” de PVC (d) e três torneiras ½” de polipropileno (e) (Figura 01).



Figura 01: Materiais para montagem das células experimentais para disposição de RDO. A: contêiner de 240 L; B: flange soldável 20 mm; (c) nípel roscável ½’’; (d) joelho 90° ½’’; (e) torneira ½’’.

Os RDO dispostos nas células foram provenientes da cidade do Rio de Janeiro e coletados pela COMLURB no período de 02/02/2021 a 28/02/2021. As amostras foram homogeneizadas e submetidas a técnica de quarteamento, como descrito pela Norma Técnica NBR 10007/2004 (ABNT, 2004) para análise gravimétrica dos resíduos. Durante a análise gravimétrica, as amostras foram diferenciadas em sete categorias: matéria orgânica (MO), papel/papelão (P/P), plástico (PL), vidro (VD), metal (MT) e inertes e outros (I/O).

A diferenciação do material foi feita por identificação visual e separação manual. Em seguida, as frações foram pesadas para a coleta de dados. A composição percentual de cada uma das frações de resíduos foi calculada pela Equação 01.

$$\%w_i = w_i / w_t \times 100 \quad (\text{Equação 01})$$

Onde, $\%w_i$ é a composição percentual de cada componente do resíduo (%), w_i é a massa de cada componente do resíduo (kg), e w_t é a massa da amostra total de resíduos

misturada (kg).

Após separação, classificação, pesagem e registro dos dados, os RDO foram manualmente triturados e peneirados ($\varnothing < 80$ mm) antes de serem dispostos nas células experimentais. Cada célula experimental foi preenchida com cerca de 120 kg de RDO cada, correspondendo a uma massa específica de 600 kg/m^3 . Os resíduos foram compactados nas células experimentais e cobertos com uma camada de solo de espessura de aproximadamente 14 cm.



Figura 02: Amostragem e preenchimento das células experimentais de RDO. A: amostras de RDO; B: RDO dispostos nas células experimentais após análise gravimétrica e trituração manual ($\varnothing < 80$ mm).

A coleta dos lixiviados gerados foi realizada semanalmente, com o volume coletado sendo quantificado e registrado. O monitoramento ocorreu durante 61 dias. A caracterização dos lixiviados gerados nas células experimentais foi realizada no Laboratório de Tratamento de Águas e Reuso de Efluentes (LabTare), localizado na Escola de Química da Universidade Federal do Rio de Janeiro, e teve como base os parâmetros de poluição de efluentes líquidos do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012) — pH (método 4500-H⁺), DQO (método 5220-D), nitrogênio amoniacal (N-NH₃) (método 4500-NH₃), e condutividade (método 2510-A).



RESULTADOS E DISCUSSÃO

A composição média dos RDO, determinada pela análise gravimétrica, foi de 48% de MO, 13% P/P, 16% PL, 3% VD, 2% MT e 18% I/O. Essa composição gravimétrica, assim sendo, correspondeu a composição média dos RDO dispostos nas células experimentais C1, C2 e C3.

A Figura 03 apresenta os volumes de lixiviados obtidos semanalmente. Esses valores são muito influenciados pelas condições meteorológicas da região. Por exemplo, uma baixa pluviosidade no período da coleta pode acarretar em baixos volumes ou na não geração de lixiviados. A capacidade de campo das células também impacta no volume de lixiviado gerado, pois o lixiviado só passa a ser gerado quando a capacidade de campo da célula atinge seu limite máximo, ou seja, os resíduos contidos na célula não conseguem absorver mais umidade, tanto oriunda dos próprios resíduos quanto oriunda da precipitação pluviométrica. Outro fator é o calor produzido no interior da célula por conta de processos anaeróbios, que pode vir a causar a evaporação de uma quantidade da umidade presente nos resíduos, retardando a geração de lixiviado (SÁ *et al.*, 2012).

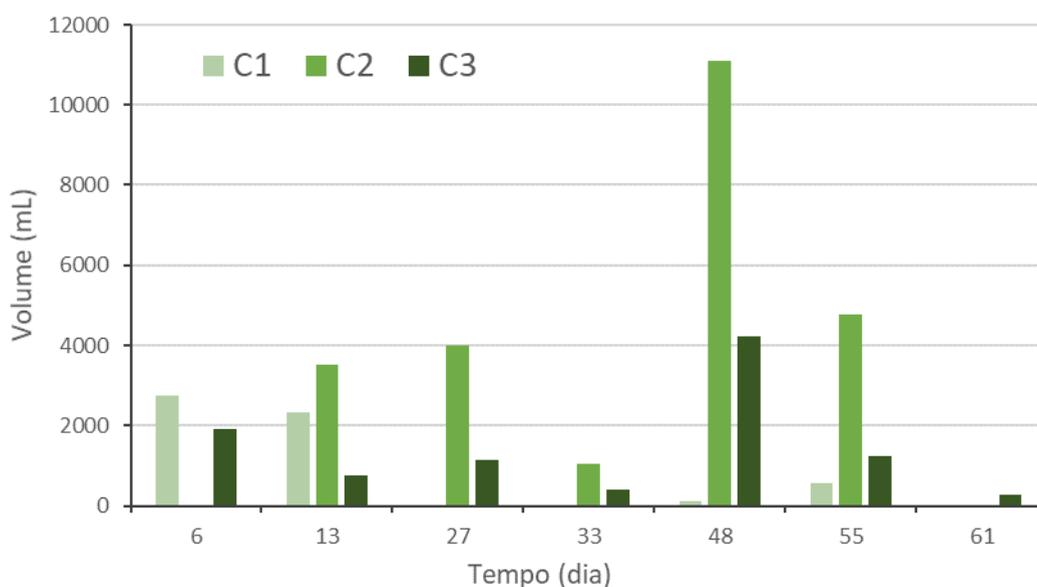


Figura 03: Volume de lixiviado gerado pelas células experimentais C1, C2 e C3.

Os resultados da caracterização dos parâmetros físico-químicos dos lixiviados

gerados pelas células experimentais estão apresentados na Figura 04 (condutividade, DQO, NH₃-N) e Tabela 01 (pH).

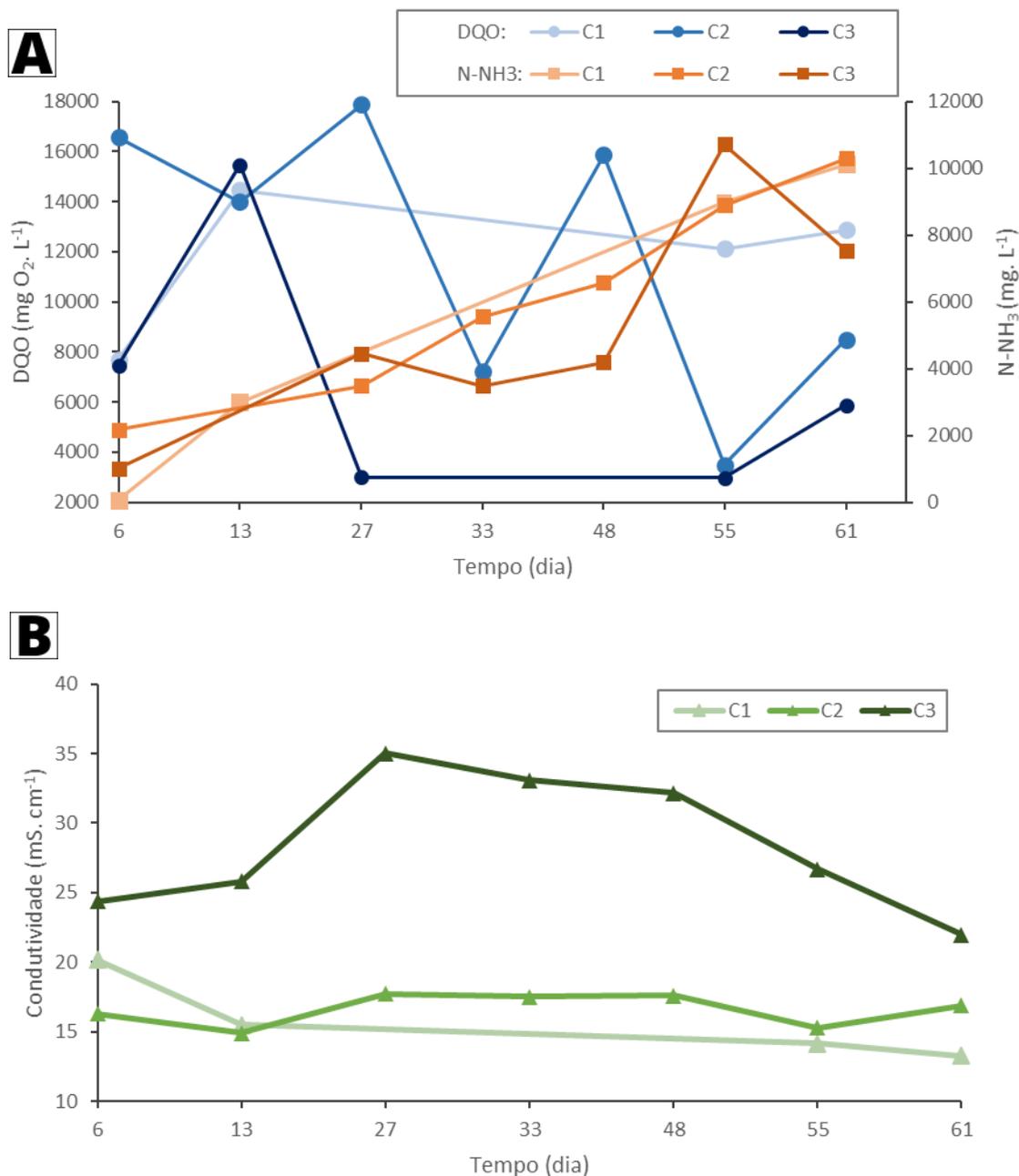


Figura 04: Concentrações de parâmetros analisados na caracterização dos lixiviados das células experimentais. A: DQO e N-NH₃; B: condutividade.



Tabela 01: Valores de pH dos lixiviados das células experimentais C1, C2 e C3.

TEMPO (DIAS)	pH		
	C1	C2	C3
6	4,48	-	6,05
13	4,52	6,15	6,16
27	-	5,07	6,16
33	-	5,08	6,16
48	-	4,81	6,24
55	4,47	4,85	5,14
61	-	4,91	5,06

-; não analisado devido a não geração de lixiviado.

Os lixiviados em todas as células apresentaram pH de caráter ácido, relacionado à fase ácida da biodegradação (acidogênica), em que bactérias anaeróbias consomem a matéria orgânica hidrolisada (substrato) e produzem ácidos graxos (CASTILHOS Jr. *et al.*, 2003). Em C1, os lixiviados apresentaram uma relativa estabilidade nos valores de pH, em uma faixa entre 4,47 e 4,52. Para C2 e C3, o comportamento constatado nas análises demonstra que os lixiviados produzidos por ambas as células estão se tornando mais ácidos com o tempo. De maneira geral, os valores encontrados estão entre 4,47 (C1, 55º dia) e 6,24 (C3, 48º dia). Essa faixa de valores de pH indica que os lixiviados são considerados novos (POHLAND & HARPER, 1985).

As concentrações de N-NH₃ demonstraram uma tendência de elevação ao longo do tempo para todas as células. O valor mínimo de 70,11 mg. L⁻¹ foi registrado para o lixiviado gerado na C1, no 6º dia de operação; enquanto o valor máximo, 10713 mg. L⁻¹, foi registrado na C3, no 55º dia de monitoramento. Cabe frisar que o nitrogênio é liberado dos resíduos, principalmente, pela decomposição de proteínas e aminoácidos da matéria orgânica (KJELDSEN *et al.*, 2002; KULIKOWSKA & KLIMIUK, 2008). Segundo Castilhos Jr. *et al.* (2003), o acúmulo de N-NH₃ está relacionado com a fase acidogênica

de biodegradação, caracterizada pela liberação de elevada concentração de N-NH₃.

A DQO é um parâmetro que indica a concentração de compostos orgânicos do efluente. As concentrações de DQO nos lixiviados variaram de 2975 mg O₂. L⁻¹ (valor registrado no 55º dia de monitoramento da C3) e 17870 mg O₂. L⁻¹ (valor registrado no 27º dia de monitoramento da C2). Normalmente, a fase acidogênica de biodegradação é o período onde elevadas concentrações de DQO são quantificadas (MORELLO et al., 2016; POHLAND & HARPER, 1985).

A condutividade está diretamente relacionada à dissociação de íons e cátions. As concentrações de condutividade apresentaram valores de 13,29 mS. cm⁻¹ (C1, 61º dia) a 35,02 mS. cm⁻¹ (C3, 27º dia). Em C1 e C2, a condutividade apresentou um comportamento de variações brandas entre uma semana e outra; diferente do que ocorreu em C3, onde a condutividade teve um pico no 27º dia e, após isso, apresentou uma queda nos valores obtidos nas semanas seguintes. Observa-se ainda que os valores obtidos a partir de então, tendem a se aproximar dos valores registradas para os lixiviados de C1 e C2.

CONCLUSÕES

A caracterização físico-química dos lixiviados confirmou o elevado potencial poluidor dessa matriz líquida. Os valores dos parâmetros físico-químicos analisados constataram que os lixiviados gerados pelas três células experimentais se encontram na fase acidogênica de biodegradação dos resíduos. Os valores de pH indicaram que os lixiviados gerados em 61 dias de monitoramento possuem caráter ácido. As concentrações de DQO, assim como de N-NH₃, estão consoantes com a literatura para lixiviados oriundos de aterros em início de operação. A condutividade apresentou uma tendência de redução nos valores para célula C3 e estabilidade para células C1 e C2. Estudos futuros incluem o prosseguimento do monitoramento das células experimentais e a avaliação de rotas para tratamento do lixiviado gerado.



A AGRADECIMENTOS

A COMLURB pelo suporte técnico, em especial aos colaboradores André, Anderson, Rafael, Jonas, Ronaldo e Vitória. À Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Rio de Janeiro (FAPERJ) (processo E-26/201.982/2019, processo E-26/200.065/2020) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (processo 165018/2018-6) pelo auxílio financeiro.

R REFERÊNCIAS

- APHA, AWWA, WEF, 2012. **Standard methods for the examination of water and wastewater**, 22th ed., American Public Health Association/American Water Works Association/Water Environment Federation, Washington DC, USA.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10007: Amostragem de resíduos sólidos**. Rio de Janeiro, p. 21. 2004.
- BILGILI, M. S., DEMIR, A., VARANK, G., 2011. **Effect of leachate recirculation and aeration on volatile fatty acid concentrations in aerobic and anaerobic landfill leachate**. Waste Management & Research, 30(2), 161–170.
- CALABRÒ, P. S. et al. **Effect of the recirculation of a reverse osmosis concentrate on leachate generation: A case study in an Italian landfill**. Waste Management, v. 76, p. 643–651, 2018.
- CASTILHOS JR., A. B.; MEDEIROS, P. A.; FIRTA, I. N.; LUPATINI, G.; SILVA, J. D. **Principais processos de degradação de resíduos sólidos urbanos**. In: CASTILHOS JR., A. B. (ORG.). Resíduos Sólidos Urbanos: Aterro Sustentável para Municípios de Pequeno Porte. Rio de Janeiro: ABES, 2003. cap. 2, p.19-50.
- DE ALMEIDA, R.; CAMPOS, J. C. Análise tecnoeconômica do tratamento de lixiviado de aterro sanitário. **Revista Ineana**, v. 8, n. 1, p. 6–27, 2020.
- DE ALMEIDA, R.; DE SOUZA COUTO, J. M.; GOUVEA, R. M.; et al. Nanofiltration applied to the landfill leachate treatment and preliminary cost estimation. **Waste Management & Research: The Journal for a Sustainable Circular Economy**, v. 38, n. 10, p. 1119–1128, 2020.
- KJELDSSEN P. I., BARLAZ, M. A., ROOKER, A. P., BAUN, A., LEDIN, A., CHRISTENSEN, T. H., 2002. **Present and long-term composition of MSW landfill leachate: a review**. Critical Reviews in Environmental Science and Technology, v. 32, p. 297-336.
- KULIKOWSKA, D., KLIMIUK, E. (2008). **The effect of landfill age on municipal leachate composition**. Bioresource Technology 99(13), 5981-5985.
- KUMAR, S., CHIEMCHAI SRI, C., MUDHOO, A., 2010. **Bioreactor landfill technology in municipal solid waste treatment: An overview**. Critical Reviews in Biotechnology, 31(1), 77–97.
- MORELLO, L.; COSSU, R.; RAGA, R.; PIVATO, A.; LAVAGNOLO, M. C. Recirculation of reverse osmosis concentrate in lab-scale anaerobic and aerobic landfill simulation reactors. **Waste Management**, v. 56, p. 262–270, 2016.

POHLAND, F. G.; HARPER, S. R. **Critical Review and Summary of Leachate and Gas Production from Landfills**, 1985.

REINHART, D. R., AL-YOUSFI, A. B. **The impact of leachate recirculation on municipal solid waste landfill operating characteristics**. Waste Management and Research, v. 14, pp 337-346, 1996.

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.