XXII Congresso Brasileiro de Mecânica dos Solos e Engenharia Geotécnica
XI Simpósio Brasileiro de Engenheiros Geotécnicos Jovens
24 a 28 de agosto de 2026 – Brasília/DF
DOI: 10.47094/COBRAMSEG2026.6/89

Estudo Comparativo da Gestão e Gerenciamento de Resíduos Sólidos em Municípios do Sertão Nordestino: Um Diagnóstico Geotécnico Ambiental

Joyce da Cruz Lima
Engenheira Civil e Pos-Graduanda em Ciência dos Materiais, Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, joycedaclima@gmail.com

Plynio Armando da Silva Domingos
Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, plynio.domingo@discente.univasf.edu.br

Luan Santos Benevides
Graduando em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, luanbenevides123@gmail.com

Raliny Mota de Souza Farias
Professora Doutora em Engenharia Civil, Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Juazeiro-BA, Brasil, raliny.mota@univasf.edu.br

Rafaella de Moura Medeiros
Mestre em Engenharia Civil e Coordenadora Técnica do Projeto de Extensão Plansanear, Universidade Federal do Vale do São Francisco - UNIVASF, Petrolina-PE, Brasil, rafaella.moura@ufpe.br

RESUMO: A gestão de Resíduos Sólidos Urbanos em Petrolina-PE e Juazeiro-BA, polos do Vale do São Francisco, constitui um desafio para o desenvolvimento regional e para a efetivação da Política Nacional de Resíduos Sólidos. Este estudo realizou uma análise comparativa dos sistemas de gestão de RSU e propôs alternativas de monitoramento geotécnico-ambiental e remediação. A metodologia baseou-se em pesquisa bibliográfica e análise documental, associadas à proposição de melhorias na investigação de campo e na instrumentalização geotécnica, incluindo análises laboratoriais de RSU e lixiviado, previsão de recalques e tecnologias de remediação, como cobertura final, drenagem de passivos, controle de emissões de metano e recirculação de lixiviado. Os resultados indicam que, embora ambos os municípios operem aterros sanitários em conformidade legal, apresentam desempenho distinto, onde Petrolina possui cobertura total da coleta domiciliar e Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana de 0,364, enquanto Juazeiro apresenta cobertura de 81,21% e índice de 0,546. Concluiu-se que a região tem potencial de otimização nos seus sistemas vista a necessidade de controle geotécnico e ambiental rigoroso visando à segurança estrutural das áreas de descarte, à adequação ambiental dos sistemas e à proteção dos recursos hídricos do Rio São Francisco, em conformidade com a legislação vigente.

PALAVRAS-CHAVE: Resíduos Sólidos, Aterro Sanitário, Petrolina, Juazeiro, PNRS.

ABSTRACT: The management of Urban Solid Waste (USW) in Petrolina, Pernambuco, and Juazeiro, Bahia, major urban centers of the São Francisco River Valley, constitutes a challenge to regional development and to the effective implementation of Brazil's National Solid Waste Policy. This study carried out a comparative analysis of USW management systems and proposed alternatives for geotechnical-environmental monitoring and remediation. The methodology was based on a literature review and document analysis, combined with proposed improvements in field investigations and geotechnical instrumentation, including topographic surveys, subsurface investigations, and settlement measurements, as well as laboratory analyses of USW and leachate, geotechnical modeling for stability assessment and settlement prediction, and remediation technologies such as final cover systems, legacy site drainage, methane emission control, and leachate recirculation. The results indicate that, although both municipalities operate sanitary landfills in legal

compliance, they present distinct performance: Petrolina achieves full household waste collection coverage and an Urban Cleaning Sustainability Index of 0.364, whereas Juazeiro presents 81.21% coverage and an index of 0.546. The study concludes by proposing methods to address the identified need for rigorous geotechnical and environmental control, ensuring structural safety, environmental adequacy, and the protection of the São Francisco River's water resources.

KEYWORDS: Solid Waste, Sanitary Landfill, Petrolina, Juazeiro, PNRS.

1 INTRODUÇÃO

A gestão e a disposição final ambientalmente adequada dos resíduos sólidos urbanos representam desafios centrais ao desenvolvimento sustentável das cidades brasileiras em contextos de expansão urbana acelerada. O aumento contínuo da geração de resíduos impõe pressões significativas sobre os serviços públicos e a saúde pública e exige sistemas de gestão integrados e tecnicamente estruturados. Nesse cenário a Política Nacional de Resíduos Sólidos instituída pela Lei Federal 12.305 de 2010 configura um marco regulatório fundamental ao estabelecer diretrizes para a gestão integrada e a erradicação de lixões (BRASIL, 2010).

Em regiões semiáridas esses desafios são intensificados por particularidades climáticas, geológicas, pedológicas e geotécnicas que impõem limitações adicionais à operação e ao monitoramento de áreas de disposição final. Inseridos no semiárido nordestino, os municípios de Petrolina em Pernambuco e Juazeiro na Bahia, destacam-se como polos regionais de desenvolvimento impulsionados pela fruticultura irrigada no Vale do São Francisco. Ambos os municípios apresentam um histórico de disposição inadequada de resíduos seguido por processos de remediação de lixões e pela implantação de aterros destinados à recepção dos descartes urbanos. Em 2024, Petrolina obteve pontuação de 0,364 no Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana enquanto Juazeiro alcançou 0,546 o que indica níveis insatisfatórios de aderência às diretrizes nacionais. A ausência de medidas sistemáticas de controle pode comprometer o desempenho dessas unidades e favorecer instabilidades geotécnicas ou a contaminação de recursos hídricos.

A efetividade das ações de remediação depende da caracterização do meio físico e da implementação de programas rigorosos de monitoramento geotécnico e ambiental. A relevância desta pesquisa fundamenta-se na necessidade de mitigar passivos ambientais e assegurar a estabilidade estrutural das áreas de descarte para a proteção do ecossistema local.

Diante desse cenário, o objetivo estudo consistiu em realizar uma análise comparativa dos sistemas de limpeza urbana de Petrolina e Juazeiro associada à avaliação da infraestrutura e das competências administrativas das instituições envolvidas, contendo uma proposição integrada de monitoramento e remediação aplicada aos antigos lixões e aos aterros sanitários dos dois municípios. O foco da investigação recaiu sobre a análise pedológica e geotécnica das áreas para a espacialização de riscos e a definição de critérios técnicos de controle ambiental.

2 METODOLOGIA

A pesquisa foi desenvolvida a partir de uma abordagem qualitativa, de caráter aplicado e analítico, fundamentada na integração de análise documental, pesquisa bibliográfica, levantamento de dados secundários e observações de campo. O estudo baseou-se em documentos oficiais, legislações municipais e relatórios técnicos, como o RIMA da CTR de Petrolina, tendo a Política Nacional de Resíduos Sólidos como referência central. Complementarmente, realizaram-se consultas à produção acadêmica e dados do BDIA/IBGE, processados em software QGIS para a caracterização do meio físico e identificação de vulnerabilidades geotécnicas.

A metodologia incluiu visitas técnicas às áreas de interesse em Petrolina e Juazeiro para verificação in loco das condições físicas, ambientais e operacionais das estruturas. Os dados obtidos foram integrados de forma sistemática para permitir uma análise comparativa entre os municípios, considerando aspectos institucionais e geotécnicos. A partir dessa integração, foram definidos critérios técnicos para a proposição de medidas de remediação e monitoramento, em conformidade com as diretrizes da PNRS e com as condições locais.

2.1 Delimitação da área de estudo

As áreas de estudo compreendem os sistemas de disposição final de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), polos estratégicos do semiárido nordestino. A análise abrange o Aterro Sanitário de Petrolina, o Aterro Controlado de Juazeiro e a área remediada do antigo lixão do Raso da Catarina, atualmente convertida no Parque do Povo e em unidade de transbordo. A localização dessas áreas e sua proximidade com o Rio São Francisco reforçam a necessidade de controle rigoroso para a proteção dos recursos hídricos locais.

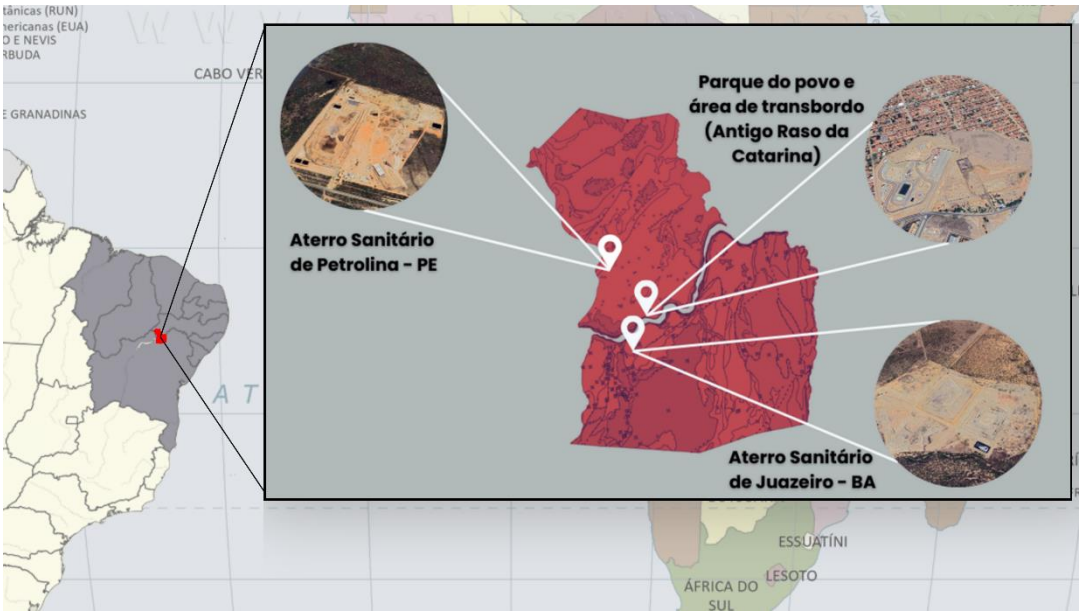


Figura 1. Localização das áreas de estudo em Petrolina (PE) e Juazeiro (BA).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos revelam disparidades técnicas e operacionais significativas na gestão de resíduos sólidos entre Petrolina e Juazeiro, refletindo diferentes estágios de adequação à Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS).

3.1 Evolução histórica da gestão de resíduos sólidos

A análise comparativa mostra que ambos os municípios operaram lixões a céu aberto por décadas (Raso da Catarina e Serrote da Batata). Petrolina iniciou a transição em 2006, convertendo o lixão em aterro controlado e, em 2014, migrando para um aterro sanitário licenciado. Juazeiro remediou seu lixão em 2014, transformando-o em aterro controlado. Atualmente, Petrolina apresenta avanços na requalificação urbana, como a conversão de parte do antigo lixão no Parque do Povo em 2025, enquanto Juazeiro ainda busca consolidar o monitoramento contínuo de sua unidade.

3.2 Geração de RSU

Petrolina registrou um salto populacional para 386.786 habitantes (IBGE, 2022), com geração per capita de 1,18 kg/hab.dia, totalizando aproximadamente 456,41 toneladas diárias coletadas em 2023. Juazeiro, com 237.821 habitantes (IBGE, 2022), apresenta um incremento populacional de 18,95% desde 2010. Segundo dados do SNIS/SINIR, o município coleta anualmente 88.090 toneladas, o que equivale a 241,3 toneladas/dia e uma geração per capita de 406 kg/hab.ano.

3.3 Sistema de coleta e transporte

Em Petrolina, a coleta domiciliar é realizada pela gestão municipal e terceirizadas, operando majoritariamente em dias alternados. O município implementou Pontos de Entrega Voluntária (PEVs) e conta com as cooperativas COOMARCA e RENASCER, embora a efetividade da segregação ainda seja limitada.

Em Juazeiro, o serviço é responsabilidade do SAAE, com coleta diária no centro e alternada nos bairros. O município dispõe do programa "Cata Treco" para resíduos volumosos, visando reduzir o descarte irregular em terrenos baldios.

3.4 Destinação final

3.4.1 Características logísticas e operacionais

O aterro sanitário de Petrolina opera via concessão com a CTR Petrolina (Contrato nº 440/2006), fundamentado na Lei Federal nº 12.305/2010 e na Lei Estadual nº 14.236/2010. A unidade possui balança rodoviária, compactação mecanizada e cobertura diária. Em Juazeiro, a disposição ocorre em aterro controlado sem balança para controle direto, sendo o quantitativo baseado em relatórios dos geradores e controle manual de acesso pela prefeitura.

3.4.2 Tecnologias no tratamento de resíduos, monitoramento e remediação

Petrolina destaca-se pela usina de biogás (Gera Energia Brasil) com capacidade de 1 MW, usina de compostagem e unidade de beneficiamento de entulho (UBE) com capacidade de 2.600 t/mês. Juazeiro não possui aproveitamento energético e utiliza resíduos de construção para preenchimento de valas sem camadas de proteção. Em relação ao monitoramento, não foram identificados sistemas formais contínuos em nenhum dos municípios. No Raso da Catarina (Petrolina), a remediação foi formalizada em 2025, integrando área de transbordo e lazer, embora persistam lacunas documentais sobre os ensaios geotécnicos de longo prazo executados.

3.5 Análise geotécnica

Para subsidiar a análise geotécnica e ambiental, foram elaborados mapas pedológicos e geológicos dos aterros sanitários de Petrolina-PE e Juazeiro-BA. A caracterização identificou que o aterro de Petrolina se assenta sobre Argissolo Vermelho-Amarelo e Neossolo Litólico, solos com limitações de infiltração e suscetibilidade erosiva. Já o aterro de Juazeiro situa-se em Planossolo Háplico, apresentando relevo plano e variações texturais que demandam atenção especial à drenagem e ao controle de líquidos.

Geologicamente, ambas as áreas integram a unidade Sobradinho–Remanso do embasamento cristalino, composta por ortognaisses de alta competência mecânica e resistência. Embora a baixa porosidade primária das rochas favoreça a estabilidade, o comportamento hidrogeológico é condicionado por fraturas e falhas, que podem atuar como vias de migração para lixiviados. Assim, a integração desses dados é crucial para o planejamento de medidas de impermeabilização e monitoramento ambiental.



Figura 2: Mapa Geológico e Pedológico das áreas dos aterros de Petrolina-PE e Juazeiro-BA.

3.5.1 Análise de risco e proposta de remediação

A avaliação dos riscos ambientais e geotécnicos associados às áreas de disposição e remediação de resíduos sólidos exige a análise integrada das condições pedológicas, geológicas e antrópicas. Nesse sentido, a Tabela 2 sintetiza os principais aspectos físicos e os riscos potenciais identificados nos aterros sanitários de Petrolina (PE) e Juazeiro (BA), bem como nas áreas remediadas do Parque do Povo e do Raso da Catarina, permitindo uma comparação objetiva entre os diferentes contextos.

Quadro 2. Resumo da análise de risco das áreas estudadas.

Área de Estudo	Análise Pedológica	Risco Pedológico	Análise Geológica	Risco Geológico
Aterro Sanitário de Petrolina - PE	Presença de Argissolo com horizonte A fraco e ocorrência de Neossolo Litólico raso e pedregoso, favorecendo infiltração inicial e contato rápido com o substrato rochoso	Moderado a elevado	Substrato cristalino TTG (Sobradinho–Remanso) com alta resistência, porém com fraturas que podem atuar como vias preferenciais de percolação	Baixo a moderado
Aterro controlado de Juazeiro - BA	Predominância de Planossolo com horizonte subsuperficial adensado, favorecendo fluxo lateral de lixiviados e proximidade de depósitos aluvionares	Elevado	Relevo plano a suave ondulado associado à saturação do solo e à presença de estruturas fraturadas no embasamento cristalino	Moderado
Parque do Povo	Solo urbano antropizado, heterogêneo e com histórico de disposição irregular de resíduos, aumentando a mobilização residual de contaminantes	Elevado	Substrato rochoso resistente, porém com heterogeneidades geotécnicas decorrentes de aterros, cortes e compactações irregulares	Baixo a moderado
Área de Transbordo	Alteração significativa das propriedades naturais do solo por uso antrópico e ausência de caracterização pedológica detalhada	Elevado	Condições semelhantes às do Parque do Povo, com possíveis recalques diferenciais e instabilidades superficiais localizadas	Baixo a moderado

Diante da ausência de registros técnicos sobre os processos de remediação executados, foram sistematizadas técnicas de remediação potencialmente aplicáveis às áreas passíveis de intervenção, especificamente o Raso da Catarina e o antigo lixão de Juazeiro (BA). A remediação de áreas contaminadas deve basear-se em avaliações de risco, considerando os receptores ambientais e humanos expostos.

A seleção das técnicas depende da caracterização do sítio, incluindo condições geotécnicas e hidrogeológicas, tipo e comportamento dos contaminantes, além da viabilidade técnica e econômica. De forma geral, as estratégias envolvem a restrição do uso do solo, a remoção ou tratamento dos contaminantes ou a redução de sua concentração e mobilidade. A Tabela 3 apresenta os indicativos de remediação recomendados para as áreas analisadas.

Tabela 3. Indicações de remediação para áreas estudadas.

Técnica/Medida proposta	Finalidade da técnica	Raso da Catarina	Área do antigo lixão de Juazeiro - BA
Encapsulamento	Isolar a massa de resíduos, impedir	X	X

geotécnico e cobertura final	infiltração de águas pluviais, reduzir geração de chorume, evitar liberação de gases e garantir segurança ao novo uso da área		
Controle e tratamento de gases (SVE)	Extrair e tratar gases gerados pela decomposição da matéria orgânica (ex.: metano e VOCs), reduzindo riscos ambientais e à saúde	X	
Biorremediação / Atenuação Natural Monitorada (ANM)	Reduzir, ao longo do tempo, possíveis contaminações residuais em águas subterrâneas por processos naturais controlados e monitorados	X	X
Contenção da pluma de contaminação (Barreira hidráulica ou Bombeamento e Tratamento)	Conter e tratar águas subterrâneas contaminadas, evitando a migração da pluma em direção aos corpos d'água		X
Barreiras Reativas Permeáveis (BRP)	Tratamento passivo dos contaminantes por degradação, adsorção ou imobilização ao longo do fluxo subterrâneo		X
Melhoria das coberturas do aterro controlado	Reduzir infiltração de água da chuva, minimizar geração de chorume e compensar limitações operacionais do sistema existente		X

3.6 Proposta de monitoramento

Apesar de Petrolina operar um aterro sanitário com padrão tecnológico mais avançado e Juazeiro dispor apenas de um aterro controlado, ambos os municípios apresentam uma fragilidade comum: a ausência de monitoramento geotécnico e ambiental sistemático. Em Juazeiro, essa deficiência é mais crítica, uma vez que não há informações públicas sobre as características geotécnicas do aterro e a inexistência de balança rodoviária compromete o controle quantitativo dos resíduos, realizado de forma manual e declaratória pelos próprios geradores. Em ambos os casos, a carência de monitoramento e de recursos técnicos impede a avaliação contínua da segurança do maciço, a estimativa da vida útil dos aterros e a identificação precoce de falhas nos sistemas de drenagem e impermeabilização, essenciais para a proteção do meio ambiente. Dessa forma, torna-se necessária a adoção de um plano de monitoramento adaptado às realidades locais, capaz de suprir a ausência de dados primários e subsidiar medidas preventivas e corretivas.

Desta maneira, foi sistematizado a Tabela 4 com a indicação de quais tipos de monitoramento cada área estudada poderia ser submetida.

Tabela 4. Indicações de monitoramento para áreas estudadas.

Monitoramento	Finalidade	Frequência	Raso da Catarina	Aterro Controlado (Juazeiro - BA)	Aterro Sanitário (Petrolina - PE)
Recalques Superficiais (Placas)	Medir deslocamento vertical total; garantir a integridade de pistas e quadras e estimar vida útil.	Semanal	X	X	X
Recalques em Profundidade	Localizar áreas de maior compressão e entender a evolução da decomposição orgânica.	Quinzenal		X	X
Inspeções de Campo (Visual)	Detectar sinais de instabilidade como trincas, fissuras, afundamentos e erosões.	Diária/ Semanal	X	X	X

Temperatura Interna	Monitorar o estágio de degradação biológica e seu impacto no recalque.	Semanal		X	X
Piezômetros (Pressão Neutra)	Monitorar o nível de chorume e evitar pressões excessivas que causem deslizamentos.	Semanal	X	X	X
Emissões Fugitivas (Gases)	Verificar fugas de biogás pela cobertura para evitar explosões e emissão de GEE.	Quinzenal	X	X	X
Qualidade e Quantidade do Gás	Acompanhar o potencial energético e a pressão interna nos drenos.	Quinzenal		X	X
Águas Subterrâneas (Poços)	Verificar contaminação por metais pesados e efluentes, protegendo o aquífero.	Bimestral a Quadrimestral	X	X	X
Águas Superficiais	Monitorar impactos em rios e riachos vizinhos (essencial pela proximidade ao Rio S. Francisco).	Bimestral a Trimestral		X	X
Qualidade do Ar e Ruído	Avaliar a poluição do ar e a pressão sonora (ruído) no entorno.	Mensal		X	X
Sondagens e Ensaios Geotécnicos	Coletar amostras de lixo/solo para definir propriedades de resistência e permeabilidade (Investigação Inicial).	Inicial / Conforme Demanda	X	X	X
Manutenção da Cobertura	Garantir a cobertura vegetal e drenagem pluvial para evitar infiltrações e erosão.	Constante	X	X	X

4 CONCLUSÃO

A análise comparativa entre Petrolina-PE e Juazeiro-BA revela que, embora ambos os municípios tenham avançado na transição de lixões para aterros, persistem disparidades técnicas e operacionais significativas que comprometem a plena eficiência da gestão de resíduos sólidos. Petrolina demonstra um estágio tecnológico superior ao operar um aterro sanitário com pesagem automatizada e aproveitamento energético de biogás, enquanto Juazeiro ainda utiliza um aterro controlado com monitoramento quantitativo manual e declaratório. Ambos os centros urbanos apresentam índices de sustentabilidade insatisfatórios, evidenciando dificuldades na consolidação da coleta seletiva e na inclusão socioprodutiva de catadores.

O estudo diagnóstico aponta uma vulnerabilidade crítica comum: a ausência de sistemas formais e contínuos de monitoramento geotécnico e ambiental. As características do meio físico, como a presença de solos com horizonte A fraco em Petrolina e o adensamento subsuperficial em Juazeiro, associadas ao substrato cristalino fraturado, elevam o risco de percolação de lixiviados e instabilidade dos maciços. Tais fatores reforçam a necessidade urgente de implementar planos de monitoramento sistemáticos, incluindo a medição de recalques e pressões neutras, para garantir a segurança estrutural das áreas e a preservação dos recursos hídricos do Rio São Francisco.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABREMA – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. *Índice de Sustentabilidade da Limpeza Urbana: ISLU 2024*. [S. l.]: ABREMA, 2024.

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.* Brasília, DF: Presidência da República, 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm.

BRASIL. *Ministério das Cidades. Painel de Indicadores: resíduos sólidos.* 2025 [S. l.: s. n.], s.d. Disponível em: https://indicadores-sinisa-2025.cidades.gov.br/dashboard?modulo=residuos_solidos. Acesso: 15 jan 2026.

CTR PETROLINA. *Marcílio Augusto Duque Pacheco (Coord. Geral) et al. Relatório de Impacto Ambiental (RIMA): Implantação de Central de Tratamento de Resíduos Sólidos em Área Rural do Município de Petrolina.* Petrolina, PE: [s.n.], 2010.

FREITA, C. L. V. et al. *Reciclagem de resíduos de construção e demolição (RCD): um estudo de caso em usina de beneficiamento de resíduos em Petrolina-PE. Revista de Gestão Social e Ambiental – RGSA*, São Paulo, v. 10, n. 1, p. 93–109, jan./abr. 2016.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Banco de Dados de Informações Ambientais – BDIA: mapas pedológicos e geológicos.* Rio de Janeiro: IBGE. Disponível em: https://bdiaweb.ibge.gov.br.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Cidades e Estados.* [Rio de Janeiro]: IBGE, s.d. Disponível em: https://cidades.ibge.gov.br/.

OLIVEIRA, D. S. N. *Análise da geração de energia elétrica com biogás no aterro sanitário de Petrolina – PE.* 2019. 83 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Elétrica) – Universidade Federal do Vale do São Francisco, Juazeiro-BA, 2019.

PERNAMBUCO. Lei nº 14.236, de 13 de dezembro de 2010. *Dispõe sobre a Política Estadual de Resíduos Sólidos e dá outras providências.* Recife: Assembleia Legislativa do Estado de Pernambuco, 2010.

PETROLINA (PE). Prefeitura Municipal. *Plano Municipal de Gestão Integrada de Resíduos Sólidos (PMGIRS).* Petrolina, PE: Prefeitura Municipal de Petrolina, 2019.

RODRIGUES, A. da S. et al. *Implantação da compostagem no gerenciamento dos resíduos orgânicos de feiras e podas de árvores de Petrolina, PE.* In: EMBRAPA SEMIÁRIDO. Publicações. [S.l.]: Embrapa, [s.d.]. Disponível em: https://www.embrapa.br/semiarido/publicacoes. Acesso em: 10 set. 2025.