

APLICAÇÃO DA MATRIZ DE LEOPOLD PARA AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS PROVENIENTES DO DESCARTE DE RESÍDUOS NO LIXÃO MUNICIPAL DE TUCURUÍ-PA
APPLICATION OF THE LEOPOLD MATRIX TO ASSESS ENVIRONMENTAL IMPACTS RESULTING FROM WASTE DISPOSAL IN THE MUNICIPAL LANDFILL OF TUCURUÍ-PA

Dhonison Campelo da Igreja¹

Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA-Tucuruí)

Raisa Rodrigues Neves²

Engenheira Sanitarista e Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Engenharia de Segurança do Trabalho pela Faculdade Ideal (FACI). Mestre em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Professora de Hidráulica e Meio Ambiente da Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (UFPA-Tucuruí)

Raylson Santos Amaral³

Técnico em Edificações pelo Instituto Federal do Pará (IFPA-Abaetetuba). Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará (UFPA-Tucuruí)

RESUMO

O presente estudo analisa os impactos ambientais decorrentes do descarte inadequado de resíduos sólidos no lixão municipal de Tucuruí-PA. A pesquisa baseia-se na aplicação da Matriz de Leopold, permitindo uma avaliação detalhada da severidade e frequência dos impactos ambientais. Os principais problemas identificados incluem a contaminação do solo e da água pelo chorume, a emissão de gases de efeito estufa, como metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), e os riscos à saúde pública devido à proliferação de vetores e poluentes atmosféricos. Além disso, a ausência de um Plano Municipal de Saneamento Básico compromete a gestão sustentável dos resíduos sólidos, dificultando a adequação às diretrizes da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS). Os resultados indicam a necessidade urgente de implementação de um aterro sanitário, bem como de políticas públicas voltadas para a educação ambiental e reciclagem. A pesquisa destaca a importância de soluções sustentáveis para minimizar os impactos negativos e garantir melhores condições de qualidade ambiental para a população local.

ABSTRACT

This study analyzes the environmental impacts resulting from the inadequate disposal of solid waste in the municipal landfill of Tucuruí-PA. The research is based on the application of the Leopold Matrix, allowing a detailed assessment of the severity and frequency of environmental impacts. The main problems identified include soil and water contamination by leachate, the emission of greenhouse gases such as methane (CH₄) and carbon dioxide (CO₂), and public health risks due to vector monitoring and atmospheric exposures. In addition, the absence of a Municipal Basic Sanitation Plan compromises the sustainable management of

¹ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará, e-mail: eng.dhonisoncampelo@gmail.com

² Doutora em Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Pará (UFPA), e-mail: raisaneves@ufpa.br

³ Graduando em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Pará, e-mail: raylsonamaral@outlook.com

solid waste, making it difficult to comply with the guidelines of the National Solid Waste Policy (PNRS). The results indicate the urgent need to implement a sanitary landfill, as well as external public policies for environmental education and recycling. The research highlights the importance of sustainable solutions to minimize negative impacts and ensure better environmental quality conditions for the local population.

1 INTRODUÇÃO

A gestão de Resíduos Sólidos e os problemas decorrentes de seu manejo inadequado tornam-se uma preocupação relevante para os aspectos sociais, econômicos, ambientais, técnicos e políticos de um município. Isso ocorre devido aos diferentes níveis de conscientização entre os cidadãos e as autoridades locais, o que frequentemente dificulta a inclusão dessa questão no processo de tomada de decisão sobre o local de instalação e o método de disposição dos Resíduos Sólidos (Roy; Adhikary; Kar, 2019).

A gestão inadequada de Resíduos Sólidos apresenta sérias implicações ambientais, sociais e econômicas, sendo um dos grandes desafios da sustentabilidade urbana. Dentre os impactos mais preocupantes, destaca-se a emissão de Gases de Efeito Estufa – GEE principalmente o metano (CH_4) e o dióxido de carbono (CO_2), liberados pela decomposição de resíduos orgânicos em lixões e aterros controlados. O metano, em particular, possui um potencial de aquecimento global até 25 vezes maior que o CO_2 , contribuindo significativamente para as mudanças climáticas.

Além disso, a destinação inadequada de resíduos sólidos pode levar à contaminação do solo e dos recursos hídricos, comprometendo a qualidade de vida das populações e gerando custos elevados para a saúde pública. No Brasil, apesar da existência da Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), que estabelece diretrizes para a gestão ambientalmente adequada de resíduos, muitos municípios ainda enfrentam dificuldades na implementação de soluções sustentáveis.

De acordo com a Associação Brasileira de Empresas de Limpeza Pública e Resíduos Especiais – ABRELPE, no Brasil, a produção de resíduos é contínua e, em 2022, atingiu 81,8 milhões de toneladas, o que equivale a 224 mil toneladas por dia. Isso significa que, em média, cada brasileiro é responsável por gerar 1,043 kg de resíduos diariamente. A fração orgânica se destaca como o principal componente, representando 45,3%. Os resíduos recicláveis secos correspondem a 35%, sendo compostos principalmente por plásticos (16,8%), papel e papelão (10,4%), vidros (2,7%), metais (2,3%) e embalagens multicamadas (1,4%). Os rejeitos somam 14,1%, e devem ser destinados ao aterro sanitário (Abrelpe, 2022).

No contexto regional, o Pará lidera o ranking de locais inadequados para o despejo de resíduos sólidos na Região, com 110 áreas identificadas. O estado é seguido pelo Tocantins, com 101 pontos de descarte irregular (Abrelpe, 2022). Esses números revelam a persistência de dificuldades na gestão de resíduos sólidos, especialmente em regiões com menor acesso a infraestrutura e recursos financeiros. Os impactos dessas práticas afetam diretamente o meio ambiente e a saúde pública, agravando problemas já presentes.

A cidade de Tucuruí, assim como muitas outras no Brasil, enfrenta desafios relacionados à disposição inadequada de resíduos. Essa prática pode resultar em custos elevados para a saúde pública e impactar negativamente o bem-estar da população. Dessa forma, torna-se essencial aprimorar a gestão, o gerenciamento e a destinação final dos resíduos, não apenas para suprir as necessidades básicas da comunidade, mas também para cumprir as exigências legais e ambientais, assegurando uma melhor qualidade de vida para os habitantes (Rego; Silva; Carvalho, 2023).

A disposição final adequada dos resíduos, conforme definido pela PNRS, deve atender a normas operacionais que minimizem os danos ao meio ambiente e à saúde pública. No entanto, a realidade de muitos municípios, incluindo Tucuruí, ainda está distante desse cenário. A falta de aterros sanitários e a manutenção de lixões a céu aberto perpetuam práticas que comprometem a sustentabilidade e a qualidade de vida das comunidades.

Nesse sentido, para Besen (2011) a destinação incorreta dos resíduos sólidos pode resultar na contaminação dos recursos hídricos, do ar e do solo, além de favorecer a disseminação de agentes transmissores de doenças, tanto em nível micro quanto macro. Esses impactos geram sérias consequências ambientais e comprometem diretamente a qualidade de vida da população.

Diante desse cenário, há a necessidade de mitigação dos impactos ambientais causados pelo descarte irregular de resíduos, mas também pelo compromisso do Brasil com os 17 Objetivos de Desenvolvimento Sustentável – ODS da Organização das Nações Unidas – ONU. Especificamente, a pesquisa está alinhada ao ODS 11 (Cidades e Comunidades Sustentáveis), que busca reduzir os impactos ambientais negativos per capita das cidades, incluindo a gestão de resíduos sólidos, e ao ODS 13 (Ação contra a Mudança Global do Clima), que incentiva medidas para reduzir as emissões de Gases de Efeito Estufa e fortalecer a resiliência climática.

A presente pesquisa tem como objetivo analisar os impactos ambientais e sociais da disposição inadequada de resíduos no lixão de Tucuruí. Diante das falhas no cumprimento das normas ambientais e dos riscos à saúde pública, o estudo propõe alternativas para um gerenciamento sustentável, subsidiando a formulação de políticas públicas adequadas.

2 METODOLOGIA

Este estudo baseia-se em uma abordagem combinada de técnicas qualitativas e quantitativas para analisar os impactos ambientais do descarte inadequado de resíduos sólidos no município de Tucuruí.

Fluxograma 1 – Passo a passo da pesquisa



Fonte: Autores (2025)

A escolha dessa abordagem mista justifica-se por sua capacidade de fornecer uma análise ampla e detalhada da problemática estudada. A técnica qualitativa permite compreender a percepção dos impactos ambientais e sociais, enquanto a análise quantitativa possibilita uma avaliação objetiva da gravidade e recorrência dos efeitos observados.

Além disso, o uso da Matriz de Leopold é amplamente recomendado para estudos de impacto ambiental, pois oferece um método estruturado para correlacionar ações humanas com seus efeitos no meio ambiente. Essa metodologia se mostra particularmente adequada para este estudo, pois possibilita não apenas a identificação dos impactos, mas também sua hierarquização, auxiliando na definição de prioridades para mitigação.

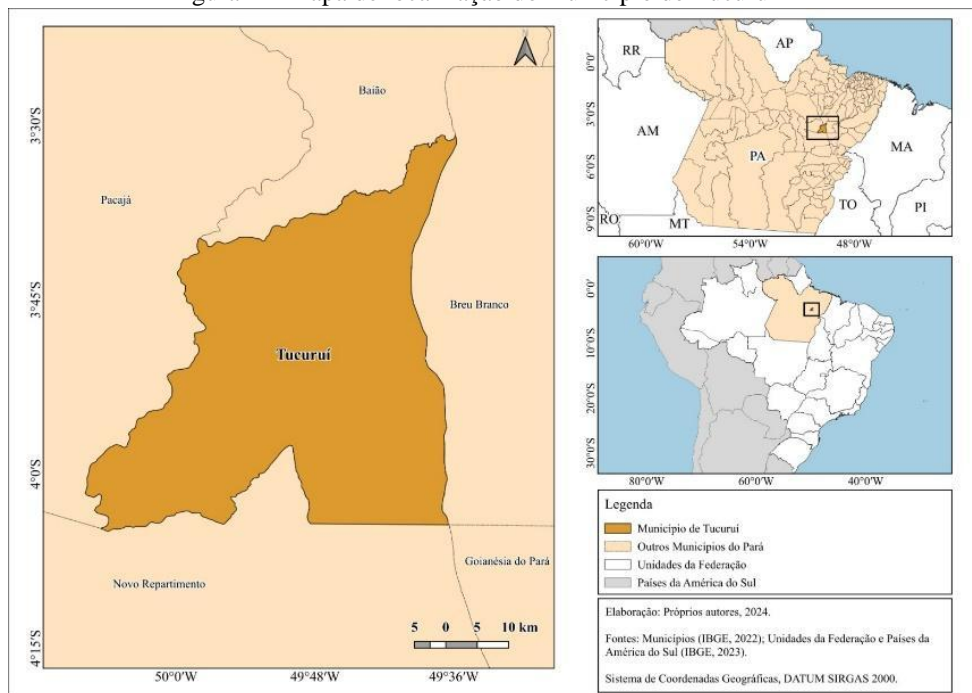
2.1 CARACTERIZAÇÃO DO MUNICÍPIO

Conforme Instituto Brasileiro de Geografia Estatística – IBGE (2023) O município de Tucuruí está situado na mesorregião do sudeste do Pará, mais precisamente na Zona do Alto Tocantins, localizado na margem esquerda do Rio Tocantins, que banha de norte a sul.

Ainda de acordo com IBGE (2023) A área territorial de 2.084,289 km², Tucuruí faz parte da microrregião homônima, integrando-se aos municípios vizinhos de Breu Branco, Novo Repartimento, Jacundá, Nova Ipixuna e Itupiranga. Localizado a aproximadamente 350 km da capital do estado, Belém.

Conforme a Figura 1, observa-se a localização estratégica do município de Tucuruí, que destaca a importância do contexto geográfico na análise dos impactos ambientais e sociais abordados nesta pesquisa.

Figura 1 – Mapa de localização do município de Tucuruí-PA



Fonte: Autores (2025)

A escolha do município de Tucuruí para este estudo se justifica, em primeiro lugar, pela ausência de um gerenciamento adequado dos resíduos sólidos, resultando em impactos ambientais e sociais significativos. Além disso, Tucuruí possui relevância estratégica na região, abrigando a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, um dos maiores empreendimentos de geração de energia elétrica do Brasil, operado pela Centrais Elétricas do Norte do Brasil S.A – Eletronorte (Tenório; Lima, 2014). Esses fatores tornam a cidade um caso representativo para a análise dos desafios na gestão de resíduos e para a proposição de soluções sustentáveis.

2.2 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO BRASIL

Segundo a Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente – ABREMA (2024), a rede de aterros sanitários do Brasil não chega a 700 unidades e ainda existem municípios que,

mesmo com aterros sanitários acessíveis e com capacidade operacional para tratamento dos resíduos locais, continuam utilizando lixões.

Para a Abrema (2024) os motivos que justificam a utilização de lixões no Brasil, ocorrem por alguns fatores como limitação econômica, ausência de políticas públicas, falta de infraestrutura adequada e questões culturais. A falta de recursos para construir aterros sanitários ou implementar sistemas de gestão de resíduos leva as administrações públicas a optarem por soluções mais baratas, ainda que ambientalmente inadequadas. Além disso, a ausência de subsídios e incentivos governamentais agrava esse cenário.

Ainda segundo a Abrema (2024) outro fator importante é a deficiência na fiscalização e no cumprimento da legislação ambiental, permitindo que práticas inadequadas continuem sendo utilizadas. Essa falta de controle reflete a fragilidade das políticas públicas voltadas para o gerenciamento de resíduos sólidos e a necessidade de um planejamento mais rigoroso. Além disso, aspectos culturais e hábitos sociais também influenciam a perpetuação dos lixões.

Conforme a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, a disposição adequada é feita em aterro sanitário, para onde os resíduos sólidos que não podem ser reutilizados ou reciclados devem ser descartados. No país, existem 626 unidades destes equipamentos, para onde são destinados, aproximadamente, 46 milhões (73,7%) de toneladas de resíduos sólidos. O restante é despejado em lixões ou aterros controlados, sendo uma solução intermediária entre o lixão e o aterro sanitário.

Regionalmente, o Sudeste continua sendo o maior gerador de Resíduos Sólidos Urbano do Brasil. No último ano, foi observado um aumento de cerca de 0,6% na geração per capita da região, com cerca de 452 kg de RSU gerados por habitante em 2023, ou 1,237 kg por habitante por dia (kg/hab./dia). Em termos de valores totais, houve um crescimento de 0,9% com relação a 2022, com uma geração de mais de 39,9 milhões de toneladas de RSU em 2023, ou 109 mil toneladas diárias, o que representa aproximadamente 50% da geração nacional. A região que menos contribui para o total nacional é a região Norte, responsável por 7,5% dos RSU gerados no país, o que equivale a cerca de 16,5 mil toneladas geradas diariamente, ou 6,0 milhões de toneladas em 2023 (Abrema, 2024)

A gestão de resíduos sólidos no Brasil é regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). Essa lei se baseia na Política Nacional de Meio Ambiente (Lei nº 6.938/1981) e na Política Nacional de Educação Ambiental (Lei nº 9.795/1999), que promovem o uso sustentável dos recursos naturais e a conscientização ambiental. Além disso, normas da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT, como a NBR 8419:1992 e a NBR 13896:1997, estabelecem diretrizes para a construção e operação de aterros sanitários, protegendo solo, água e ar.

Além disso, os padrões de qualidade para o lançamento de efluentes líquidos em corpos hídricos estão previstos na Resolução Conama nº 357/2005. Essa normativa estabelece limites rigorosos para os efluentes líquidos provenientes dos aterros sanitários, de modo a preservar a qualidade das águas superficiais e subterrâneas. Para atender a esses parâmetros, é fundamental que os aterros utilizem tecnologias eficazes e sistemas avançados de tratamento.

A Resolução Conama nº 404/2008 complementa essas regulamentações ao estabelecer critérios técnicos específicos para a implantação e operação de aterros sanitários de pequeno porte, voltados principalmente para municípios de menor população. Essa norma exige sistemas adequados de impermeabilização, tratamento de líquidos gerados e gestão de gases, com foco em práticas ambientalmente seguras e compatíveis com a realidade desses empreendimentos.

Adicionalmente, é importante destacar a Resolução Conama nº 308, de 21 de março de 2002, que estabelece critérios e procedimentos para o licenciamento ambiental de sistemas de disposição final de resíduos sólidos urbanos em municípios de pequeno porte. Esta resolução

visa orientar a seleção de áreas e a concepção tecnológica adequadas para a disposição desses resíduos, buscando minimizar os impactos ambientais e proteger a saúde pública.

A observância dessa resolução é fundamental para municípios como Tucuruí, que enfrentam desafios na gestão de resíduos sólidos, garantindo que as práticas adotadas estejam em conformidade com as diretrizes ambientais estabelecidas (Rabelo; Santos, 2019).

2.3 GESTÃO DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO MUNICÍPIO DE TUCURUÍ-PA

A gestão dos Resíduos Sólidos Urbanos no município de Tucuruí é realizada através da administração indireta, desde 2005, de acordo com a Lei nº 8.666/93 (Lei de Licitações). A cidade enfrenta desafios significativos no manejo de resíduos sólidos urbanos. De acordo com o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento – SNIS no ano de 2020, 100% da população urbana é atendida pelo serviço de coleta de resíduos sólidos. No entanto, a disposição final desses resíduos é realizada em um lixão a céu aberto, prática que contraria a Política Nacional de Resíduos Sólidos – PNRS, a qual proíbe essa forma de destinação devido aos riscos ambientais e à saúde pública.

Os resíduos são destinados ao lixão municipal, implantado em 2015, que carece de infraestrutura adequada para tratamento e disposição correta. Isso resulta na contaminação do solo e da água, além de impactos negativos na saúde pública e na qualidade de vida. Segundo o Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (2020), o município não possui um Plano Municipal de Saneamento Básico, essencial para a gestão eficiente dos resíduos sólidos, dificultando a implementação de soluções sustentáveis e o cumprimento da PNRS.

Conforme a Figura 2, observa-se a realidade do lixão a céu aberto no município de Tucuruí, evidenciando as condições inadequadas de disposição final de resíduos sólidos, que geram impactos ambientais significativos, como a contaminação do solo, do ar e da água, além de riscos à saúde pública.

Figura 2 – Lixão a céu aberto do município de Tucuruí-PA



Fonte: Hugles (2021)

Diante desse cenário, é fundamental que o município de Tucuruí desenvolva e implemente políticas públicas voltadas para a gestão integrada de resíduos sólidos, priorizando a eliminação dos lixões, a implantação de aterros sanitários adequados e a

promoção de programas de reciclagem e educação ambiental. Essas ações são essenciais para minimizar os impactos ambientais e promover a saúde e o bem-estar da população.

2.4 INCLUSÃO SOCIAL DOS CATADORES DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

No último Censo Demográfico, feito em 2024 pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, dos 5.557 municípios que tinham o serviço de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos, 4.093 (73,7%) indicaram presença de catadores informais. Já as entidades de catadores que atuavam na coleta seletiva estavam presentes em 1.498 (27%) municípios. No Norte, 72,6% dos municípios contaram com catadores informais e 16,7% tinham entidades de catadores atuando na coleta seletiva (Campos, 2024).

A elaboração de instrumentos legais pautados nas normas de saúde, segurança e cidadania surgiu como resposta às condições precárias de trabalho enfrentadas pelos catadores, com o objetivo de assegurar-lhes direitos trabalhistas (Baldim; Perez; Chamon; Freitas; Guedes; Camarini, 2020). Conforme a figura 3, a situação dos moradores no município de Tucuruí-PA que dependem da coleta de resíduos é extremamente precária, sem saneamento básico, sem uma boa qualidade do ar e do solo, o que prejudica na saúde dos mesmos.

Figura 3 – Moradia dos catadores de materiais recicláveis



Fonte: Hugles (2021)

Embora exista um conjunto de leis voltado para reduzir a vulnerabilidade socioeconômica dos catadores, esses trabalhadores ainda atuam em condições precárias e de informalidade. Mesmo cooperativas e associações encontram dificuldades em assegurar condições adequadas que promovam melhorias significativas na qualidade de vida desses profissionais (Agostini; Busato, 2022; Baldim; Perez; Chamon; Freitas; Guedes; Camarini, 2020; Figueiredo; Silveira; Silva, 2020; Sant’ana; Metello, 2016).

Portanto, a Lei nº 12.305/2010 enfatiza a inclusão dos catadores ao propor um conjunto de ações voltadas para a melhoria de suas condições materiais, por meio da geração de emprego e renda, acesso a serviços públicos, como direitos trabalhistas, previdenciários, educação, saúde, habitação, justiça e cultura, promovendo sua autonomia, independência, reestruturação familiar e participação social (Oliveira; Oliveira, 2016).

2.5 DISPOSIÇÃO FINAL DOS RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS

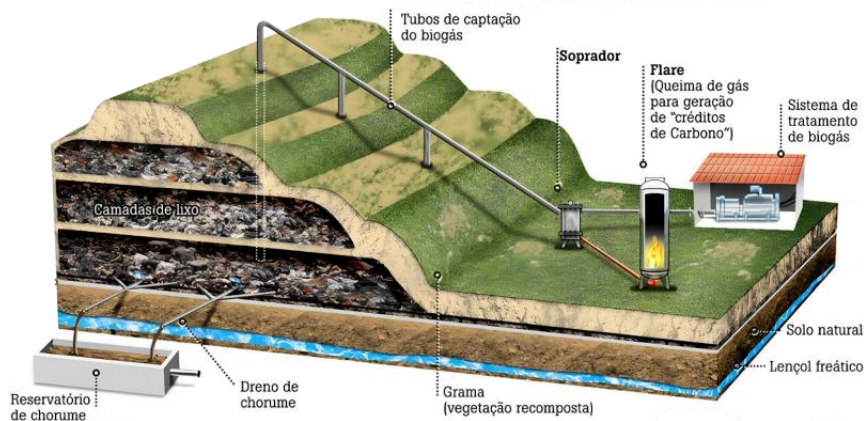
A disposição final de rejeitos ecologicamente correta aplica-se apenas a resíduos que não podem ser reutilizados ou reciclados, devendo ser destinados a aterros sanitários. Segundo a PNRS (Lei nº 12.305/2010, Art. 3º, Inciso VI), a destinação final ambientalmente adequada abrange reutilização, reciclagem, compostagem, recuperação energética e outras práticas autorizadas, sempre seguindo normas específicas para evitar danos à saúde e ao meio ambiente.

A PNRS determina que, após esgotadas as possibilidades de reutilização, reciclagem e tratamento dos RSU, os resíduos restantes, chamados de rejeitos, devem ser encaminhados para disposição final ambientalmente adequada. Essa disposição final deve considerar diversos critérios técnicos de modo a evitar danos ou riscos à saúde pública e à segurança, assim como minimizar impactos ambientais adversos.

A instalação que se enquadra nessa definição de disposição final é o aterro sanitário, segundo a Norma de Referência nº 7/2024 da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico – ANA, deve apresentar uma base impermeabilizada e sistemas de drenagem de lixiviado, gases e águas pluviais, além de outras exigências operacionais. Lixões, aterros controlados, valas, vazadouros e unidades similares, incluindo enterramento de pequenas quantidades de RSU na propriedade de geração, não possuem essas estruturas de proteção e são consideradas ambientalmente inadequadas para a disposição final de resíduos.

Conforme a Figura 4, observa-se uma representação esquemática de um aterro sanitário, destacando os principais elementos necessários para a disposição ambientalmente adequada de resíduos sólidos, conforme as diretrizes legais e normativas.

Figura 4 – Infográfico de modelo de Aterro Sanitário



Fonte: Vertown (2024)

Mesmo com o decreto da PNRS de erradicar os lixões até o ano de 2014 e depois estendido até 2021, o município de Tucuruí ainda faz a utilização desse meio de disposição de resíduos, trazendo assim vários malefícios ao meio ambiente e as pessoas que residem no entorno do local. O lixo contribui para a poluição visual, do solo, da água, e do ar. Atinge o ser humano com doenças transmitidas por pragas, insetos ou animais que se alimentam do lixo (Ribeiro; Henriques, 2015).

Sua implantação foi adiada por medidas provisórias, como a MP nº 651/2014, convertida na Lei nº 13.183/2015, e as MPs nº 844/2018 e nº 868/2018. Esses documentos refletem dificuldades estruturais enfrentadas pelos municípios, mas a destinação final deve seguir normas específicas para evitar danos ambientais e sociais.

2.6 LEVANTAMENTO DE DADOS

A metodologia utilizada no estudo de Cavalcante e Leite (2016) baseia-se na aplicação da Matriz de Leopold modificada como ferramenta de avaliação dos impactos ambientais no processo de fabricação de botijões de gás. A pesquisa seguiu um conjunto de etapas que incluíram o levantamento dos aspectos e impactos ambientais, a classificação dos impactos por meio da construção de planilhas específicas, a quantificação dos impactos através da matriz, a identificação de pontos prioritários para a mitigação dos impactos e a quantificação da geração de resíduos sólidos. A metodologia permitiu uma avaliação detalhada dos impactos ambientais, levando em consideração fatores como severidade, frequência e criticidade das interações entre as atividades produtivas e o meio ambiente.

Ainda de acordo com Cavalcante e Leite (2016) a matriz aplicada no estudo relacionou 27 componentes ambientais a 48 ações potencialmente impactantes, resultando em 1.296 interações analisadas. Os impactos foram classificados de acordo com critérios de severidade (alta, média ou baixa) e frequência/probabilidade de ocorrência. Os dados obtidos indicaram que os impactos mais críticos estavam associados à contaminação do solo e da água devido à geração de resíduos perigosos, especialmente nas etapas de pintura e desengraxe. A metodologia demonstrou ser uma ferramenta eficaz para auxiliar gestores na identificação dos impactos ambientais mais significativos e na formulação de estratégias de mitigação, contribuindo para um gerenciamento ambiental mais eficiente na indústria de botijões.

A aplicação da Matriz de Leopold como ferramenta para avaliação de impactos ambientais tem sido amplamente utilizada em diferentes contextos. Por exemplo, um estudo realizado em uma indústria plástica demonstrou a eficácia da metodologia na identificação e hierarquização dos impactos ambientais associados ao processo produtivo, permitindo uma análise estruturada dos aspectos mais críticos (Silva; Moraes, 2012)

Da mesma forma, a utilização da matriz na avaliação dos impactos ambientais de uma Estação de Tratamento de Efluentes – ETE reforçou sua aplicabilidade na identificação qualitativa dos impactos e na proposição de medidas mitigadoras (Ribas; Barros; Sá; Fernandes, 2018). Esses estudos corroboram a escolha da Matriz de Leopold como metodologia apropriada para a avaliação dos impactos ambientais decorrentes da gestão inadequada de resíduos sólidos.

A avaliação de impacto ambiental realizada neste estudo seguiu uma abordagem estruturada para a identificação e análise dos impactos ambientais. Inicialmente, os impactos potenciais foram identificados com base em uma revisão da literatura sobre impactos ambientais associados à gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos. Essa etapa permitiu mapear os principais efeitos ambientais documentados em estudos anteriores.

Em seguida, foram relacionados os aspectos ambientais específicos do lixão de Tucuruí, associando cada impacto identificado a um fator ambiental afetado, como solo, água, ar e saúde pública. Para isso, foi utilizada a Matriz de Leopold, ferramenta amplamente reconhecida na avaliação de impactos ambientais, que possibilita uma análise sistemática das interações entre as atividades humanas e o meio ambiente.

Essa metodologia permitiu não apenas a identificação dos impactos, mas também sua classificação e hierarquização, garantindo uma avaliação mais precisa dos danos ambientais e subsidiando propostas de mitigação e gestão sustentável dos resíduos sólidos.

As informações necessárias para a caracterização do lixão municipal de Tucuruí-PA, utilizadas na elaboração da matriz, estão detalhadas na Tabela 1. Para as avaliações específicas dos impactos, são adotados os critérios de severidade, que avaliam a gravidade do impacto ambiental, e de frequência, que determina a periodicidade com que o impacto ocorre, conforme ilustrado na Tabela 2.

Tabela 1 – Dados identificadores

Identificação	Itens
Componentes	Aspecto ambiental: Elementos, atividades ou produtos que podem interagir com o meio ambiente
	Impacto ambiental: Elementos, atividades ou produtos que podem interagir com o meio ambiente
Situação do aspecto	Normal (N): Aspecto é decorrente da atividade normal Anormal (A): Quando o aspecto ocorreu em decorrência da realização de atividades de manutenção
	Emergencial (E): Aspecto que ocorre em situações não planejadas
Destinação final	Atmosfera (ATM): Emissão atmosférica sem controle.

Fonte: Adaptado de Cavalcante e Leite (2016)

Tabela 2 – Dados de avaliação do impacto ambiental identificado

Identificação	Itens
Severidade do impacto	Severidade baixa (B) – Abrangência local com potencial de magnitude desprezível. Severidade média (M) – Abrangência regional, capaz de alterar a qualidade ambiental. Severidade alta (A) – Abrangência global com potencial de grande magnitude.
Frequência/Probabilidade do impacto	Frequência/Probabilidade baixa (B): Ocorre raramente Frequência/Probabilidade média (M): Ocorre mais de uma vez por mês Frequência/Probabilidade alta (A): Ocorre diariamente.

Fonte: Adaptado de Cavalcante e Leite (2016)

A classificação do impacto ambiental é determinada pelo cruzamento dos critérios de análise de severidade e frequência/probabilidade, que fornece a categoria final do aspecto ambiental em análise. Os fatores ambientais avaliados incluem solo, água e ar. Para atender aos objetivos deste estudo, foi realizada uma adaptação na matriz original, alterando a pontuação do grau de importância, que passou de uma variação de 1 a 10 para um intervalo de 1 a 5, acompanhados de sinais positivos ou negativos para indicar os efeitos benéficos ou prejudiciais. Para facilitar a interpretação dos dados obtidos, essas pontuações também estão detalhadas nas tabelas 3 e 4, destacando a relevância de cada impacto.

Tabela 3 – Classificação do impacto ambiental

Impacto	Alta	Média	Baixa
Alta	Alta significância	Média significância	Baixa significância
Média	Alta significância	Média significância	Baixa significância
Baixa	Alta significância	Média significância	Baixa significância

Fonte: Adaptado de Cavalcante e Leite (2016)

Tabela 4 – Importância do impacto ambiental

Índice	Grau
1	Baixo impacto
2	Médio baixo impacto
3	Médio impacto
4	Médio alto impacto
5	Alto impacto

Fonte: Adaptado de Cavalcante e Leite (2016)

Em conclusão, com a interpretação dos dados buscou identificar os principais problemas associados ao manejo inadequado de resíduos e propor intervenções que minimizem os impactos negativos, como a implantação de um aterro sanitário e programas de educação ambiental. Os resultados foram organizados e discutidos de maneira a oferecer subsídios para gestores públicos e outros stakeholders, com vistas a promover uma gestão mais eficiente e sustentável dos resíduos sólidos no município de Tucuruí.

O levantamento de dados desta pesquisa foi cuidadosamente planejado e executado para garantir a máxima precisão, confiabilidade e representatividade das informações obtidas. Para isso, foram empregadas metodologias científicas amplamente reconhecidas, combinadas a diretrizes específicas de pesquisa aplicada, assegurando que os procedimentos adotados fossem compatíveis com o contexto investigado e capazes de fornecer resultados relevantes e embasados.

2.6.1 CONDIÇÕES DE ADAPTAÇÃO DA PESQUISA

A adaptação da pesquisa foi realizada considerando as particularidades do ambiente e do contexto investigado. Para isso, foram analisadas as variáveis que poderiam influenciar os dados coletados, como condições climáticas, operacionais e logísticas. Além disso, os instrumentos de coleta foram ajustados para melhor se adequar à realidade local, garantindo maior precisão e confiabilidade nas informações obtidas.

2.6.2 CÁLCULOS PARA OBTENÇÃO DOS RESULTADOS

Severidade: Foi adotada uma escala padronizada que permite quantificar o impacto de cada ocorrência analisada. Essa escala foi baseada em parâmetros estabelecidos na literatura técnica e adaptada ao contexto da pesquisa para melhor representar os riscos identificados.

Frequência: A frequência dos eventos foi determinada a partir da análise estatística dos dados coletados, utilizando métodos como média aritmética e distribuição de probabilidade. Isso permitiu identificar padrões de recorrência e estabelecer previsões com base nos dados históricos.

Classificação: A classificação final foi definida a partir da matriz de risco, cruzando os valores de severidade e frequência. Esse método possibilitou a categorização dos riscos em diferentes níveis, auxiliando na priorização de medidas corretivas e preventivas.

Dessa forma, ao estruturar o levantamento de dados com base em métodos robustos e validados, esta pesquisa não apenas assegura a confiabilidade dos resultados obtidos, mas também fornece uma base sólida para análises futuras e para a implementação de ações fundamentadas, contribuindo para avanços significativos na área estudada.

2.7 UTILIZAÇÃO DA MATRIZ DE LEOPOLD

Conforme apontado por Sánchez (2013), a Matriz de Leopold destaca-se como uma das ferramentas pioneiras no formato de matriz desenvolvidas para a análise de impactos ambientais. Ela é composta pelo cruzamento de 88 fatores ambientais com 100 atividades

humanas potencialmente capazes de alterar o meio ambiente, resultando em um total de 8.800 interações ou “quadrículas”. Cada uma dessas quadrículas permite a atribuição de valores numéricos entre 1 e 10, os quais indicam, respectivamente, a magnitude e a importância do impacto avaliado.

O valor 1 representa a menor magnitude (isto é, alteração ambiental mais reduzida) e a menor importância (significância mínima da ação sobre o fator ambiental considerado). Por outro lado, o valor 10 corresponde às condições de maior magnitude e importância. Adicionalmente, utiliza-se o sinal (+) ou (-) para indicar se o impacto analisado é, respectivamente, positivo ou negativo. Contudo, como em diversas metodologias de avaliação ambiental, há um risco inerente de subjetividade durante sua aplicação.

Conforme a Figura 5, a Matriz de Leopold apresenta sua estrutura baseada no cruzamento de fatores ambientais e atividades humanas, permitindo a avaliação detalhada da magnitude e importância dos impactos, com a atribuição de valores que indicam sua relevância e direção (positiva ou negativa).

Figura 5 – Estrutura da Matriz de Leopold

ASPECTOS AMBIENTAIS	IMPACTOS AMBIENTAIS											
	MEIO FÍSICO					MEIO ANTRÓPICO						
											Médias	Índice total
Médias												
Índice total												



Fonte: Pereira (2018)

De acordo com Leopold (1971), os impactos apresentam dois atributos principais: magnitude (grandeza em escala espaço temporal da interação das ações) e importância (intensidade do efeito na área de influência do empreendimento ou fora dele, correspondente ao fator ambiental). “Magnitude é a medida extensiva, grau ou escala de impacto. Importância refere-se à significância da causa sobre o efeito.” (Richieri, 2006).

O princípio básico da Matriz de Leopold consiste em, primeiramente, assinalar todas as possíveis interações entre as ações e os fatores, para em seguida ponderar a magnitude e a importância de cada impacto. Enquanto a valoração da magnitude é relativamente objetiva ou normativa, pois se refere ao grau de alteração provocado pela ação sobre o fato ambiental, a pontuação da importância é subjetiva ou empírica, uma vez que envolve atribuição de peso relativo ao fator afetado no âmbito do projeto (Costa; Chaves; Oliveira, 2005).

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o mapeamento das atividades relacionadas à operação do lixão e a análise detalhada de cada etapa desse processo, foi possível identificar os principais aspectos e impactos ambientais envolvidos. Essas informações servirão como base para a elaboração da matriz, permitindo uma avaliação mais precisa dos efeitos causados pela disposição inadequada de resíduos. Conforme a tabela 5, a relação entre as atividades do lixão e seus impactos ambientais é apresentada de forma estruturada, facilitando a visualização dos efeitos negativos e subsidiando a elaboração da matriz.

Tabela 5 – Quadro geral dos aspectos e impactos levantados na atividade de lixão.

Atividade do Processo	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental
Recebimento e disposição de resíduos	Acúmulo de resíduos sólidos	Contaminação do solo
Formação de chorume	Geração de resíduos líquidos poluentes	Contaminação da água
Falta de controle de resíduos	Escoamento	Escoamento Superficial e Assoreamento
Emissão de gases provenientes da decomposição	Produção de metano (CH ₄) e dióxido de carbono (CO ₂)	Emissões de gases de efeito estufa
Recebimento e queima de resíduos	Poluição atmosférica	Qualidade do ar
Disposição inadequada e compactação de solo	Alteração da estrutura e perda de solo	Erosão
Acúmulo de resíduos orgânicos	Proliferação de ratos, moscas e outros vetores	Atração de animais sinantrópicos
Presença do lixão	Poluição visual e mau odor	Impactos à saúde humana
Presença do lixão	Alteração do ambiente local	Degradação da qualidade de vida
Trabalho informal relacionado a resíduos	Reaproveitamento de recicláveis	Geração de empregos (informais)
Triagem manual de resíduos	Recuperação de materiais recicláveis	Reciclagem indireta

Fonte: Adaptado de Cavalcante e Leite (2016)

A tabela 5 evidencia os principais impactos ambientais causados pela disposição inadequada de resíduos sólidos no lixão. As atividades representam as etapas do processo de disposição de resíduos. Os aspectos ambientais indicam os elementos naturais afetados, enquanto os impactos mostram as consequências dessas interações, classificadas segundo sua severidade e frequência.

Conforme a NBR ISO 14001 (2015), os aspectos ambientais são elementos das atividades, produtos ou serviços de uma organização que interagem ou podem interagir com o meio ambiente. Um aspecto ambiental é considerado significativo quando tem potencial para gerar impactos ambientais relevantes. Assim, os quadros mencionados associam cada tipo de atividade aos seus respectivos aspectos e impactos, tanto positivos quanto negativos. Dessa maneira, torna-se viável sugerir medidas de aprimoramento para resolver os desafios relacionados à operação de lixões a céu aberto.

A Resolução do Conama 001/86 define impacto ambiental como “qualquer alteração das propriedades físicas, químicas e biológicas do meio ambiente, causada por qualquer forma de matéria ou energia resultante das atividades humanas que, direta ou indiretamente, afetam: a saúde, a segurança e o bem-estar da população; as atividades sociais e econômicas; a biota; as condições estéticas e sanitárias do meio ambiente; a qualidade dos recursos ambientais”. Dessa maneira podemos dizer que impacto ambiental é a modificação na estrutura e/ou na composição do ambiente, decorrente de atividades humanas. O impacto pode ser positivo, quando beneficia de alguma forma componentes do ambiente ou negativo.

Essa organização facilita a análise dos problemas ambientais causados pelo lixão, permitindo identificar os principais pontos críticos e suas causas. A disposição dos dados também possibilita a formulação de estratégias de mitigação e controle, direcionando ações para minimizar os danos ambientais e sociais. Dessa forma, a tabela serve como base para avaliar a necessidade de mudanças na gestão de resíduos e incentivar soluções mais sustentáveis, como a implementação de aterros sanitários e programas de reciclagem.

Com o objetivo de facilitar o entendimento e garantir uma rápida assimilação das informações, a matriz será apresentada de forma segmentada. Essa abordagem permitirá uma análise mais clara e objetiva dos dados, destacando cada etapa do preenchimento de acordo com as percepções levantadas durante o estudo. Na Figura 6 apresentada a seguir, é exibido o formato da matriz, que reflete a inter-relação entre os componentes ambientais analisados e as ações potencialmente impactantes.

Figura 6 – Detalhes da avaliação de impactos ambientais.

MATRIZ DE LEOPOLD - AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS																
Operação de lixão a céu aberto	Componentes		Situação			Destinação Final	Impacto Ambiental									
	Atividades do processo	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	N	A		E	Severidade			Frequência			Classificação		
								A	M	B	A	M	B	A	M	B
Recebimento e disposição de resíduos	Acúmulo de resíduos sólidos	Contaminação do solo	N			ATM	X			X			X			
Formação de chorume	Geração de resíduos líquidos poluentes	Contaminação da água	N			ATM		X			X		X			
Falta de controle de resíduos	Escoamento	Escoamento e Assoreamento	N			ATM		X			X			X		
Gases provenientes da decomposição	Produção de metano (CH4) e dióxido de carbono (CO2)	Emissões de gases de efeito estufa	N			ATM	X			X			X			
Recebimento e queima de resíduos	Poluição atmosférica	Qualidade do ar	N			ATM		X		X				X		
Disposição inadequada e compactação de solo	Alteração da estrutura e perda de solo	Erosão	N			ATM		X			X			X		
Deposição de resíduos em áreas vegetadas	Supressão de vegetação e habitat	Vegetação e biodiversidade	N			ATM		X				X	X			
Acúmulo de resíduos orgânicos	Proliferação de ratos, moscas e outros vetores	Atração de animais sinantrópicos	N			ATM		X		X				X		
Presença do lixão	Poluição visual e mau odor	Impactos à saúde humana	N			ATM	X			X			X			
Presença do lixão	Alteração do ambiente local	Degradação da qualidade de vida	N			ATM		X		X				X		
Trabalho informal relacionado a resíduos	Reaproveitamento de recicláveis	Geração de empregos (informais)	N			ATM			X	X					X	
Triagem manual de resíduos	Recuperação de materiais recicláveis	Reciclagem indireta	N			ATM			X		X				X	

Fonte: Autores (2025)

3.1 CONTAMINAÇÃO DO SOLO

De acordo com a Matriz de Leopold e as informações apresentadas na figura 6, os impactos ambientais relacionados à contaminação do solo são classificados com alta severidade, frequência e classificação, evidenciando a gravidade das alterações causadas por essa degradação ambiental.

Segundo Oliveira (2005) essas práticas resultam em modificações nas características físicas do solo, como sua estrutura, porosidade, densidade e capacidade de infiltração de água, além de impactar seus aspectos químicos, incluindo o pH, os níveis de cálcio (Ca), magnésio (Mg), fósforo (P) disponível e carbono orgânico. Em situações mais críticas, podem levar à degradação do solo, comprometendo sua estabilidade estrutural, reduzindo a matéria orgânica, diminuindo a diversidade e atividade biológica e dificultando a absorção de nutrientes devido ao acúmulo de elementos tóxicos (Barros, 2013).

Dessa forma, a análise e o acompanhamento das variações nos atributos do solo em decorrência da disposição de resíduos sólidos urbanos são essenciais, pois permitem a obtenção de dados que auxiliam na estimativa dos impactos ambientais da atividade, possibilitando a proposição de medidas para minimizá-los (Marques, 2011).

Os resíduos sólidos são descartados diretamente no solo em forma de pilhas, sem compactação ou aterramento e não é realizado controle sobre origem, classificação ou periculosidade. Segundo Araújo (2015) essa prática aumenta os processos erosivos, altera a capacidade de uso da terra com danos ao relevo e vegetação, provocando a redução da biota e, conseqüentemente, ocasiona a poluição do solo.

Para Bendito *et al.* (2017), a contaminação do solo em áreas de destinação sanitariamente incorreta é proveniente dos diversos resíduos despejados nesses locais dentre eles: resíduos domiciliares que geram o chorume no processo de decomposição da matéria

orgânica, os resíduos eletroeletrônicos que apresentam em sua composição metais pesados (chumbo, mercúrio, cádmio e zinco) e dos resíduos de serviço de saúde na geração de vetores e contaminação do lençol freático.

Nesse sentido, Morales (2000) e Tartari (2013) destacam que o solo funciona como um dos principais receptores de metais pesados provenientes dos resíduos, tornando-se um meio de inserção e bioacumulação desses contaminantes ao longo da cadeia alimentar.

3.2 EMISSÕES DE GASES DE EFEITO ESTUFA

Os principais impactos da disposição inadequada de resíduos sólidos na qualidade do ar estão associados à emissão de gases poluentes e material particulado. No caso do lixão a céu aberto no município de Tucuruí, essa problemática se intensifica devido à decomposição descontrolada dos resíduos, contribuindo para a liberação de substâncias nocivas e agravando os efeitos da poluição atmosférica. De acordo com a Matriz de Leopold e as informações apresentadas no Quadro 1, os impactos ambientais relacionados à Emissões de gases de efeito estufa são classificados com alta severidade, frequência e classificação.

A Associação Brasileira de Recuperação Energética de Resíduos – ABREN (2019) aponta que o setor de resíduos contribui com aproximadamente 11% das emissões totais de gases de efeito estufa na atmosfera. Dentre esses gases, o metano (CH₄) se destaca por seu alto potencial de impacto ambiental, sendo até 25 vezes mais prejudicial que o dióxido de carbono (CO₂) em termos de retenção de calor e intensificação do efeito estufa.

Essa característica torna a combustão espontânea do lixo um fenômeno comum em vazadouros a céu aberto, onde a falta de controle acelera a degradação dos resíduos. Importante ressaltar que tanto o metano quanto o dióxido de carbono são gases de efeito estufa poderosos, cujas emissões contribuem para o agravamento do aquecimento global, intensificando o efeito estufa (Sisinno, 2000).

Durante as queimas de resíduos há liberação de agentes físicos e químicos prejudiciais aos fatores presentes no meio ambiente, quanto à saúde pública. A presença de monóxido de carbono (CO), por exemplo, é formada por objetos ou materiais que não tem a combustão correta, devido a quantidade reduzida de oxigênio durante o processo de queima (Strobel; Waldner; Gablinger, 2018).

Segundo Fearnside (2002) os processos de queimas de resíduos sólidos provocam a deterioração dos atributos ambientais, ou seja, diminui os nutrientes do solo, elimina a vegetação e ameaça os componentes da fauna que estão próximos dos focos de queimadas, além de provocar danos à saúde do ser humano, uma vez que a liberação de particulados inaláveis acarretam problemas de saúde

3.3 IMPACTOS À SAÚDE HUMANA

O lixão de Tucuruí representa uma fonte de sobrevivência para muitas famílias e catadores individuais, incluindo homens, mulheres e crianças. Essas pessoas vivem em condições precárias, expostas a riscos diversos devido ao contato direto com os resíduos, além de enfrentarem um alto índice de violência na região. Nesse contexto, os impactos sobre a saúde humana, conforme indicado na figura 6, são classificados com alta severidade, frequência e relevância, evidenciando os riscos graves à saúde e o agravamento das condições de vida nessa área.

A Organização Mundial da Saúde – OMS (2000) alerta que a emissão de poluentes na atmosfera representa um grave risco à saúde humana em nível global, sendo um fator determinante para o desenvolvimento de diversas doenças respiratórias, tanto agudas quanto crônicas. Segundo a organização, estima-se que entre 2 e 4 milhões de pessoas morrem

anualmente devido a enfermidades causadas pela poluição do ar. Esses poluentes, ao serem inalados, penetram no sistema respiratório e podem desencadear problemas como bronquite crônica, asma e até câncer pulmonar.

A coleta informal de materiais recicláveis realizada por catadores desempenha um papel fundamental, pois, mesmo que de forma não planejada, esses profissionais contribuem para reintegrar no processo industrial os resíduos que, de outra forma, seriam descartados em aterros ou lixões. No entanto, as condições ambientais dos aterros representam um problema grave do ponto de vista social, especialmente pela exposição constante de homens, mulheres e crianças a situações de risco extremo, colocando em perigo sua saúde e segurança.

É importante destacar que o metano, gás gerado pela decomposição de resíduos sólidos, é reconhecido como um poluente prejudicial à saúde humana, podendo causar, em alguns casos, câncer, náuseas, sonolência, além de irritação nas narinas e olhos (Kastrup; Bernadi; Günther, 2005). Ademais, a disposição inadequada desses resíduos favorece a proliferação de vetores como moscas, baratas e ratos, e contribui para a liberação de gases tóxicos que são inalados pelas pessoas que vivem ou trabalham nas proximidades, agravando os riscos à saúde pública.

Na Figura 7, apresenta-se a Matriz de Leopold aplicada ao estudo, evidenciando a interação entre as atividades do lixão municipal de Tucuruí e os impactos ambientais identificados.

Figura 7 – Matriz de Leopold

MATRIZ DE LEOPOLD - Operação de lixão a céu aberto														
Empresa: Prefeitura Municipal de Tucuruí-PA							Setor: Saneamento e Meio Ambiente							
Elementos Naturais e Humanos														
IMPACTO AMBIENTAL	Características Físicas e Químicas					Condições		Fatores Culturais				Cálculo		
	Terra	Água		Atmosfera		Processo	Flora	Fauna	Interesses Humanos		"Status" Cultural			
	Contaminação do Solo	Contaminação da Água	Escoamento Superficial e Assoreamento	Emissões de Gases de Efeito Estufa	Qualidade do Ar	Erosão	Vegetação e Biodiversidade	Atração de Animais Sinantrópicos	Impactos à Saúde Humana	Degradação da Qualidade de Vida	Geração de Empregos (informais)		Reciclagem Indireta	Totalizador
AÇÕES DE PROJETO	Supressão Vegetal	-3	-2	-3	-3	-4	-3	-4	-3	-3	3	3	-25	
	Alteração da Cobertura do Solo	-5	-4	-3	-3	-4	-3	-3	-3	-4	-4	3	3	-30
	Transporte e Disposição de Resíduos	-3	0	0	-1	-1	-3	-4	-4	0	0	3	5	-8
	Descargas Incontroladas de Chorume	-5	-5	-5	-5	-5	-4	-4	-4	-5	-3	3	3	-39
	Queima de Resíduos a Céu Aberto	-4	-4	-5	-4	-5	-4	-4	-4	-5	-5	3	3	-38
	Ausência de Controle de Vetores	-4	-3	-3	0	-3	0	0	-5	-4	-3	1	1	-23
	Presença de Comunidades em Áreas de Risco	-3	-2	-2	0	0	0	0	0	-3	-3	4	3	-6
	Uso de Máquinas Pesadas	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-3	-3	3	3	-16
Somatório	25	9	9	25	15	9	3	15	25	15	5	1	156	

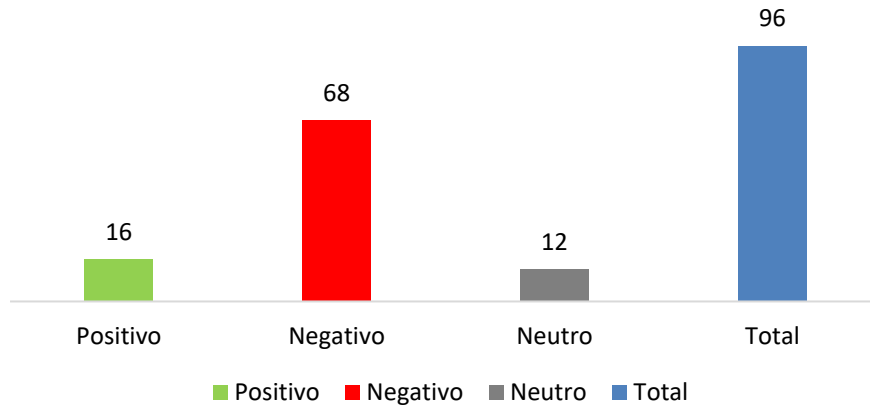
Fonte: Autores (2025)

Conforme observado na figura 7, a matriz elaborada neste estudo foi estruturada de forma criteriosa, considerando o cruzamento de 12 componentes ambientais (colunas), que englobam elementos físicos, biológicos e sociais, com 8 ações potencialmente impactantes (linhas). Esse cruzamento resultou em uma matriz composta por 96 quadrículas, possibilitando uma análise detalhada da interação entre as ações e os aspectos ambientais. A estrutura da matriz permitiu mapear e avaliar de forma sistemática os impactos gerados por cada atividade, proporcionando uma visão abrangente das implicações ambientais do processo. Estudos como o de Jesus *et. al* (2021) reforçam a eficácia da Matriz de Leopold na

análise de impactos ambientais em diferentes setores, evidenciando sua aplicabilidade na tomada de decisão para gestão sustentável dos recursos naturais.

De acordo com o gráfico 1 abaixo, são ilustrados e analisados os impactos positivos, negativos e neutros associados aos diferentes cruzamentos da matriz, permitindo uma compreensão mais ampla das influências e correlações entre os elementos avaliados.

Gráfico 1 – Impactos Ambientais/Ações de Projeto

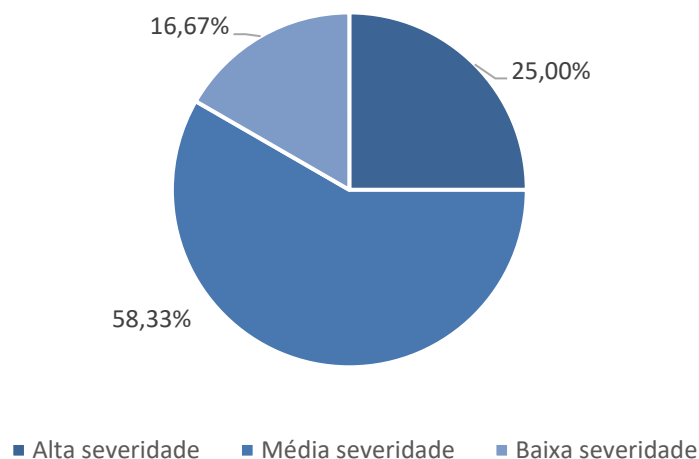


Fonte: Autores (2025)

A operação de lixões a céu aberto está associada a diversos impactos ambientais de diferentes graus de severidade. Estudos como o de (Sousa; Ferreira; Guimarães, 2020) identificaram que a disposição inadequada de resíduos sólidos em depósitos a céu aberto resulta em impactos ambientais significativos, incluindo a contaminação do solo e da água, além de riscos à saúde pública. Foram identificados 68 impactos ambientais associados às atividades analisadas.

A classificação desses impactos, conforme sua severidade, revelou uma distribuição notável: 25% dos impactos foram considerados de alta severidade, indicando potencial para causar danos significativos e irreversíveis ao meio ambiente e à saúde pública; outros 58,33% foram classificados como de média severidade, representando impactos com potencial moderado de degradação ambiental; e 16,67% foram avaliados como de baixa severidade, indicando menor intensidade e abrangência dos efeitos. Essa distribuição, conforme ilustrado no gráfico 2, reflete a relevância de um gerenciamento ambiental rigoroso, especialmente no tratamento de impactos mais críticos.

Gráfico 2 – Grau de severidade dos impactos levantados

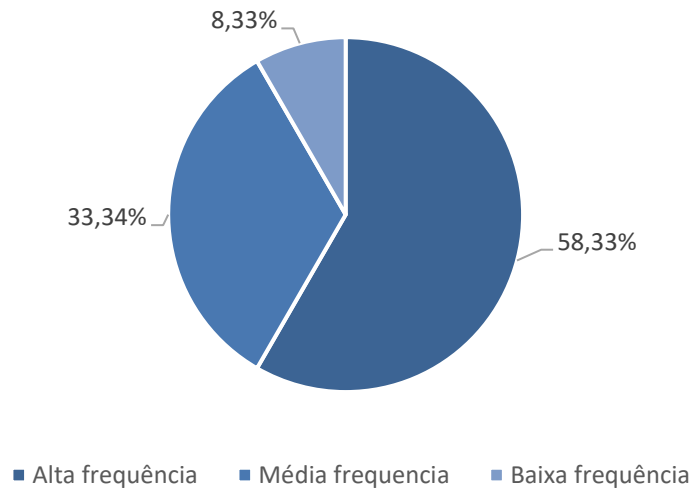


Fonte: Autores (2025)

A análise da frequência dos impactos ambientais é essencial para uma gestão ambiental eficiente, pois possibilita identificar a probabilidade de ocorrência de diferentes impactos e, assim, orientar a priorização de medidas mitigadoras. Estudos como o de (Silva; Moraes; Machado, 2015) utilizaram a Matriz de Leopold para avaliar tanto a frequência quanto a magnitude dos impactos ambientais em projetos de engenharia, evidenciando a relevância dessa ferramenta na identificação das interações entre as ações propostas e os componentes ambientais afetados.

Nesse sentido, foi realizada a classificação do nível de frequência dos impactos ambientais associados às atividades avaliadas. Essa classificação revelou as seguintes probabilidades de ocorrência: 58,33% dos impactos foram categorizados como de alta frequência, indicando uma ocorrência frequente e significativa no processo; 33,34% apresentaram uma frequência média; e 8,33% foram classificados como de baixa frequência, refletindo uma menor probabilidade de manifestação, conforme ilustrado no gráfico 3.

Gráfico 3 – Grau de frequência dos impactos levantados.



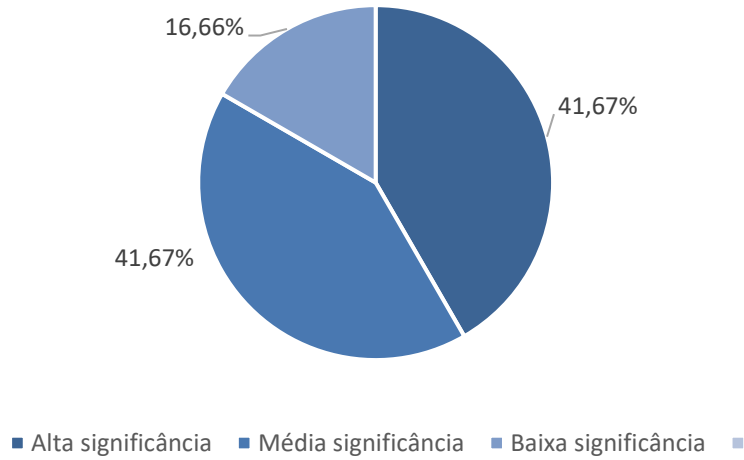
Fonte: Autores (2025)

A classificação da significância dos impactos ambientais foi conduzida com base na interseção dos dados de severidade e Frequência/Probabilidade, conforme descrito na Tabela 2. Além disso, essa classificação é proposta pela NBR ISO 14001, onde especifica os requisitos para que um sistema de gestão ambiental capacite uma organização para desenvolver e implementar políticas e objetivos que levem em consideração requisitos legais e informações sobre aspectos ambientais significativos. Esse método possibilitou uma avaliação mais criteriosa da relevância de cada impacto no contexto das atividades analisadas.

Os resultados obtidos revelaram que 41,67% dos impactos foram categorizados como de alta classificação, destacando-se como os mais críticos e exigindo maior atenção na definição de medidas mitigadoras. Impactos de média classificação também representaram 41,67%, indicando uma importância considerável que requer monitoramento e controle. Por outro lado, 16,66% dos impactos foram considerados de baixa classificação, com efeitos menos pronunciados no ambiente.

Esses dados, apresentados de forma detalhada nas tabelas 3 e 4 fornecem uma base sólida para priorizar ações de gestão ambiental. A identificação de impactos altamente significativos, em especial, direciona o foco para intervenções mais urgentes, enquanto os de média e baixa significância contribuem para um planejamento abrangente e equilibrado. Essa classificação reafirma a importância de adotar uma abordagem estratégica e estruturada para mitigar os danos e promover a sustentabilidade no desenvolvimento das atividades avaliadas.

Gráfico 4 – Grau de classificação dos impactos levantados



Fonte: Autores (2025)

O grau de criticidade foi definido com base em uma metodologia detalhada, conforme apresentado nas tabelas 3 e 4, que atribui uma pontuação específica aos âmbitos físico, biológico e sociocultural. Essa abordagem permitiu uma análise integrada, considerando a amplitude dos impactos ambientais nos diferentes aspectos do sistema avaliado.

Esses valores foram correlacionados com a classificação de significância de cada impacto, já discutida no subtítulo anterior. Após essa etapa, procedeu-se ao somatório das pontuações atribuídas, o que permitiu classificar o grau de criticidade dos impactos de forma hierárquica, partindo do maior somatório, que reflete os impactos mais críticos e significativos. Essa classificação do grau de criticidade proporciona uma visão clara das prioridades para intervenção, auxiliando na definição de estratégias mais efetivas de mitigação e controle.

Quadro 1 – Aspectos e impactos ambientais mostrando o grau de criticidade para cada impacto

MATRIZ DE LEOPOLD - AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS											
Operação de lixo a céu aberto											
Impacto Ambiental	Severidade			Frequência			Classificação			Somatório das atividades potencialmente impactantes	Grau de importância do impacto
	A	M	B	A	M	B	A	M	B		
Contaminação do solo	X			X			X			25	9%
Contaminação da água		X			X		X			9	6%
Escoamento Superficial e Assoreamento		X			X			X		9	4%
Emissões de gases de efeito estufa	X			X			X			25	9%
Qualidade do ar		X		X				X		15	6%
Erosão		X			X			X		9	4%
Vegetação e biodiversidade		X				X	X			3	3%
Atração de animais sinantrópicos		X		X				X		15	6%
Impactos à saúde humana	X			X			X			25	9%
Degradação da qualidade de vida		X		X				X		15	6%
Geração de empregos (informais)			X	X					X	5	3%
Reciclagem indireta			X		X				X	1	2%

Fonte: Autores (2025)

Diante do quadro geral apresentado, é possível identificar que o maior valor de criticidade foi 25, os quais estão associados aos impactos relacionados à contaminação do solo, emissões de gases de efeito estufa e impactos à saúde humana. Esses resultados refletem

a gravidade e a persistência desses impactos no ambiente, especialmente pela predominância de resíduos perigosos gerados durante as atividades analisadas.

Por outro lado, os menores valores registrados foram 1 e 5, correspondentes à geração de empregos informais e reciclagem indireta, respectivamente. Embora esses impactos apresentem menor grau de criticidade, não devem ser ignorados, pois também podem gerar pontos positivos levando em consideração a situação atual do local analisado.

As alterações na matriz original foram fundamentais para uma caracterização mais precisa, como demonstrado por (Braz; Costa; Garcia, 2015). Eles adaptaram a Matriz de Análise Ambiental para Bacias Hidrográficas, focando na identificação de alterações ambientais em vez de apenas avaliar impactos. Essa adaptação mostrou-se eficaz para identificar atividades impactantes e suas consequências no meio ambiente, fornecendo informações mais completas e integradas, resultado também observado no presente estudo.

Com base na análise realizada utilizando a Matriz de Leopold adaptada, foram identificados os três principais impactos ambientais: contaminação do solo, emissões de gases de efeito estufa e impactos à saúde humana. Eles evidenciam a relevância das etapas associadas às atividades mais críticas, como o recebimento e a disposição inadequada de resíduos, a liberação de gases resultantes da decomposição de materiais e a presença prolongada em lixões. Essas etapas não apenas contribuem significativamente para a degradação ambiental, mas também representam riscos diretos e indiretos à qualidade de vida e à sustentabilidade dos recursos naturais.

A gestão inadequada dos resíduos sólidos urbanos tem impactos significativos no meio ambiente e na saúde pública, exigindo a implementação de estratégias eficazes para mitigação desses danos. Segundo Sampaio (2020), a ineficiência na coleta, tratamento e destinação final dos resíduos compromete a qualidade do solo, da água e do ar, além de potencializar problemas socioeconômicos, como o crescimento de áreas irregulares para descarte de lixo.

Diante desse cenário, medidas mitigadoras tornam-se essenciais para minimizar os impactos negativos dos resíduos sólidos urbanos. Estudos apontam que a implantação de sistemas de reciclagem e reaproveitamento de materiais, bem como a adoção da compostagem para resíduos orgânicos, são estratégias fundamentais para reduzir a quantidade de resíduos destinados aos aterros sanitários (Zago; Barros, 2019; Sampaio, 2020). Além disso, a implementação de coleta seletiva eficiente e educação ambiental para a população são aspectos-chave para fortalecer a gestão sustentável dos resíduos (Vieira; Gallardo; Aguiar; Gaudereto, 2019).

Outro aspecto fundamental é a transição dos lixões para aterros sanitários licenciados, conforme determina a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010). O monitoramento ambiental dessas áreas, por meio da captação e tratamento de chorume e biogás, pode minimizar os impactos negativos ao meio ambiente (Zago; Barros, 2019).

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este estudo investigou os impactos ambientais associados ao descarte inadequado de resíduos sólidos no lixão municipal de Tucuruí-PA, utilizando a Matriz de Leopold como ferramenta analítica para avaliação qualitativa e quantitativa. A pesquisa evidenciou que os principais impactos ambientais estão relacionados à contaminação do solo, emissões de gases de efeito estufa e riscos significativos à saúde humana, resultados que refletem a severidade e persistência das condições ambientais decorrentes de práticas inadequadas de gestão de resíduos.

A análise revelou que a ausência de um sistema de gestão eficiente, como a implementação de aterros sanitários e práticas de reciclagem e compostagem, acentua a degradação ambiental e compromete a saúde pública local. Adicionalmente, identificou-se

que as legislações existentes, como a Política Nacional de Resíduos Sólidos (Lei nº 12.305/2010), embora estabeleçam diretrizes robustas para o manejo ambientalmente adequado, enfrentam grandes desafios para sua implementação prática, devido à falta de infraestrutura, recursos financeiros e políticas públicas efetivas na microrregião de Tucuruí.

A aplicação da Matriz de Leopold neste estudo destacou-se como uma ferramenta metodologicamente robusta para identificar e hierarquizar os impactos ambientais. Esse método permitiu não apenas compreender a magnitude e importância dos impactos, mas também oferecer subsídios para a formulação de estratégias de mitigação e controle. Os resultados demonstraram que 41,67% dos impactos levantados possuem alta severidade e alta frequência, evidenciando a urgência de intervenções planejadas e direcionadas.

Por fim, este trabalho reforça a necessidade de políticas públicas integradas e intersetoriais que promovam a eliminação dos lixões, a implantação de aterros sanitários tecnicamente adequados, e a educação ambiental como instrumentos para minimizar os impactos negativos e maximizar os benefícios socioambientais. Os resultados apresentados configuram-se como um alerta e uma base sólida para gestores públicos, pesquisadores e outros órgãos na busca por soluções sustentáveis para a gestão de resíduos sólidos. A relevância deste estudo transcende o contexto local, uma vez que as problemáticas levantadas são representativas dos desafios enfrentados por diversas regiões do Brasil, tornando-o uma importante contribuição para o avanço do debate sobre sustentabilidade ambiental e saúde públicas.

REFERÊNCIAS

AGOSTINI, Josieli; BUSATO, Maria Assunta. Collection and separation of recyclable materials: potential and limitations of collector associations. **Research, Society and Development**, São Paulo, [S. l.], v. 11, n. 2, p. e1711225260, jan. 2022.

ANA. Resolução nº 187, de 19 de março de 2024. Aprova a Norma de Referência nº 7/2024. Estabelece diretrizes para a prestação dos serviços públicos de limpeza urbana e manejo de resíduos sólidos urbanos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 7 de dez. 2022.

ARAÚJO, Tiago Batista de. **AVALIAÇÃO DE IMPACTOS AMBIENTAIS EM UM LIXÃO INATIVO NO MUNICÍPIO DE ITAPORANGA-PB**. 2015. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Estadual da Paraíba, Campina Grande, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE EMPRESAS DE LIMPEZA PÚBLICA E RESÍDUOS ESPECIAIS. **Plano Nacional de Resíduos Sólidos**. Brasília, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 13896**: resíduos sólidos – coleta seletiva – procedimento. Rio de Janeiro, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8419**: apresentação de projetos de aterros sanitários de resíduos sólidos urbanos. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISSO 14001**: sistemas de gestão ambiental – requisitos com orientações para uso. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RECUPERAÇÃO ENERGÉTICA DE RESÍDUOS. **Recuperação energética de resíduos**. Brasília, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE RESÍDUOS E MEIO AMBIENTE. **Panorama dos resíduos sólidos no Brasil 2024**. São Paulo, 2024.

BALDIM, Márcia Letícia Loureiro Salomão; PEREZ, Francisco Javier Fiz; CHAMON, Edna Maria Querido de Oliveira; FREITAS, Márcia Regina de; GUEDES, Luiz Carlos Vieira; CAMARINI, Gladis. Catadores de materiais recicláveis: uma análise sobre a conquista de seus direitos e contribuições para o desenvolvimento sustentável. **Revista Humanidades e Inovação**, [S. l.], v. 7, n. 17, nov. 2020.

BARROS, Mário Ubirajara Gonçalves. **PROSPECÇÃO DE CYLINDROSPERMOPSIS RACIBORSKII EM RESERVATÓRIOS NO CEARÁ E EFEITOS DA DEPLEÇÃO DE NUTRIENTES NA SUA CONCENTRAÇÃO CELULAR**. 2013, Dissertação (Engenharia Civil) – Centro de Tecnologia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2013.

BENDITO, Bianca Pietsch Cunha; SOUZA, Patrícia Aparecida de; PICANÇO, Aurélio Pessoa; SILVA, Rubens Ribeiro da; SIEBENEICHLER, Susana Cristine. Diagnóstico da degradação ambiental na área de depósito inadequado de resíduos sólidos de Porto Nacional – TO. **Gaia Scientia**, [S. l.], v. 11, n. 3, jul. 2017.

BESEN, Gina Rizpah. **COLETA SELETIVA COM INCLUSÃO DE CATADORES: construção participativa de indicadores e índices de sustentabilidade**. 2011. Tese (Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2011.

BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos e altera a Lei nº 9.605 de 12 de fevereiro de 1998. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 02 de ago. 2010.

BRASIL. Lei nº 13.183, de 4 de novembro de 2015. Altera a Lei nº 8.213, de 24 de julho de 1991, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 04 de nov. 2015.

BRASIL. Lei nº 6.938, de 31 de agosto de 1981. Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 31 de ago. 1981.

BRASIL. Lei nº 8.666, de 21 de junho de 1993. Regulamenta o art. 37, inciso XXI, da Constituição Federal, institui normas para licitações e contratos da Administração Pública e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 21 de jun. 1993.

BRASIL. Lei nº 9.795, de 27 de abril de 1999. Dispõe sobre a educação ambiental, institui a Política Nacional de Educação Ambiental e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 27 de abril 1999.

BRASIL. Medida Provisória nº 651, de 9 de julho de 2014. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 9 jul. 2014.

BRASIL. Medida Provisória nº 844, de 6 de julho de 2018. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 06 jul. 2018.

BRASIL. Medida Provisória nº 868, de 27 de dezembro de 2018. **Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil**, Poder Executivo, Brasília, DF, 27 dez. 2018.

BRAZ, Adalto Moreira; COSTA, Karen Cristina Pereira; GARCIA, Patricia Helena Mirandola. O uso da Matriz Ambiental como Ferramenta de Análise de Alterações Ambientais em Trabalhos de Campo: Um estudo de caso na Bacia Hidrográfica do Rio Carro Queimado – MS. **Revista Conexão Eletrônica**, Três Lagoas, v. 12, n. 1, p. 1- 12, 2015.

CAMPOS, Ana Cristina. IBGE: 60,5% dos municípios têm coleta seletiva. **Agência Brasil**, Rio de Janeiro, RJ, 28 nov. 2024. Disponível em: <https://agenciabrasil.ebc.com.br/geral/noticia/2024-11/ibge-605-dos-municipios-tem-coleta-seletiva>. Acesso em: 16 fev. 2025.

CAVALCANTE, Leonardo Gondim; LEITE, Adriana de Oliveira Sousa. Aplicação da Matriz de Leopold como ferramenta de avaliação dos aspectos e impactos ambientais em uma fábrica de botijões. **Revista Tecnologia**, Fortaleza, v. 37, n. 1/2, p. 111- 124, set. 2016.

COMO funciona o aterro sanitário. *In*: VERTOWN: gestão de resíduos. 2024. Disponível em: <https://www.vertown.com/blog/como-funciona-o-aterro-sanitario/>. Acesso em: 17 fev. 2025.

CONAMA. Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 23 de jan. 1986.

CONAMA. Resolução nº 308, de 21 de março de 2002. Dispõe sobre o Licenciamento Ambiental de sistemas de disposição final dos resíduos sólidos urbanos gerados em municípios de pequeno porte. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 21 de mar. 2002.

CONAMA. Resolução nº 357, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 17 de mar. 2005.

CONAMA. Resolução nº 404, de 11 de novembro de 2008. Estabelece critérios e diretrizes para o licenciamento ambiental de aterro sanitário de pequeno porte de resíduos sólidos urbanos. **Diário Oficial da União**. Brasília, DF, 11 de nov. 2008.

COSTA, Marcos Vasconcelos; CHAVES, Paulo Sérgio Viana; OLIVEIRA, Francisco Correia de. Uso das Técnicas de Avaliação de Impacto Ambiental em Estudos Realizados no Ceará. *In*: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIAS DA COMUNICAÇÃO, 28., 2005, Rio de Janeiro, RJ. **Anais [...]**. Rio de Janeiro, RJ: [s. n], 2005. p. 1-15.

FEARNSIDE, Philip Martin. Fogo e emissão de gases de efeito estufa dos ecossistemas florestais da Amazônia brasileira. **Estudos Avançados**, [S. l], v. 16, n. 44, p. 99-123, abril. 2002.

FIGUEIREDO, Fábio Fonseca; SILVEIRA, Raquel Maria da Costa; SILVA, Paula Vivian Oliveira da. A produção acadêmica sobre a inclusão sócio-produtiva de catadores de recicláveis no Brasil. **GEOgraphia**, Rio de Janeiro, v. 22, n. 48, p. 247-259, set. 2020.

HUGLES, Wellington. Levantamento técnico na área do lixão de Tucuruí visa a implantação do aterro sanitário e usina de reciclagem. **Jornal de Tucuruí e Região**, Tucuruí, PA, 29 abril 2021.

IBGE. Estatísticas territoriais do município de Tucuruí-PA. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/tucuru.html>. Acesso em: 30 jan. 2025.

JESUS, Mariana Silva de; SILVA, Marinoé Gonzaga da; TAVARES, Mayara dos Santos; SILVA, Luana Glesiane Oliveira da Costa; SANTOS, Renata Emília Melo dos; BRANDÃO, Telma Melo; COSTA, Ingrid Maria Novais Barros de Carvalho; AMORIM, Emanuele Oliveira Cerqueira. Métodos de avaliação de impactos ambientais: uma revisão bibliográfica. **Brazilian Journal of Development**, Curitiba, v. 7, n. 4, p. 38039-38070, abril 2021.

KASTRUP, Luiz Felipe de Camargo; BERNADI JÚNIOR, Paulo; GÜNTHER, Wanda Maria Risso. Geração de Energia através de Gás Metano de Aterros Sanitários. *In: II Conferência Regional sobre Mudanças Globais: América do Sul, 2., 2005, Buenos Aires. Anais [...].* Buenos Aires: Arte y Letras, 2005.

LEOPOLD, Luna Bergere; CLARKE, Frank Eldridge; HANSHAW, Bruce B.; BALSLEY, James R. **A procedure for evaluating environmental impact**. Washington, 1971.

MARQUES, Rosângela Francisca de Paula Vitor. **IMPACTOS AMBIENTAIS DA DISPOSIÇÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS NO SOLO E NA ÁGUA SUPERFICIAL EM TRÊS MUNICÍPIOS DE MINAS GERAIS**. 2011, Dissertação (Recursos Hídricos em Sistemas Agrícolas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Lavras, 2011.

MORALES, Gundisalvo Piratoba; FENZL, Nobert. Environmental impact for of the deposit of solid waste of the “Auré” Belém-PA. *In: International Geological Congress, 31., 2000, Rio de Janeiro. Anais [...].* Rio de Janeiro: 2000.

OLIVEIRA, Cauê Nascimento. **RECUPERAÇÃO AMBIENTAL DE ATERROS SANITÁRIOS NA REGIÃO METROPOLITANA DE CAMPINAS**: revegetação e uso futuro. 2005. Dissertação – Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2005.

OLIVEIRA, Luciana M. Moreira Souto de; OLIVEIRA, Rômulo Carvalho de. A inclusão Social dos Catadores de Materiais Recicláveis. **Revista Campo do Saber**, [S. l], v. 1, n. 1, p. 1-12, nov. 2016.

OMS. Relatório Mundial da Saúde 2000: Sistemas de Saúde, melhorando o desempenho. Genebra. Disponível em: <https://www.who.int/publications/i/item/924156198X>. Acesso em: 28 fev. 2025.

PEREIRA JÚNIOR, Antônio; TEIXEIRA, Deisianne de Souza. Ocupação de áreas urbanas, percepção ambiental e impactos socioambientais, Marabá, Pará, Brasil. **Pesquisas Agrárias e Ambientais**, v. 2, n. 5, p. 66- 91, out. 2020.

RABELO, Marília Figueiredo; SANTOS, Vanusa Carla Pereira. A Gestão de Resíduos Sólidos no Município de Tucuruí-PA, 2º Congresso Sul-Americano de Resíduos Sólidos e Sustentabilidade. Foz do Iguaçu, Brasil, 2019.

REGO, Augusto da Gama; SILVA, Lucélia Sousa da; CARVALHO, Valdilene Gonçalves. Study of Urban Solid Waste Generation in the City of Tucuruí-Pa (2023-2043). **Revista de Gestão Social e Ambiental**, São Paulo, v. 18, n. 1, p 1-18, nov. 2023.

RIBAS, Bruno Ribeiro Cardoso; BARROS, Glaucio Jose Tiyoshi Sato; SÁ, Ricardo Ferreira de; FERNANDES, Thiago. Aplicação da Matriz de Leopold como método de avaliação de impactos ambientais da operação de uma estação de tratamento de esgoto (ETE) no município de Parauapebas-PA. *In: ANAIS INOVAÇÃO, TECNOLOGIA, GESTÃO E SUSTENTABILIDADE*, 4., 2018, Tangará da Serra, MT. **Anais [...]**. Tangará da Serra, MT: Even3, 2018, p. 1-3.

RIBEIRO, Brasiliano Lucas; HENRIQUES, Fabiana Regina. Logística Reversa na Reciclagem do Alumínio: reutilização do lacre de latinhas. *In: XII SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CIÊNCIAS INTEGRADAS DA UNAERP CAMPUS GUARUJÁ*, 12., 2015, Guarujá, SP. **Resumos [...]**. Guarujá, SP: 2015, p. 1-11.

RICHERI, Sonia Maria de Melo. **ESTUDO DO IMPACTO DAS MUDANÇAS CLIMÁTICAS GLOBAIS NOS MANGUES TROPICAIS**. 2006. Dissertação – Escola de Engenharia Mauá, Centro Universitário de Mauá, São Caetano do Sul, 2006.

ROY, Jagannath; ADHIKARY, Krishnendu; KAR, Samarjit. Credibilistic TOPSIS Model for Evaluation and Selection of Municipal Solid Waste Disposal Methods. **Advances in Waste Management**, Springer, p. 243- 261, jun. 2018.

SAMPAIO, Yasmin Beserra. **GESTÃO DE RESÍDUOS SÓLIDOS URBANOS/LIXO E IMPACTOS AMBIENTAIS: conceitos, contextos e desafios**. 2020. Trabalho de Conclusão de Curso (Administração Pública) – Instituto de Ciências Sociais Aplicadas, Universidade da Integração Internacional da Lusofonia Afro-brasileira, 2020.

SÁNCHEZ, Luis Enrique. **Avaliação de Impacto Ambiental: conceito e métodos**. São Paulo: Oficina de Textos. Disponível em: https://repositorio.usp.br/directbitstream/b5f8d784-dfa9-40de-8857-add664ab3f88/Sanchez-2013-Avalia%C3%A7%C3%A3o_de_impacto_ambiental.pdf. Acesso em: 22 fev. 2025.

SANT'ANNA, Diogo de; METELLO, Daniela. Reciclagem e Inclusão Social no Brasil: balanço e desafios. *In: PEREIRA, B. C. J.; GOES, F. L. (org.). Catadores de materiais recicláveis: um encontro nacional*. Rio de Janeiro: IPEA, 2016.

SILVA, Andre Luiz Emmel; MORAES, Jorge Andre Ribas. Proposta de uma matriz para avaliação de impactos ambientais em uma indústria plástica. *In: XXXII ENCONTRO NACIONAL DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO*, 32., 2012, Bento Gonçalves, RS. **Anais [...]**. Bento Gonçalves, RS: ABEPRO, 2012. p. 1-13.

SILVA, Andre Luiz Emmel; MORAES, Jorge André Ribas; MACHADO, Ênio Leandro. Proposta de produção mais limpa voltada às práticas de ecodesign e logística reversa. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio Grande do Sul, v. 20, n. 1, p. 29-37, jun. 2015.

SISINNO, Cristina Lucia Silveira; OLIVEIRA, Resíduos Sólidos, Ambiente e Saúde: uma visão multidisciplinar. *In: Catalogo Fiocruz*, Rio de Janeiro, RJ, 2000. Disponível em:

<https://portal.fiocruz.br/livro/residuos-solidos-ambiente-e-saude-uma-visao-multidisciplinar>. Acesso em: 24 fev. 2025.

SNIS. Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos. Disponível em: <https://www.gov.br/cidades/pt-br/aceso-a-informacao/acoes-e-programas/saneamento/snis/diagnosticos-anteriores-do-snis/agua-e-esgotos-1/2020>. Acesso em: 28 fev. 2025.

SOUSA, Gustavo Lemos de; FERREIRA, Vitória Talita de Oliveira; GUIMARÃES, Jairo de Carvalho. Lixão a céu aberto: implicações para o meio ambiente e para a sociedade. **Revista Valor**, [S. l], v. 4, p. 367-376, jan. 2020.

STROBEL, Reto; WALDNER, Maurice; GABLINGER, Helen. Highly efficient combustion with low excess air in a modern energy-from-waste (EfW) plant. **Waste Management**, [S. l], v. 73, n. 1, p. 301-306, mar. 2018.

TARTARI, Leori Carlos. Avaliação do Processo de Tratamento do Chorume de Aterro Sanitário de Novo Hamburgo. **Revista Liberato**, [S. l], v. 6, n. 6, p. 1-11, jan. 2013.

TENÓRIO, Camila Ribeiro; LIMA, Aline Maria Meiguins de. Indicadores de Eficiência do Plano Diretor Municipal de Tucuruí-PA. **Revista de Geografia**, [S. l], v. 30, n. 3, p. 146-162, jan. 2014.

VIEIRA, Maria Cristina Mendonça; GALLARDO, Amarilis Lucia Casteli Figueiredo; AGUIAR, Alexandre de Oliveira e; GAUDERETO, Guilherme Leite. Plano de gestão integrada de resíduos sólidos de São Paulo na perspectiva da avaliação ambiental estratégica. **Revista Brasileira de Gestão Urbana**, [S. l], v. 11, n. 1, p. 1-16, out. 2019.

ZAGO, Valéria Cristina Palmeira; BARROS, Raphael Tobias de Vasconcelos. Gestão de resíduos orgânicos urbanos no Brasil: do ordenamento jurídico à realidade. **Engenharia Sanitária e Ambiental**, [S. l], v. 24, n. 2, p. 219-228, maio 2019.