

III-525 – LIXÃO ENCERRADO HÁ UMA DÉCADA COMO FONTE DE CONTAMINAÇÃO DAS ÁGUAS E SOLO

Layla Ferraz Aquino⁽¹⁾

Engenheira Química - UFRJ. Mestre em Engenharia Ambiental - UERJ. Doutoranda em Engenharia Ambiental – UERJ.

Andressa Oliveira Costa de Jesus⁽²⁾

Engenheira Química - UFRJ. Mestre em Engenharia Ambiental - UERJ.

Enrico Mendes Saggioro⁽³⁾

Farmacêutico - UFJF, Doutor em Saúde Pública e Meio Ambiente - ENSP/Fiocruz. Pesquisador em Saúde Pública no Laboratório de Avaliação e Promoção da Saúde Ambiental do Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz.

Camille Ferreira Mannarino⁽⁴⁾

Engenheira civil - UERJ, Mestre em Engenharia Ambiental – UERJ, Doutora em Saúde Pública e Meio Ambiente – ENSP/Fiocruz. Pesquisadora em Saúde Pública no Laboratório de Virologia Comparada e Ambiental do Instituto Oswaldo Cruz, Fiocruz.

Elisabeth Ritter⁽⁵⁾

Engenheira civil - UFRGS. Mestre em Engenharia Civil (Geotecnia)- PUC Rio. Doutora em Engenharia Civil (Geotecnia Ambiental) – COPPE,UFRJ. Professora Titular da Universidade do Estado do Rio de Janeiro.

Endereço⁽¹⁾: Rua São Francisco Xavier, 524 – sala 5037 - Maracanã – Rio de Janeiro - RJ - CEP: 20550-900 - Brasil - Tel: +55 (21) 98024-3667 - e-mail: laylaferrazaquino@hotmail.com

RESUMO

A disposição de resíduos sólidos, e a conseqüente geração de lixiviado, podem provocar a contaminação do solo e das águas subterrâneas mesmo após o encerramento das atividades dessas áreas. Com a implementação da Política Nacional de Resíduos Sólidos em 2010, foram estabelecidos prazos para o encerramento do gerenciamento inadequado dos resíduos. A desativação de aterros controlados e lixões não implica em sua remediação, o que gera um passivo ambiental. A depender da total degradação dos resíduos, esse processo tem a duração de no mínimo trinta anos. Com o objetivo de avaliar a contaminação ambiental promovida por um lixão desativado há uma década e que operou durante 25 anos, análises de solo, água superficial e água subterrânea foram realizadas. Para a identificação da direção do fluxo de água subterrânea, foi realizado um mapa potenciométrico no terreno. Foram coletadas 26 amostras de solo em profundidade durante a perfuração de poços de monitoramento de água subterrânea. Foram coletadas 9 amostras nas três lagoas de acúmulo de lixiviado presentes no lixão e 9 amostras nos poços de água subterrânea. O solo local se mostrou predominantemente argiloso, com afloramento de rocha variando próximo a superfície. As concentrações de cloreto no solo em profundidade, variaram de 17 mg.L⁻¹ a 1270 mg.L⁻¹. Já na água subterrânea, essa concentração ficou na faixa de 41,2 mg.L⁻¹ a 3252 mg.L⁻¹. A concentração de carbono orgânico total no solo foi de 10 a 982 mg.L⁻¹. As análises sugeriram a migração dos componentes do lixiviado através do solo local.

PALAVRAS-CHAVE: Lixão, Lixiviado, Transporte de Contaminantes, Monitoramento, Resíduos Sólidos.

INTRODUÇÃO

A disposição de resíduos sólidos urbanos tem ganhado grande visibilidade com o enrijecimento das legislações e o aumento da conscientização ambiental da população (ALZAMORA,2020). Com o acelerado desenvolvimento da sociedade, que acarreta a maior geração de resíduos, se faz necessário o maior controle dos aterros e lixões (VACCARI, 2019). No Brasil, após a implementação do Marco Legal do Saneamento em 2020, ficou estabelecido que tanto aterros controlados, quanto lixões tenham suas operações encerradas (BRASIL, 2020). Todavia encerrar esses locais de forma adequada é um processo que demanda competências técnicas e recursos financeiros, nem sempre disponíveis nos municípios de pequenos e médio porte no país. A

forma como é gerido o encerramento e o pós-encerramento e a ausência de fiscalização podem provocar a poluição e/ou contaminação ambiental (VAN TURNHOUT, 2018).

A presença de poluentes nos compartimentos ambientais tem gerado discussões a respeito da negligência no monitoramento de antigas áreas de disposição de resíduos no país. Em um levantamento realizado em 2022, foram encontrados 111 trabalhos entre Teses, Dissertações, Trabalho de conclusão de curso, Artigos nacionais, Artigos internacionais, Trabalhos apresentados em congresso, Relatórios técnicos e Capítulos de livros que tratam sobre a poluição e/ou contaminação ambiental gerada por lixões no Brasil (AQUINO, 2022). Dentre esses estudos, as altas concentrações de substâncias características de lixiviado proveniente da degradação de resíduos sólidos como cloreto, nitrogênio amoniacal, condutividade e carbono orgânico total alertaram para o passivo ambiental gerado principalmente por lixões encerrados de forma inadequada.

Em Del Rey (2020) um estudo realizado em uma área de lixão encerrado, a condutividade medida na água subterrânea variou de 135,3 – 2.630 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$. No trabalho realizado por Silva (2019) também em uma área de lixão desativada, a condutividade da água subterrânea apresentou valores na faixa de 660 - 7.110 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$; já o cloreto apresentou concentrações entre 63.980 – 534.800 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$; o nitrogênio amoniacal nessas amostras apresentou a concentração máxima de 396,7 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Em Borba (2019) um estudo realizado em uma área de aterro controlado ativa, a condutividade apresentou valores entre 63,6 – 2.288 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$, enquanto que a concentração mais elevada de cloreto foi de 424,2 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$.

Os valores orientadores da portaria 888 do Ministério da Saúde, considera o limite máximo da concentração de cloreto como 250 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ e de nitrogênio amoniacal de 1,5 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$. Valores acima de 100 $\mu\text{S}\cdot\text{cm}^{-1}$ para condutividade de água subterrânea são indicativos de área possivelmente impactada, estabelecido por um relatório técnico da CETESB (2019).

O objetivo desse estudo foi avaliar a contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais em um lixão encerrado. A avaliação da qualidade da água subterrânea foi realizada por meio da instalação de cinco poços de monitoramento. Para analisar a qualidade do solo, foram realizados ensaios físico-químicos nas amostras coletadas de solo em profundidade. Foram coletadas amostras nos poços de monitoramento instalados e nas lagoas de acúmulo de lixiviado. O trabalho foi realizado em um lixão encerrado localizado na zona rural, na região metropolitana do Rio de Janeiro. A operação do lixão ocorreu oficialmente de 1985 a 2009 e de forma clandestina até 2013, quando foram encerradas as atividades no local. O lixão é constituído por dois maciços de resíduos, que recebiam diariamente cerca de 100 ton. A área ocupada pelo material sólido é de cerca de 558.000 m^3 que se estende pelos 47.000 m^2 do terreno.

MATERIAIS E MÉTODOS

Os poços de monitoramento (PM) de água subterrânea foram instalados seguindo as orientações das normas técnicas brasileiras, para isso foi utilizado um trado manual (ABNT 2007). Na Figura 1 estão apresentadas as localizações de todos os cinco poços de monitoramento e das lagoas de acúmulo de lixiviado. O primeiro poço está localizado à jusante da área de influência do lixão, servindo como padrão de referência da qualidade da água subterrânea local. Os demais poços foram perfurados próximos as lagoas de acúmulo de lixiviado e na direção do suposto fluxo da pluma de contaminação.

Durante a instalação dos poços de água subterrânea nos dias 16 e 17 de outubro e 4 de novembro de 2019, foram coletadas amostras de solo em profundidade em 50 cm em relação a superfície e a cada metro a partir daí. Em dois pontos foram encontradas rochas impenetráveis antes da água subterrânea, mesmo assim amostras de solo foram retiradas.

Para a análise de solo foram preparadas soluções aquosas na proporção de 1:5, usando água deionizada, uma metodologia semelhante a Pires (2007), Du et al. (2005), Regardio e outros (2011) e Lacerda et al. (2014). A solução obtida foi agitada por 24 h, centrifugada por 30 min à 2.500 rpm e filtrada a vácuo em membrana de 0,7mm e 0,45mm. A solução filtrada foi analisada para três substâncias presentes em altas concentrações no lixiviado e que são comumente indicativas de poluição por resíduos sólidos: cloreto, nitrogênio amoniacal e COT.

Em fevereiro de 2020 e maio de 2021, foram coletadas amostras de água subterrânea nos poços de monitoramento. Os poços foram previamente esgotados com o auxílio de amostradores descartáveis de água subterrânea. No dia seguinte, após a recarga, as amostras foram coletadas com amostradores descartáveis de 1L e acondicionadas em frascos de polipropileno de 1L.

As amostras de águas superficiais das 3 lagoas de lixiviado existentes L1, L2 e L3 (vide figura 1) foram coletadas com o auxílio de um recipiente de aço inox e acondicionadas em frascos de polipropileno de 1L, em agosto de 2019, fevereiro de 2020 e maio de 2021.

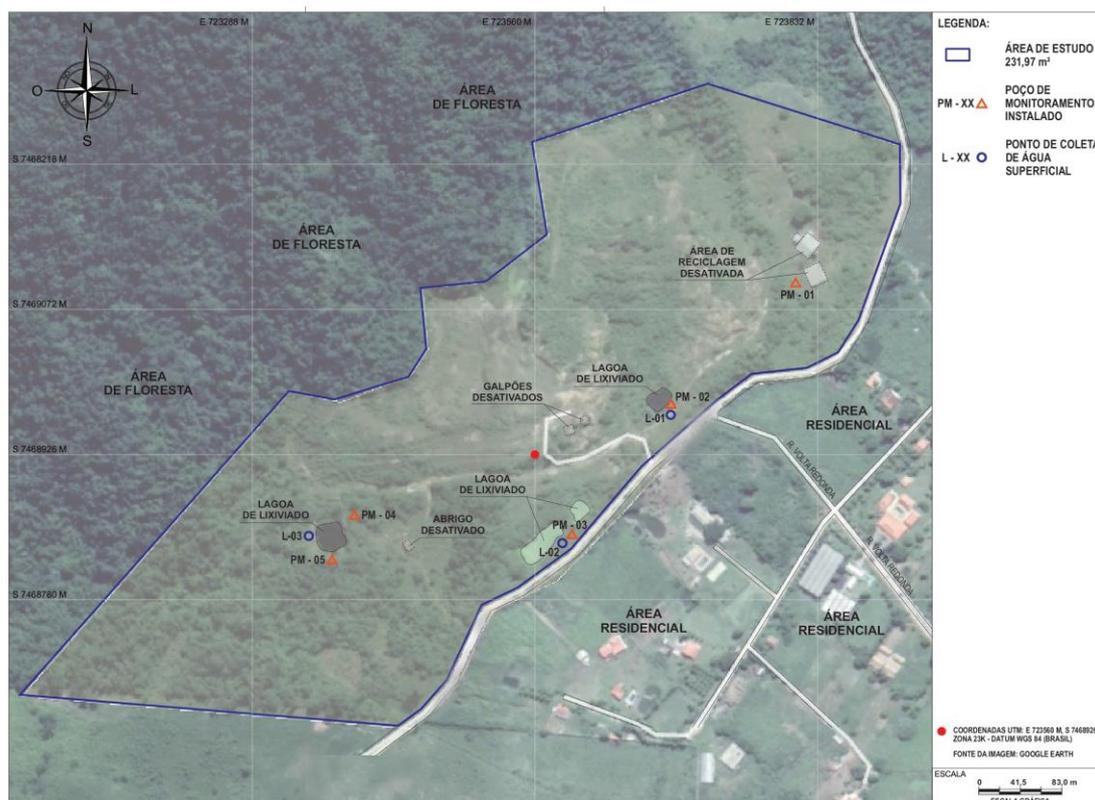


Figura 1: Mapa com indicação da localização dos poços instalados para monitoramento de águas subterrâneas e lagoas de acúmulo de lixiviado em lixão encerrado na região metropolitana do Rio de Janeiro e áreas residenciais adjacentes.

Foram realizadas análises de cloreto, nitrogênio amoniacal (NH_4^+), carbono orgânico total (COT), condutividade e pH nas amostras de água subterrânea e superficial. Os métodos utilizados foram o argentométrico (SM 4500-CI-B), eletrodo seletivo de amônia, catálise oxidativa por combustão e sonda multiparâmetro respectivamente de acordo com *Standard Methods for Examination of Water and Wastewater* (APHA, 2012).

Para identificar o fluxo preferencial de água subterrânea da área, foi realizado um mapa potenciométrico. O estudo foi baseado no posicionamento planimétrico dos poços de água subterrânea determinado pela diferença de nível de elevação e nível de água subterrânea dos poços de monitoramento instalados.

RESULTADOS

As perfurações para instalação dos poços de monitoramento permitiram identificar que o solo varia entre uma argila siltosa ou arenosa até a profundidade de 2 a 4 m, onde encontra o perfil rochoso. O PM-5 5 exibe um solo predominantemente arenoso até 2,5 m. Os níveis das águas subterrâneas identificados variaram entre 2 e 3 metros de profundidade, na data da perfuração dos poços.

O mapa potenciométrico, apresentado na Figura 2, indica que a direção do fluxo de água subterrânea coincide com a localização das lagoas de acúmulo de lixiviado e se encaminha na orientação de um condomínio rural residencial na área adjacente ao lixão.

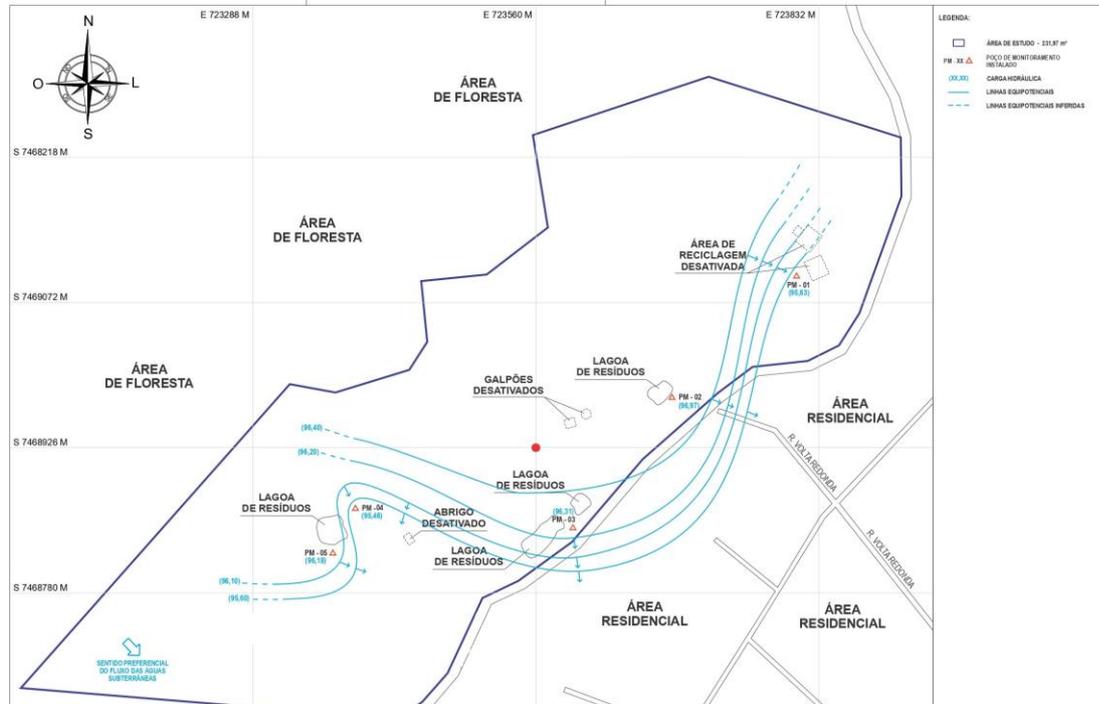


Figura 2: Mapa com a identificação da direção preferencial do fluxo de água subterrânea realizado de acordo com os dados de topografia na área de um lixão encerrado na região metropolitana do Rio de Janeiro.

Fonte: de Jesus, 2020.

Na Tabela 1 estão apresentados resultados das análises físico-químicas das amostras coletadas nas lagoas de lixiviado e dos poços de monitoramento de água subterrânea. O pH medido nas amostras coletadas nas lagoas de lixiviado variou de 7,2 a 9,2. Nas amostras coletadas nos poços de monitoramento de água subterrânea os valores medidos foram de 5,6 a 8,7.

As concentrações de cloreto nas lagoas de lixiviado tiveram suas concentrações variando de 376 mg.L⁻¹ a 4.110 mg.L⁻¹. A concentração de cloreto nos lixiviados brasileiros, em um trabalho publicado por Souto (2009) varia de 20 mg.L⁻¹ a 6.000 mg.L⁻¹. As concentrações de cloreto nas águas subterrâneas, analisadas nas coletas, apresentaram valores variando de 41,2 mg.L⁻¹ para o PM1 até 3.252 mg.L⁻¹ para o PM3. Os resultados de cloreto para águas subterrâneas do presente estudo apresentaram altos valores em comparação a Rey (2020), um trabalho realizado em uma área de lixão encerrado do Distrito Federal. As concentrações de cloreto analisadas por Rey (2020) na água subterrânea variaram de 173 mg.L⁻¹ a 245,75 mg.L⁻¹.

As concentrações de nitrogênio amoniacal com resultados mais elevados foram encontradas na L1; esse ponto sofre a influência direta do maciço mais antigo e está na direção do fluxo de água subterrânea. As amostras de água subterrânea apresentaram baixas concentrações de nitrogênio amoniacal, o que pode estar relacionado a constante alimentação de lixiviado formado pelo lixão. A geração desse componente está diretamente relacionada a hidrólise e fermentação de compostos nitrogenados da matéria orgânica, que tendem a aumentar ao longo do tempo (JUNIOR, 2023)

As concentrações de COT na L1 foram as mais elevadas, a concentração desse componente variou de 52,42 a 322 mg.L⁻¹ nas lagoas de acúmulo de lixiviado. As concentrações de TOC variaram de 2,56-132,0 mg.L⁻¹ na água subterrânea. No PM1 foram encontrados os menores resultados, 2,56 e 40 mg.L⁻¹; o que sugere que essa região não foi influenciada pela deposição dos resíduos. Entre os poços, o PM2 foi o que apresentou a maior

concentração de COT, 132,0 mg.L⁻¹ o que indica, em análise conjunta com os resultados da L1 a influência da direção do fluxo de água subterrânea na dispersão dos componentes presentes no lixiviado.

Tabela 1: Resultado das análises físico-químicas das lagoas de lixiviado e dos poços de monitoramento de água subterrânea de um lixão desativado na região metropolitana do Rio de Janeiro.

Pontos/Data de coleta	pH	Cloreto (mg.L ⁻¹)	NH ₄ ⁺ (mg.L ⁻¹)	COT (mg.L ⁻¹)	Condutividade (μS.cm ⁻¹)
Agosto 2019					
L1	8,7	4.110	68	285	10.452
L2	8,1	495	2,5	74	1.620
L3	9,2	750	<0,4	96	2.787
Fevereiro 2020					
L1	8,1	2.288	18,7	322	8.434
L2	7,2	376	1	67	1.448
L3	9,0	414	<0,4	80	1.823
PM1	7,0	-	<0,4	40	269
PM2	5,6	2.255	2	132	6.734
PM3	6,8	3.252	<0,4	66	9.572
PM4	-	1.882	<0,4	88	5.250
PM5	6,9	2.730	<0,4	65	7.829
Mai 2021					
L1	8,7	2.340,5	50,77	168,5	8.592,0
L2	7,3	510,2	4,6	52,42	2.380,0
L3	7,6	550,0	2,3	60,2	3.004,0
PM1	5,6	41,2	0,19	2,56	290,0
PM2	6,3	1.090,4	1,41	63,1	4.225,0
PM4	5,9	1.690,9	0,19	17,04	6.345,0
PM5	6,8	501,9	0,21	34,73	2.594,0

Fonte: de Jesus, 2020.

Os valores de condutividade medidos foram altos para todas as amostras. Entre as lagoas, a L1 foi a que apresentou o maior resultado 10.452 μS.cm⁻¹ e o PM1 os menores valores 269,0-290,0 μS.cm⁻¹. O poço de monitoramento com maior valor medido de condutividade foi o PM3, o que está de acordo com os resultados de cloreto para o mesmo ponto, onde o íon foi medido em sua mais alta concentração. A condutividade é um indicativo de alteração na qualidade da água pois mostra a concentração de íons em solução.

Na Figura 3 estão apresentados os resultados dos ensaios de lixiviação do solo em profundidade. As análises indicaram que a maior concentração de cloreto, 1.269,53 mg.L⁻¹ foi encontrada no PM3 na profundidade de 2m. O PM2 também apresentou altas concentrações desse íon na profundidade de 2m. Ambos os pontos também apresentaram altas concentrações de cloreto nas amostras de água subterrânea coletadas, o que sugere a migração desse componente pelo solo.

O ponto que apresentou a maior concentração de COT foi o PM2 com 981,6 mg.L⁻¹, assim como nas análises realizadas nas amostras de água subterrânea. O PM1 não foi o que apresentou as menores concentrações de COT, o que sugere que a presença de matéria orgânica é uma característica do solo local e que foi notavelmente acentuada pela direção do fluxo de água subterrânea em PM2.

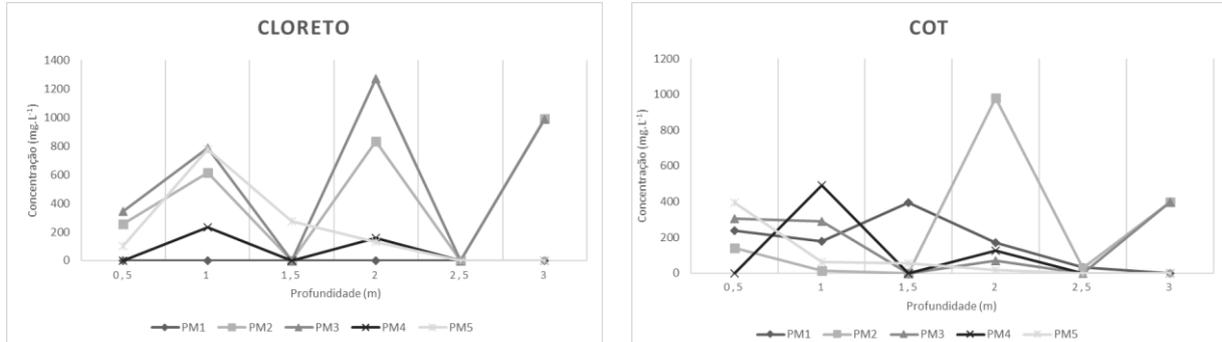


Figura 3: Gráficos da concentração de Cloreto e Carbono Orgânico Total em diferentes profundidades nas amostras de solo coletadas durante a perfuração dos poços de monitoramento de água subterrânea em uma área de lixão encerrado na região metropolitana do Rio de Janeiro.

Fonte: de Jesus, 2020.

CONCLUSÕES

O estudo realizado na área de lixão desativado indicou que o solo é predominantemente argiloso, variando entre perfis argilo-siltosos ou argilo-arenosos, apresentando somente na região do PM 5 um perfil mais arenoso. A profundidade da rocha é variável, o que pode influenciar no transporte de lixiviado pelo solo através de caminhos preferenciais em fraturas geológicas.

O estudo pontenciométrico indicou que as lagoas de acúmulo de lixiviado estão na direção do fluxo da água subterrânea e que a pluma de contaminantes pode estar alcançando áreas a jusante do lixão.

Entre as lagoas de monitoramento, a L1 foi a que apresentou as maiores concentrações das substâncias características de lixiviado analisadas. As análises das amostras de solo em profundidade, indicaram a migração desse lixiviado. As concentrações de cloreto e a condutividade apresentaram valores elevados nos poços de monitoramento. Isso indica que a presença dos resíduos sólidos na área segue causando alteração nos compartimentos ambientais, mesmo após dez anos do encerramento das atividades no local.

O trabalho de pesquisa na área do lixão segue em andamento, com novas campanhas de monitoramento e análises de outros parâmetros físico-químicos, microbiológicos e ecotoxicológicos, além de ensaios em laboratório para avaliar a migração de poluentes em solo local.

Agradecimentos: Os autores agradecem à FUNASA pelo suporte financeiro (TED14/2018) e à CAPES pela bolsa da primeira autora.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ABNT. ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICA. NBR 15495-1: Poços de monitoramento de águas subterrâneas de aquíferos granulares. Parte 1 – Projetos e construção. Rio de Janeiro: ABNT, 2007. 25p.
2. ALZAMORA, Bruno Ribas; BARROS, Raphael Tobias de V. (2020). *Review of municipal waste management charging methods in different countries. Waste Management*, 115, 47-55.
3. AQUINO, L. F. Cruz, I. A. S., LOPES, G. T., MANNARINO, C. F., & RITTER, E. (2022). Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição final de resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas no Brasil: análise baseada em trabalhos científicos. *Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais*, 126-140.
4. AQUINO, L. F. Migração de poluentes de lixiviado de locais de disposição final de resíduos sólidos para o solo e para águas subterrâneas no Brasil: análise baseada em trabalhos científicos. Dissertação de mestrado. 2022. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2022.

5. BORBA, W. F. Avaliação da contaminação ambiental em um aterro sanitário de pequeno porte, sem utilização de geomembrana, na região noroeste do Estado do Rio Grande do Sul. 2019. Tese de Doutorado. Universidade Federal de Santa Maria, 2019.
6. BRASIL, P. (2010). Política Nacional de Resíduos Sólidos.
7. BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e dá outras providências. Diário Oficial da União 2020; 16 jul.
8. CETESB. (2019). Empresa ambiental do estado de São Paulo. Relatório da qualidade das águas do estado de São Paulo: Apêndice E – Significado ambiental e sanitário dos padrões de qualidade da água. São Paulo. Relatório Técnico.
9. DE JESUS, A. O. C. Avaliação preliminar da poluição do solo e da água subterrânea da área de um lixão desativado. Dissertação de mestrado. 2020. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2020.
10. DU, Y. J., HAYASHI, S., & LIU, S. Y. (2005). *Experimental study of migration of potassium ion through a two-layer soil system. Environmental Geology*, 48, 1096–1106.
11. JUNIOR, Sidney Fernandes Sales et al. A comprehensive assessment of leachate contamination at a non-operational open dumpsite: mycoflora screening, metal soil pollution indices, and ecotoxicological risks. **Environmental Monitoring and Assessment**, v. 195, n. 1, p. 243, 2023.
12. LACERDA, C. V., RITTER, E., PIRES, J. A.C., & CASTRO, J. A. (2014). *Migration of inorganic ions from the leachate of the Rio das Ostras landfill: A comparison of three different configurations of protective barriers. Waste Management (Elmsford)*, 34, 2285–2291.
13. PIRES, J. A. DA C. Estudo de barreira de proteção com solo compactado em célula experimental no aterro sanitário de Rio das Ostras. 2007. Dissertação de mestrado. Universidade do Estado do Rio de Janeiro, 2007.
14. REY, G. O. D. Metanogênese e variações isotópicas do carbono em ambiente de deposição de resíduos sólidos: o aterro controlado do Jockey Club de Brasília-DF. 2020. Dissertação de Mestrado. Universidade de Brasília, 2020.
15. RICE, Eugene W. et al. (Ed.). (2012). *Standard methods for the examination of water and wastewater. Washington, DC: American public health association.*
16. REGADÍO, M. et al. *Pollution profiles and physicochemical parameters in old uncontrolled landfills. Waste Management*, 32, 3, 482–497.
17. SILVA, C. A. Panorama do antigo lixão de Maceió após 8 anos de encerramento. 2019. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Pernambuco.
18. SOUTO, GABRIEL D.'ARRIGO DE BRITO. Lixiviado de aterros sanitários brasileiros-estudo de remoção do nitrogênio amoniacal por processo de arraste com ar ("stripping"). Tese de Doutorado. 2009. Universidade de São Paulo, 2009.
19. VACCARI, M.; TUDOR, T.; VINTI, G. (2019). *Characteristics of leachate from landfills and dumpsites in Asia, Africa and Latin America: an overview. Waste Management*, 95, 416-431.
20. VAN TURNHOUT, A. G. et al. (2018). *Theoretical analysis of municipal solid waste treatment by leachate recirculation under anaerobic and aerobic conditions. Waste Management*, 71, 246-254.