

IMPACTOS AMBIENTAIS DE ATERROS SANITÁRIOS E DESAFIOS NA GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO RIO GRANDE DO SUL

DOI: <http://dx.doi.org/10.55449/congea.16.25.III-027>

Rodrigo Ramos Medeiros (*), Daniela Mueller de Lara, Suzana Frighetto Ferrarini

* Universidade Estadual do Rio Grande do Sul – UERGS, Programa de Pós Graduação em Ambiente e Sustentabilidade – PPGAS. rodrigoramosmedeiros@gmail.com

RESUMO

O aumento contínuo da produção de resíduos sólidos urbanos (RSU), impulsionado pela urbanização acelerada e pelos padrões contemporâneos de consumo, impõe desafios urgentes à gestão ambiental. Este artigo analisa os impactos ambientais causados pela operação de aterros sanitários, com enfoque na produção e gestão de resíduos sólidos no estado do Rio Grande do Sul. A partir de uma revisão bibliográfica, a pesquisa destaca os desafios relacionados à geração de RSU e os principais impactos ambientais associados aos aterros, como a emissão de gases de efeito estufa (GEE) e a contaminação do solo e dos recursos hídricos por lixiviados. O trabalho também discute incêndios em aterros como fontes relevantes de poluição atmosférica. São apresentadas alternativas sustentáveis, incluindo tecnologias de tratamento térmico, práticas de reciclagem e mineração de aterros, visando à recuperação de materiais valiosos e à mitigação dos impactos ambientais. Conclui-se que a gestão de resíduos sólidos requer modelos integrados e sustentáveis, alinhados às políticas públicas e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável.

PALAVRAS-CHAVE: Aterros Sanitários; Impactos Ambientais; Resíduos Sólidos Urbanos; Mineração de Aterros Sanitários; Gestão de Resíduos Sólidos.

INTRODUÇÃO

A crescente geração de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) é um desafio ambiental global, intensificado pela urbanização e pelos padrões de consumo (Salamoni, 2019). Os aterros sanitários, embora considerados uma forma adequada de disposição final segundo a legislação brasileira (Brasil, 2010), geram impactos ambientais significativos, afetando o solo, a água, o ar e a biodiversidade. No contexto dos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da ONU (2015), a gestão inadequada de resíduos sólidos compromete a proteção ambiental e exige soluções alinhadas às metas globais, como os ODS 6 (Água potável e saneamento), 11 (Cidades e comunidades sustentáveis) e 13 (Ação contra a mudança global do clima).

A decomposição dos RSU em aterros gera gás de aterro e lixiviados, ambos com alto potencial poluidor (Ensinas, 2003), contribuindo para o efeito estufa e para a contaminação do solo e da água. Além disso, os incêndios em aterros representam uma fonte adicional de poluição atmosférica, impactando a saúde pública e a qualidade do ar (SEEG, 2023). Este cenário ressalta a necessidade de estratégias de mitigação e de uma gestão mais sustentável dos resíduos, em consonância com a Política Nacional de Resíduos Sólidos - PNRS (Brasil, 2010), para o cumprimento do ODS 12 – Consumo e produção responsáveis.

OBJETIVOS

Este artigo tem como objetivo analisar os impactos ambientais resultantes da operação de aterros sanitários, com foco na gestão de resíduos no estado do Rio Grande do Sul. A pesquisa examina fontes de poluição como a emissão de gás de aterro, a contaminação por lixiviados e os riscos de incêndios, discutindo a necessidade de modelos de gestão mais sustentáveis. A pesquisa também se alinha aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS) da Agenda 2030, abordando os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), 12 (Consumo e Produção Responsáveis) e 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima), destacando as emissões de metano – CH₄ e a gestão de resíduos. Além disso, o artigo considera o ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ao examinar os riscos de contaminação hídrica por lixiviados. A revisão da literatura busca consolidar o conhecimento sobre os desafios ambientais dos aterros sanitários, proporcionando uma base para a formulação de políticas públicas mais eficientes e sustentáveis na gestão de resíduos no Rio Grande do Sul.

METODOLOGIA

A metodologia adotada neste artigo consiste em uma pesquisa qualitativa de caráter exploratório e descritivo, com foco na revisão bibliográfica. As buscas bibliográficas foram realizadas em bases de dados acadêmicas como Scielo, Google Scholar, ScienceDirect e Web of Science, utilizando combinações de palavras-chave relacionadas a aterros sanitários, RSU, lixiviados, gases de efeito estufa e alternativas sustentáveis. Foram selecionadas publicações dos últimos 15 anos, em português e inglês, priorizando artigos revisados por pares, relatórios técnicos e capítulos de livros relevantes para a temática. A pesquisa visou identificar, analisar e sintetizar as informações disponíveis sobre os impactos ambientais dos

aterros sanitários. A análise das informações foi conduzida em função da relevância para os tópicos definidos no artigo, como os impactos ambientais dos aterros, a produção de gases e lixiviados, e alternativas como a mineração de aterros. As informações selecionadas foram organizadas de forma lógica e sequencial, com o objetivo de oferecer uma visão integrada sobre os impactos ambientais e sociais dos aterros sanitários.

PRODUÇÃO DE RESÍDUOS NO RIO GRANDE DO SUL

O Rio Grande do Sul, com mais de 10 milhões de habitantes (IBGE, 2022), enfrenta desafios na gestão de RSU, gerando cerca de 9,6 milhões de toneladas em 2022, com apenas 7,3% destinado à coleta seletiva (SNIS, 2024). O aumento contínuo na produção de RSU está relacionado ao crescimento populacional e ao desenvolvimento econômico, exercendo pressão sobre os sistemas de gestão, como a necessidade de áreas para novos aterros sanitários e a otimização dos existentes (Salamoni, 2019). A alta concentração de matéria orgânica nos resíduos, especialmente em Porto Alegre (Medeiros et al., 2016; Medeiros, 2023), contribui tanto para a geração de biogás quanto para a produção de lixiviados e emissões de metano, um potente gás de efeito estufa. A Política Estadual de Resíduos Sólidos (Lei nº 14.528/2014) visa a gestão integrada e ambientalmente adequada dos resíduos, alinhada à PNRS. Contudo, a implementação efetiva dessas políticas enfrenta desafios no estado, devido à grande produção de resíduos e à diversidade das realidades municipais.

ATERRO SANITÁRIO COMO FONTE POTENCIAL DE POLUIÇÃO

Embora os aterros sanitários sejam projetados para minimizar impactos ambientais, eles ainda representam fontes potenciais de poluição, especialmente devido à geração de gás de aterro e lixiviados. A degradação da matéria orgânica sob condições anaeróbicas é o processo que origina essas fontes de poluição (Crawford e Smith, 1985; Rocha da Cunha, 2009). A complexidade dos RSU, que incluem materiais orgânicos e inorgânicos, afeta a quantidade e a qualidade do gás e dos lixiviados ao longo da vida útil do aterro, com consequências para o ar, solo e recursos hídricos, além de representar riscos à saúde pública e biodiversidade (Vaverková et al., 2019).

A gestão inadequada dessas emissões pode ter efeitos adversos, tornando essencial a adoção de medidas de controle. Além disso, incêndios em aterros, embora não planejados, geram poluição atmosférica, liberando substâncias tóxicas que afetam a saúde das populações ao redor. O número atualizado de aterros sanitários em operação no Rio Grande do Sul não está disponível em fontes públicas de fácil acesso; contudo, segundo dados da Fepam divulgados em reportagem da Gaúcha ZH, 2019, o Estado contava com cerca de 40 aterros sanitários.

• Gás de aterro sanitário

O gás de aterro sanitário resulta da decomposição anaeróbica dos RSU e é composto principalmente por metano (CH_4) e dióxido de carbono (CO_2), com traços de outros gases e a proporção de CH_4 e CO_2 varia dependendo de fatores como a composição dos resíduos e as condições ambientais (ENSINAS, 2003). O metano, sendo um potente gás de efeito estufa, contribui para as mudanças climáticas, sendo o setor de resíduos uma das principais fontes de emissões de CH_4 (SEEG, 2023). Contudo, o gás de aterro pode ser aproveitado como uma fonte energética renovável, gerando eletricidade e calor, substituindo fontes não renováveis e diminuindo as emissões de gases (Bello e Coelho, 2022). A captação do biogás envolve a instalação de sistemas de poços e tubulações para coletar e tratar o gás, transformando-o em energia (Willumsen, 2001). Modelos matemáticos, como o da UNFCCC, ajudam a prever a quantidade de biogás gerado, levando em conta as características dos RSU e as condições locais (Medeiros et al., 2016).

• Lixiviados de aterro sanitário

Os lixiviados de aterro sanitário são líquidos formados pela água da chuva que percola através dos resíduos sólidos depositados no aterro, arrastando contaminantes orgânicos e inorgânicos (Ahmad et al., 2021). A composição dos lixiviados varia conforme fatores como a natureza dos resíduos, o grau de decomposição, as condições climáticas e geológicas do local. Entre os contaminantes estão metais tóxicos, compostos orgânicos persistentes, nutrientes e microrganismos patogênicos, representando risco significativo de contaminação do solo e das águas subterrâneas e superficiais (Sackey et al., 2024).

A migração dos lixiviados pode comprometer a fertilidade do solo e a qualidade da água, afetando tanto o consumo humano quanto os ecossistemas aquáticos, gerando problemas como a eutrofização e toxicidade para organismos aquáticos. Para mitigar esses riscos, a gestão dos lixiviados deve incluir estratégias como impermeabilização da base do aterro, coleta e tratamento adequado dos lixiviados, e recirculação no aterro (com monitoramento para evitar saturação). As tecnologias de tratamento incluem processos biológicos, físico-químicos e de membrana, e a escolha da tecnologia depende das características dos lixiviados e das exigências regulatórias locais.

• Incêndios em aterros sanitários

Os incêndios em aterros sanitários são uma significativa fonte de poluição ambiental e um risco constante para a saúde pública. Embora os aterros sejam projetados para evitar incêndios por meio da compactação dos resíduos e cobertura com solo, a combustão espontânea pode ocorrer devido ao calor gerado durante a decomposição anaeróbica da matéria orgânica, especialmente em áreas com acumulação de CH_4 (Gajewska et al., 2019). Além disso, o descarte inadequado de materiais inflamáveis ou atos de vandalismo podem desencadear incêndios, que podem ser superficiais ou

subterrâneos. Os incêndios subterrâneos são particularmente difíceis de controlar, podendo liberar poluentes por longos períodos.

A combustão libera uma série de poluentes tóxicos, incluindo material particulado fino, monóxido de carbono (CO), óxidos de nitrogênio (NOx), dióxido de enxofre (SO₂), compostos orgânicos voláteis (COVs), dioxinas e furanos, prejudicando a qualidade do ar e causando problemas respiratórios e cardiovasculares na população exposta (Vaverková et al., 2019). A fumaça gerada também pode reduzir a visibilidade e afetar o tráfego. Além disso, o combate a incêndios em aterros requer grandes volumes de água, gerando lixiviados secundários que podem contaminar ainda mais o solo e a água. A interrupção das atividades devido ao fogo também causa acúmulo de resíduos, gerando problemas logísticos e de saúde pública.

A Figura 1 mostra um exemplo de incêndio ocorrido no aterro sanitário de Parnaíba. Este já é o terceiro ocorrido neste aterro. A recorrência dos focos de fogo evidencia falhas na gestão dos resíduos e causa sérios impactos à saúde pública e ao meio ambiente nas áreas próximas.



Figura 1: Incêndio no aterro sanitário de Parnaíba (PI), o terceiro registrado em agosto de 2023 (CONECTA PIAUÍ, 2023).

A prevenção de incêndios em aterros sanitários é essencial para minimizar os impactos ambientais e os riscos à saúde pública. As medidas preventivas incluem o monitoramento constante da temperatura interna do aterro, o controle eficiente do gás de aterro através de sistemas de captação e queima ou aproveitamento energético, e a gestão rigorosa do acesso ao aterro para evitar vandalismo. Além disso, é fundamental proibir o descarte de materiais inflamáveis e implementar planos de contingência para situações de incêndio, garantindo uma resposta eficaz em caso de emergência.

O FUTURO DOS ATERROS SANITÁRIOS

O futuro dos aterros sanitários como solução predominante para a disposição final de RSU é cada vez mais questionado, impulsionado pela crescente conscientização ambiental e pela busca por modelos de gestão de resíduos mais sustentáveis (Cobos et al., 2018). Fatores como a limitação de áreas para novos aterros, os impactos ambientais significativos (incluindo emissões de GEE e contaminação por lixiviados), e a perda de recursos valiosos que poderiam ser recuperados estão direcionando a busca por alternativas. Estas alternativas são fortemente baseadas na hierarquia de gestão de resíduos, que prioriza a não geração, a redução, a reutilização, a reciclagem e o tratamento antes da disposição final, conforme preconizado pela PNRS no Brasil (Brasil, 2010).

Tecnologias como o tratamento térmico (incineração, gaseificação, pirólise) e a valorização biológica (compostagem, digestão anaeróbica) têm sido exploradas para reduzir o volume de resíduos destinados aos aterros. Simultaneamente, a implementação de sistemas de coleta seletiva e infraestrutura de reciclagem visa promover a economia circular (Cobos et al., 2018). A PNRS e o Plano Nacional de Resíduos Sólidos (PLANARES) estabelecem metas para a redução da disposição de rejeitos em aterros e o aumento das taxas de reciclagem no Brasil, com o apoio de políticas estaduais (Loureiro, 2019). No entanto, a transição para um modelo mais sustentável exige investimentos substanciais em infraestrutura, tecnologia e educação ambiental, além de uma colaboração estreita entre os diversos setores da sociedade (Loureiro, 2019).

Nesse cenário futuro, os aterros deveriam ser utilizados exclusivamente para a disposição de rejeitos, ou seja, de materiais que não possuem mais qualquer possibilidade de valorização ou tratamento. A operação desses aterros otimizados seria guiada por melhores práticas de engenharia, aproveitamento energético do biogás e tratamento eficaz

dos lixiviados, visando minimizar drasticamente seus impactos ambientais (GHOSH e KARTHA, 2025). É primordial entender que a Mineração de Aterros Sanitários (Landfill Mining - LFM) não se alinha à gestão de novos fluxos de resíduos, mas surge como uma abordagem para lidar com o passivo de aterros existentes, buscando corrigir deficiências de gestões passadas.

- **Mineração de Aterros Sanitários**

A LFM tem ganhado destaque como uma abordagem inovadora para a recuperação de materiais valiosos de aterros históricos e desativados, como metais, plásticos e agregados. Simultaneamente, contribui para a recuperação das áreas dos aterros e a redução dos impactos ambientais (Welch e Srikanth, 2025). Esse processo também pode ajudar a diminuir a emissão de gases como o CH₄ e a geração de lixiviados, ao remover a matéria orgânica dos resíduos (Krook et al., 2018; Hernández Parrodi et al., 2019; Welch e Srikanth, 2025). Geralmente, a LFM é justificada pela recuperação de capacidade de aterro, reabilitação de locais contaminados e proteção de águas subterrâneas (Bockreis e Knapp, 2011; Wolfsberger et al., 2015).

A LFM busca explorar matérias-primas secundárias descartadas (Wolfsberger et al., 2015) e recursos recuperáveis para energia (REM), como metais, plásticos, papel e madeira, de aterros já estabelecidos e antigos, que deixaram de receber resíduos por décadas (Wolfsberger et al., 2015; Zari et al., 2022; Welch e Srikanth, 2025). Além disso, pode apoiar o reordenamento urbano, recuperando terras próximas a cidades ou áreas costeiras (Welch e Srikanth, 2025). O recurso potencial dos aterros pode variar entre 20 e 52% em peso do material original, e as análises geralmente referem-se a dados históricos ou discussões teóricas de composição de resíduos (Wolfsberger et al., 2015).

O processo de mineração de aterros é realizado por meio de etapas que envolvem a escavação dos resíduos depositados, a triagem para separar os materiais recuperáveis, o tratamento desses materiais para melhorar sua qualidade e a disposição adequada da fração restante (Laner et al., 2019; Wolfsberger et al., 2015). Os materiais recuperados podem ser divididos em quatro categorias principais: material semelhante a solo (fração fina), fração combustível (plásticos, papel, madeira, têxteis), fração inerte (pedras, vidro, cerâmica, metais) e outros resíduos (Highland et al., 2019; Laner et al., 2019). As frações finas podem constituir mais de 50% da composição dos resíduos escavados (Rawat e Mohanty, 2024; Rawat e Mohanty, 2025; Wolfsberger et al., 2015; Zari et al., 2022).

No entanto, é determinante posicionar a mineração de aterros de forma crítica, reconhecendo-a como uma tecnologia de "fim de tubo" (end-of-pipe), ou seja, uma solução que atua sobre resíduos já dispostos, em vez de prevenir sua geração ou disposição inadequada. Esta abordagem contrasta com os princípios da PNRS, que prioriza a não geração, redução, reutilização, reciclagem e tratamento de resíduos, antes da disposição final. A mineração de aterros visa corrigir os problemas de uma gestão de resíduos anterior, onde quantidades significativas de materiais recicláveis e recuperáveis para energia foram inadequadamente dispostas (Wolfsberger et al., 2015). Embora a LFM ofereça um caminho para o aproveitamento de resíduos legados - aqueles já enterrados em aterros desativados que representam ameaças à saúde humana e ao meio ambiente (Kurian et al., 2003; Rawat e Mohanty, 2025; Welch e Srikanth, 2025) -, ela não deve ser interpretada como um incentivo para a continuidade do aterramento de materiais valiosos. O ideal é sempre evitar que resíduos com potencial de valor (material ou energético) cheguem aos aterros sanitários (Rawat e Mohanty, 2025). Somente resíduos orgânicos ou aqueles sem possibilidade de aproveitamento deveriam ser destinados a aterros, em consonância com as metas de uma economia circular (Welch e Srikanth, 2025).

A implementação de projetos de LFM enfrenta desafios técnicos, ambientais e econômicos, como poeira, odores, ruídos e exposição a substâncias perigosas. Partículas finas de resíduos ($\leq 1,5$ mm), que podem representar mais da metade da massa escavada, contêm altos níveis de metais pesados, cujo risco à saúde aumenta com a diminuição do tamanho das frações. Metais pesados podem causar efeitos cancerígenos e não cancerígenos, e sua mobilização tende a aumentar após tratamentos prévios do lixo, exigindo medidas de engenharia para garantir o reuso seguro. O "bioearth" recuperado, embora tenha potencial como emenda de solo, geralmente necessita de fitorremediação ou estabilização química antes da aplicação agrícola. (Welch e Srikanth, 2025; Laner et al., 2019; Zari et al., 2022; Kuppasamy e Sellappa, 2025; Wolfsberger et al., 2015; Ghosh e Kartha, 2025).

A viabilidade econômica da LFM ainda é um desafio, com projetos enfrentando dificuldades logísticas e financeiras. Apenas iniciativas com mercados bem definidos para os materiais recuperados ou combinadas com remediação do local têm se mostrado viáveis, pois a pureza dos materiais é frequentemente limitada e os preços atuais das matérias-primas tornam a reciclagem exclusiva economicamente incerta. No entanto, a produção de Combustível Derivado de Resíduos (CDR/CSR) pode ser vantajosa, substituindo combustíveis fósseis na indústria de cimento e reduzindo emissões de CO₂ (Welch e Srikanth, 2025; Muttaraid et al., 2023; Hölzle, 2010; Pitak et al., 2023).

A mineração de aterros contribui para uma economia mais circular, promovendo a recuperação de materiais, a remediação de áreas degradadas, a redução de emissões de gases de efeito estufa e a ampliação da vida útil dos aterros. Sua viabilidade ambiental e econômica depende da composição e idade dos resíduos, das tecnologias de triagem e da demanda por materiais e energia recuperados. A implementação exige análise cuidadosa dos aspectos ambientais, econômicos e sociais, bem como políticas claras sobre a regulamentação dos materiais escavados e incentivos direcionados aos benefícios ambientais (Welch e Srikanth, 2025; Hernández Parrodi et al., 2019; Laner et al., 2019; Winterstetter et al., 2018; Jain et al., 2023).

A Figura 2 ilustra trabalhadores realizando a separação de resíduos com uma peneira rotativa no projeto de mineração do aterro sanitário de Perdido (EUA), destacando o potencial de reaproveitamento de materiais nos aterros sanitários.

O Projeto Piloto de Mineração do Aterro de Perdido, conduzido no Condado de Escambia, Flórida, teve como objetivo avaliar a viabilidade técnica e econômica da mineração de aterros, prática que consiste na escavação e processamento de resíduos previamente dispostos. As operações ocorreram em uma área de aproximadamente 10.100 m² (cerca de 1 hectare), de onde foram removidos cerca de 41.500 m³ de resíduos. Os resíduos foram triturados até atingir partículas com tamanho entre 15 e 20 cm, facilitando o processo de separação. Os resultados indicaram o potencial de recuperação de solo e materiais recicláveis, além de contribuírem para o entendimento dos impactos ambientais e econômicos dessa prática, incluindo a possibilidade de redução de custos operacionais do aterro e a aplicação do solo recuperado como cobertura diária. O projeto também adotou medidas de mitigação ambiental, como pulverização de água para controle de poeira e o uso de geomembranas para gerenciamento de lixiviados e águas pluviais (Escambia County, 2009).



Figura 2: Uso de peneira rotativa para triagem de resíduos no aterro sanitário na Flórida (ENSIA, 2018).

CONCLUSÕES

A revisão bibliográfica realizada proporcionou uma compreensão aprofundada sobre os diversos impactos ambientais decorrentes da operação de aterros sanitários. Embora os aterros tenham sido uma solução comum para a disposição final de resíduos, eles geram fontes significativas de poluição, com destaque para a emissão de gás de aterro, que contribui para as mudanças climáticas, e a formação de lixiviados, que possuem alto potencial de contaminação do solo e da água. Além disso, os incêndios em aterros foram identificados como uma ameaça à qualidade do ar e à saúde pública.

No contexto do Rio Grande do Sul, foi observada uma produção considerável de resíduos, com uma alta concentração de matéria orgânica, o que dificulta ainda mais a gestão dos aterros. A análise do futuro da gestão de resíduos destacou a necessidade premente de transição para modelos mais sustentáveis, alinhados à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) e aos Objetivos de Desenvolvimento Sustentável (ODS), como os ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis) e ODS 12 (Consumo e Produção Responsáveis).

A mineração de aterros sanitários (LFM) surge como uma alternativa promissora para mitigar os impactos ambientais legados, recuperar materiais valiosos de resíduos já dispostos e reabilitar áreas degradadas. Contudo, sua viabilidade não é universal e depende de análises ambientais, técnicas e econômicas rigorosas. É fundamental reiterar que a LFM deve ser entendida como uma medida corretiva para passivos ambientais existentes, e não como uma solução primária para os novos fluxos de resíduos, em consonância com os princípios da hierarquia de resíduos da PNRS. Os desafios associados à LFM, incluindo a mobilização de metais pesados em frações finas de resíduos, os riscos à saúde humana e a complexidade regulatória e econômica, exigem um planejamento cuidadoso e a priorização de projetos com mercados finais bem definidos para os materiais recuperados ou que combinem a recuperação de recursos com a remediação do local.

Em suma, a gestão de resíduos no Rio Grande do Sul e em outras regiões deve adotar uma abordagem integrada e multifacetada, com foco na redução de impactos, exploração de alternativas sustentáveis, como o tratamento e valorização de resíduos na fonte, e a maximização do aproveitamento energético do biogás. A mineração de aterros, quando aplicada de forma criteriosa e com as devidas salvaguardas, é um passo relevante para promover um futuro com menos resíduos e mais recursos, alinhados com os ODS 6 (Água Limpa e Saneamento), ODS 13 (Ação Contra a Mudança Global do Clima) e, mais amplamente, com os objetivos de uma economia circular.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AHMAD, W.; ALHARTHY, R. D.; ZUBAIR, M.; AHMED, M.; HAMEED, A.; RAFIQUE, S. **Toxic and heavy metals contamination assessment in soil and water to evaluate human health risk**. Sci Rep, v. 11, n. 1, p. 17006, 2021.
2. BELLO, P. F. S.; COELHO, S. L. **Captação de biogás em aterro sanitário para reutilização sustentável**. Revista Ibero-Americana de Humanidades, Ciências e Educação-Rease, São Paulo, v. 6, n. 8, p. 1342-1354, 2022.
3. BOCKREIS, A.; KNAPP, J. **Landfill Mining – Deponien als Rohstoffquelle**. Österreich Wasser- und Abfallwirtschaft, v. 63, p. 70–75, 2011. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s00506-010-0275-1>>. Acesso em: 09 set. 2025.
4. BRASIL. **Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010**. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos; altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998; e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2010.
5. COBOS, S.; DOMINGUEZ-RAMOS, A.; IRABIEN, A. **From linear to circular integrated waste management systems: A review of methodological approaches**. Resources, Conservation and Recycling, v. 135, p. 279-295, 2018.
6. CONECTA PIAUÍ. **Incêndio atinge aterro sanitário em Parnaíba pela terceira vez em agosto**. 180graus.com, 2023. Disponível em: <<https://180graus.com/ronda-180/incendio-atinge-aterro-sanitario-em-parnaiba-pela-terceira-vez-em-agosto/>>. Acesso em: 17 abr. 2025.
7. CRAWFORD, J. H.; SMITH, E. J. **Landfill gas: a review**. Waste Management & Research, v. 3, n. 3, p. 179-196, 1985.
8. ENSIA. **Why aren't we mining landfills for valuable materials like metals and soil?**. 2018. Disponível em: <<https://ensia.com/features/landfill-mining/>>. Acesso em: 17 abr. 2025.
9. ENSINAS, A. V. **Geração e aproveitamento de biogás em aterros sanitários**. São Carlos: Rima Editora, 2003.
10. ESCAMBIA COUNTY (EUA). **Landfill Reclamation Demonstration Project: Perdido Landfill, Escambia County**. Prepared for: Florida Department of Environmental Protection. Prepared by: Innovative Waste Consulting Services, LLC, June 2009.
11. GAJEWSKA, T.; MALINOWSKI, M.; SZKODA, M. **The Use of Biodrying to Prevent Self-Heating of Alternative Fuel**. Materials (Basel), v. 12, n. 18, p. 3039, 2019.
12. GAÚCHA ZH. **A cidade subterrânea do lixo: conheça o aterro para onde vão quase 40% dos resíduos produzidos no RS**. Porto Alegre, 20 jun. 2019. Atualizada em 21 jun. 2019. Disponível em: <<https://gauchazh.clicrbs.com.br/ambiente/noticia/2019/06/a-cidade-subterranea-do-lixo-conheca-o-aterro-para-onde-vao-quase-40-dos-residuos-produzidos-no-rs-cjx54tuj401eu01mv7c1o1la7.html#:~:text=H%C3%A1%2C%20segundo%20a%20Fepam%2C%20em,a%20CRVR%20tem%20cinco%20unidades>>. Acesso em: 09 set. 2025.
13. GHOSH, Arghya; KARTHA, Suresh A. **Effect of different pHs and liquid-to-solid ratios on leaching behavior of heavy metals from landfill-mined-soil-like-fractions**. Journal of Environmental Management, v. 376, p. 124421, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.jenvman.2025.124421>>. Acesso em: 09 set. 2025.
14. HERNÁNDEZ PARRODI, J. C.; LUCAS, H.; GIGANTINO, M.; SAUVE, G.; ESGUERRA, J. L.; EINHÄUPL, P.; VOLLPRECHT, D.; POMBERGER, R.; FRIEDRICH, B.; VAN ACKER, K.; KROOK, J.; SVENSSON, N.; VAN PASSEL, S. **Integration of resource recovery into current waste management through (enhanced) landfill mining**. Detritus, v. 8, p. 141-156, 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.31025/2611-4135/2019.13884>. Acesso em: 31 mar. 2025.

15. HIGHLAND, William; MARQUES, Marcia; THÖRNEBY, Lars. **Landfill mining - space saving, material recovery and energy use**. Linnaeus Eco-Tech, p. 339–355, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.15626/Eco-Tech.1997.041>>. Acesso em: 09 set. 2025.
16. HÖLZLE, I. Vom Deponierückbau bis zum landfill mining – eine Synthese internationaler Untersuchungen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, v. 62, n. 8, p. 155-161, 2010.
17. IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2022.
18. JAIN, Mohit; KUMAR, Ashwani; KUMAR, Amit. **Landfill mining: A review on material recovery and its utilization challenges**. Process Safety and Environmental Protection, v. 169, p. 948-958, 2023. Disponível em: <<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0957582022010229>>. Acesso em: 31 mar. 2025.
19. KROOK, J.; SVENSSON, N.; VAN ACKER, K.; VAN PASSEL, S. **How to evaluate (enhanced) landfill mining: a critical review of recent environmental and economic assessments**. In: JONES, P. T.; MACHIELS, L. (Eds.). 4th International Symposium on Enhanced Landfill Mining, p. 317-332. Mechelen, Belgium, 2018.
20. KUPPUSAMY, S.; SELLAPPA, K. **Bioearth recovered from landfill mining of old dumpsites: a potential resource or reservoir of toxic pollutants**. Environmental Science and Pollution Research, v. 32, p. 1746–1765, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s11356-024-35705-5>>. Acesso em: 09 set. 2025.
21. KURIAN, J.; ESAKKU, S.; PALANIVELU, K.; SELVAM, A. **Studies on landfill mining at solid waste dumpsites in India**. In: Proceedings Sardinia 2003, Ninth International Waste Management and Landfill Symposium, S. Margherita di Pula, Cagliari, Italy, 6–10 October 2003. CISA, Environmental Sanitary Engineering Centre, 2003.
22. LANER, David; ESGUERRA, John Laurence; KROOK, Joakim; HORTTANAINEN, Mika; KRIIPSALU, Mait; ROSENDAL, Renè Møller; STANISAVLJEVIĆ, Nemanja. **Systematic assessment of critical factors for the economic performance of landfill mining in Europe: What drives the economy of landfill mining?** Waste Management, v. 95, p. 674–686, 2019. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.07.007>>. Acesso em: 09 set. 2025.
23. LOUREIRO, S. M. **Mitigação das Emissões dos Gases de Efeito Estufa pela Implementação de Políticas Públicas de Resíduos Sólidos e Mudanças Climáticas no Brasil e no Estado e na Cidade do Rio de Janeiro**. 242 p. 2019. Tese (Doutorado) – UFRJ/COPPE, Rio de Janeiro, 2019.
24. MEDEIROS, R. R. **Determinação da composição do resíduo sólido urbano gerado em um estado**. 6º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade – 6º ConReSol, Foz do Iguaçu, PR, 2023.
25. MEDEIROS, R. R.; WANDER, R.P.; MIRANDA, L.A.S.; TEIXEIRA, G.M. **Analysis of the Differences between Actual Data and USEPA, UNFCCC and IPCC Methodologies for Estimating Landfill CH₄ Generation Potential**. 24th European Biomass Conference and Exhibition – EUBCE Proceedings, 2016.
26. MUTTARAI, Anupong; TOWPRAYOON, Sirintornthep; CHIEMCHAI SRI, Chart; SILALERTRUKSA, Thapat; WANGYAO, Komsilp. **Economic assessment of medium and large-scale landfill mining business: case study Thailand**. E3S Web of Conferences, v. 428, 02002, 2023. Disponível em: <<https://doi.org/10.1051/e3sconf/202342802002>>. Acesso em: 09 set. 2025.
27. ONU. Organização das Nações Unidas. **Objetivos de Desenvolvimento Sustentável**. 2015. Disponível em: <<https://brasil.un.org/pt-br/sdgs>>. Acesso em: 16 abr. 2025.
28. RAWAT, P.; MOHANTY, S. **Static and dynamic loading effects on the strength characteristic of municipal solid waste (MSW) fines reinforced with geosynthetics**. Sādhanā, v. 49, n. 7, 2024. Disponível em: <<https://doi.org/10.1007/s12046-023-02359-x>>. Acesso em: 09 set. 2025.

29. RAWAT, P.; MOHANTY, S. **From waste to resource: Engineering advancements for municipal solid waste fine fraction utilization – A review.** Waste Management & Research, v. 0, n. 0, 2025. Disponível em: <<https://doi.org/10.1177/0734242X251346049>>. Acesso em: 09 set. 2025.
30. ROCHA DA CUNHA, S. M. **Aterro sanitário de pequeno porte: guia para municípios.** Rio de Janeiro: IBAM, 2009.
31. SACEY, L. N. A.; KWABLAH, R.; AGYEMANG, L. S. Y. **The Impact of Landfill Operations on Borehole Water Quality.** ScientificWorldJournal, v. 2024, p. 8899070, 2024.
32. SALAMONI, G. P. D. **Compressibilidade de resíduos sólidos urbanos devido aos processos de biodegradação em um aterro sanitário.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Maria. Centro de Tecnologia. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Santa Maria, 2019.
33. SEEG - Sistema de Estimativas de Emissões de Gases de Efeito Estufa. **Relatório Anual de Emissões de GEE do Brasil (1990-2022).** Observatório do Clima, 2023.
34. SNIS. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento Básico. 2024.
35. VAVERKOVÁ, M. D.; ADAMCOVÁ, D.; WINKLER, J.; KODA, E.; ČERVENKOVÁ, J.; PODLASEK, A. **Influence of a Municipal Solid Waste Landfill on the Surrounding Environment: Landfill Vegetation as a Potential Risk of Allergenic Pollen.** Int J Environ Res Public Health, v. 16, n. 24, p. 5064, 2019.
36. WELCH, Daniel; SRIKANTH, Pawan. **No room for waste – unlocking the potential of landfill mining.** Policy@Manchester Articles: All posts, University of Manchester, 2025. Disponível em: <<https://blog.policy.manchester.ac.uk/posts/2025/07/no-room-for-waste-unlocking-the-potential-of-landfill-mining/>>. Acesso em: 08 set. 2025.
37. WILLUMSEN, H. C. **Manual de Geração de Energia Elétrica a Partir do Biogás de Aterro Sanitário.** 2001.
38. WINTERSTETTER, A.; WILLE, E.; NAGELS, P.; FELLNER, J. **Decision making guidelines for mining historic landfill sites in Flanders.** Waste Management, v. 77, p. 225-237, 2018. Disponível em: <<https://doi.org/10.1016/j.wasman.2018.03.049>>. Acesso em: 31 mar. 2025.
39. WOLFSBERGER, T.; ALDRIAN, A.; SARC, R. et al. **Landfill mining: Resource potential of Austrian landfills – Evaluation and quality assessment of recovered municipal solid waste by chemical analyses.** Waste Management & Research, v. 33, n. 11, p. 962-974, 2015. DOI: 10.1177/0734242X15600051.
40. ZARI, M.; SMITH, R.; WRIGHT, C.; FERRARI, R. Health and environmental impact assessment of landfill mining activities: A case study in Norfolk, UK. Heliyon, v. 8, n. 11, e11594, 2022. DOI: 10.1016/j.heliyon.2022.e11594.