



UNIVERSIDADE FEDERAL DO TOCANTINS
PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO
PROGRAMA DE MESTRADO PROFISSIONAL EM ENGENHARIA AMBIENTAL

IKARO PERES CUNHA

**ANÁLISE COMPARATIVA DE CUSTOS ENTRE ATERROS SANITÁRIOS
INDIVIDUAIS E TRANSBORDO PARA ATERROS REGIONALIZADOS: UM
ESTUDO APLICADO NO ESTADO DO TOCANTINS**

**Palmas, TO
2026**

Ikaro Peres Cunha

**Análise Comparativa de Custos entre Aterros Sanitários Individuais e Transbordo para
Aterros Regionalizados: Um Estudo Aplicado no Estado do Tocantins**

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins, como requisito à obtenção do grau de mestre.

Orientador: Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço

**Palmas, TO
2026**

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)
Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal do Tocantins

- C972a Cunha, Ikaro Peres.
 Análise Comparativa de Custos entre Aterros Sanitários Individuais e
 Transbordo para Aterros Regionalizados: Um Estudo Aplicado no Estado do
 Tocantins. / Ikaro Peres Cunha. – Palmas, TO, 2026.
 82 f.

 Dissertação (Mestrado Profissional) - Universidade Federal do Tocantins
 – Câmpus Universitário de Palmas - Curso de Pós-Graduação (Mestrado)
 Profissional em Engenharia Ambiental, 2026.
 Orientador: Aurélio Pessoa Picanço

 1. Resíduos sólidos. 2. Aterro Sanitário. 3. Transbordo. 4. Regionalização.
I. Título

CDD 628

TODOS OS DIREITOS RESERVADOS – A reprodução total ou parcial, de qualquer
forma ou por qualquer meio deste documento é autorizado desde que citada a fonte.
A violação dos direitos do autor (Lei nº 9.610/98) é crime estabelecido pelo artigo 184
do Código Penal.

**Elaborado pelo sistema de geração automática de ficha catalográfica da
UFT com os dados fornecidos pelo(a) autor(a).**

Ikaro Peres Cunha

Análise Comparativa de Custos Entre Aterros Sanitários Individuais e Transbordo Para Aterros Regionalizados: Um Estudo Aplicado No Estado Do Tocantins

Dissertação apresentada ao Programa de Mestrado Profissional em Engenharia Ambiental da Universidade Federal do Tocantins. Foi avaliado para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Ambiental e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Data de aprovação: 26 / 02 / 2026

Banca Examinadora

Prof. Dr. Aurélio Pessoa Picanço, UFT

Prof^a. Dr^a Cláudia da Silva Aguiar Rezende, IFTO

Prof^a. Dr^a Danielle Soares Magalhães Ohofugi, UNICATÓLICA

Ao nosso Criador, origem de toda sabedoria. Foi por Sua graça que cheguei até aqui, e é sob Sua direção que desejo continuar cada passo da minha caminhada.

À minha esposa, Kleidiany, pela parceria de uma vida e incentivo incondicional. Essa vitória é minha e sua.

Aos meus filhos, Emily e Enzo, razão maior dos meus propósitos e da minha caminhada. Obrigado por existirem.

AGRADECIMENTOS

Aos meus pais, **Márcia Peres Deusdará Martins** e **Emílio Martins da Cunha**. Vocês sempre estarão presentes em cada conquista da minha vida, porque são a minha origem, minha base e parte essencial de tudo o que sou e do que venho construindo ao longo do caminho.

Ao Professor Doutor **Aurélio Picanço**, meu orientador, expresso minha sincera gratidão pela disponibilidade em orientar este trabalho e pela serenidade com que conduziu todo este percurso. Sua postura equilibrada foi determinante para o desenvolvimento deste trabalho e para a solidez do caminho percorrido até aqui.

Às Professoras Doutoras **Cláudia Rezende** e **Danielle Ohofugi**, registro minha sincera gratidão por terem aceitado o desafio de participar da banca examinadora. As contribuições oferecidas foram valiosas e essenciais para o aperfeiçoamento deste trabalho, enriquecendo-o com observações criteriosas e relevantes.

Aos **colegas de mestrado**, pela parceria construída ao longo desta jornada, pelas experiências compartilhadas e pelo apoio mútuo nos desafios de cada etapa. A convivência com vocês tornou esse caminho mais leve e memorável.

Aos **amigos e familiares** que, em diferentes momentos e cada um à sua maneira, contribuíram, de algum modo, para a construção da minha trajetória. Vocês deixaram marcas importantes, que ajudaram a forjar meu caráter e a tornar possíveis as minhas conquistas.

Ao **Tribunal de Contas do Estado do Tocantins**, pela concessão do afastamento que tornou possível a conclusão desta etapa. Esse apoio institucional foi decisivo para que eu pudesse dedicar o tempo e a atenção necessários ao fechamento desta importante jornada acadêmica.

À **Universidade Federal do Tocantins**, instituição à qual devo, com orgulho e gratidão, toda a minha formação acadêmica. Foi nela que trilhei os caminhos da Engenharia Ambiental, da Engenharia Civil, da pós-graduação e, agora, do mestrado, em uma trajetória que representa muito do que sou e do que construí até aqui.

RESUMO

A gestão inadequada de resíduos sólidos urbanos constitui um dos principais desafios ambientais e fiscais para as administrações públicas municipais no Estado do Tocantins. O estudo examina a eficiência econômica de diferentes estratégias de destinação final, contrastando a implantação e operação de aterros sanitários individuais de pequeno porte com sistemas de transbordo e transporte para polos regionais licenciados. A pesquisa se caracteriza como um estudo de caso múltiplo com abordagem quantitativa, fundamentado na análise situacional de 139 municípios tocaninenses sob a ótica da engenharia econômica. A metodologia compreende o diagnóstico do cenário de disposição final, o qual revela que aproximadamente 80% das municipalidades ainda utilizam lixões, a modelagem estatística da geração de resíduos e a estimativa de custos de investimento e operação com correção por fatores de escala. O estudo delimita três áreas de influência organizadas em torno dos aterros regionais de Araguaína, Gurupi e Porto Nacional e os resultados revelam que o arranjo regionalizado por transbordo compartilhado reduz o custo mensal total de R\$ 6.912.819,03 para R\$ 3.650.672,55, gerando uma economia de 47,19%. A pesquisa identifica que o transbordo representa a alternativa de menor custo em 96,2% dos casos analisados. Adicionalmente, o estudo demonstra que, em municípios com até cinco mil habitantes, a manutenção de aterro próprio custa, em média, 3,15 vezes mais que o arranjo regionalizado. O trabalho conclui que a regionalização dos serviços de manejo de resíduos é a estratégia mais eficaz para assegurar a conformidade ambiental e a viabilidade orçamentária das municipalidades.

Palavras-chave: Resíduos sólidos urbanos. Aterro sanitário. Transbordo. Regionalização. Tocantins.

ABSTRACT

The inadequate management of municipal solid waste represents one of the primary environmental and fiscal challenges for municipal public administrations in the State of Tocantins, Brazil. This study examines the economic efficiency of different final disposal strategies, contrasting the implementation and operation of small-scale individual sanitary landfills with transfer station systems and transport to licensed regional hubs. The research is characterized as a multiple case study with a quantitative approach, grounded in a situational analysis of 139 Tocantins municipalities from an economic engineering perspective. The methodology comprises a diagnostic of the current final disposal scenario, which reveals that approximately 80% of the municipalities still utilize open dumps, alongside statistical modeling of waste generation and estimation of investment and operating costs adjusted by scale factors. The study delineates three areas of influence organized around the regional landfills of Araguaína, Gurupi, and Porto Nacional. The results demonstrate that a regionalized arrangement using shared transfer stations reduces the total monthly cost from BRL 6,912,819.03 to BRL 3,650,672.55, resulting in a 47.19% saving. The research identifies that the transfer system represents the lowest-cost alternative in 96.2% of the cases analyzed. Additionally, the study demonstrates that, in municipalities with up to 5,000 inhabitants, maintaining an individual landfill costs, on average, 3.15 times more than the regionalized arrangement. The research concludes that the regionalization of waste management services is the most effective strategy to ensure environmental compliance and the budgetary sustainability of the municipalities.

Keywords: Municipal solid waste. Sanitary landfill. Transfer station. Regionalization. Tocantins.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Fluxograma das etapas metodologias.....	25
Figura 2 – Fluxograma de validação dos dados de disposição final no Tocantins (2024).....	26
Figura 3 – Polo Regional e raios de abrangência	29
Figura 4 – Projeto de estação de transbordo modelo.....	35
Figura 5 – Esquema da logística otimizada de transporte de resíduos sólidos.....	37
Figura 6 – Mapa de disposição de RSU no Tocantins (dez/2024)	42
Figura 7 – Curva Log-Linear de geração per capita de RSU.	43
Figura 8 – Mapa de Situação das Regionais Araguaína, Gurupi e Porto Nacional.....	49
Figura 9: Deseconomias de escala em faixas de municípios de pequeno porte	51
Figura 10 – Economia mensal da solução regionalizada - Regional Araguaína	63
Figura 11 – Economia mensal da solução regionalizada - Regional Gurupi.....	64
Figura 12 – Economia mensal da solução regionalizada - Regional Porto Nacional.....	66

LISTAS DE QUADROS

Quadro 1 – Métodos de atualização e precificação de Custos utilizados.....	33
Quadro 2 – Situação da disposição final de RSU no Tocantins (base: dez/2024).....	40
Quadro 3 – Aterros licenciados e logística de transbordo no Tocantins (dez/2024).....	40
Quadro 4 – Matriz de seleção e delimitação – Regional de Araguaína (dist $\leq$ 200 km).....	46
Quadro 5 – Matriz de seleção e delimitação – Regional de Gurupi (dist $\leq$ 100 km)	47
Quadro 6 – Matriz de seleção e delimitação – Regional de Porto Nacional (dist $\leq$ 250 km) ..	48
Quadro 7 – Consolidação global de custo mensais: ASPP vs. Transbordo compartilhado	61

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Diagnóstico de Municípios que fazem transbordo (dez/2024).....	41
Tabela 2 – Geração per capita de RSU por faixa populacional.....	44
Tabela 3 – Comparativo entre índices do PERS/TO e média estimada pela regressão.....	45
Tabela 4 – Consolidação das Regionais selecionadas	45
Tabela 5 – Síntese dos custos médios estimados para ASPP por faixa populacional	50
Tabela 6 – Custos de Implantação e Operação de ASPP - Regional de Araguaína	53
Tabela 7 – Custos de Implantação e Operação de ASPP - Regional de Gurupi.....	54
Tabela 8 – Custos de Implantação e Operação de ASPP - Regional de Porto Nacional.....	56
Tabela 9 – Comparativo de custos unitários de transbordo por faixa populacional.....	57
Tabela 10 – Comparativo do custo unitário médio por polo regional	59
Tabela 11 – Indicadores de uso da frota no transbordo compartilhado por regional	60
Tabela 12 – Diferença dos custos mensais médios por faixa populacional.....	62
Tabela 13 – Comparativo de custos e ganhos de economia Regional de Araguaína	62
Tabela 14 – Comparativo de custos e ganhos de economia Regional de Gurupi.....	64
Tabela 15 – Comparativo de custos e ganhos de economia Regional de Porto Nacional.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABETRE	Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes
ABREMA	Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente
ANP	Agência Nacional do Petróleo, Gás Natural e Biocombustíveis
ASPP	Aterro Sanitário de Pequeno Porte
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
BRL	Brazilian Real (ISO 4217 para o Real Brasileiro)
CAPEX	Capital Expenditure (Custo de Investimento em Bens de Capital)
CNM	Confederação Nacional de Municípios
COEMA/TO	Conselho Estadual de Meio Ambiente do Tocantins
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
CONSANE	Consórcio Intermunicipal de Saneamento Básico
FGV	Fundação Getúlio Vargas
FIPE	Fundação Instituto de Pesquisas Econômicas
GR	Geração per capita de Resíduos (kg/hab·dia)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IBRAOP	Instituto Brasileiro de Auditoria de Obras Públicas
ICMS	Imposto sobre Circulação de Mercadorias e Prestação de Serviços
IGP-M	Índice Geral de Preços – Mercado
INCC	Índice Nacional de Custo da Construção
IPEA	Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada
LI	Licença de Instalação
LO	Licença de Operação
LP	Licença Prévia
MP/TO	Ministério Público do Estado do Tocantins
NATURATINS	Instituto Natureza do Tocantins
OPEX	Operational Expenditure (Custos de Operação)
PERS/TO	Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins
PNRS	Política Nacional de Resíduos Sólidos
RBC	Relação Benefício-Custo
RSU	Resíduos Sólidos Urbanos
SEMARH/TO	Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins
SIG	Sistema de Informação Geográfica
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
SISECO	Sistema do ICMS Ecológico
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
TCE/TO	Tribunal de Contas do Estado do Tocantins
TCU	Tribunal de Contas da União
TIR	Taxa Interna de Retorno
UFT	Universidade Federal do Tocantins
VPL	Valor Presente Líquido

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Objetivo Geral	15
1.2	Objetivos específicos	16
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	17
2.1	Contexto Normativo e o Panorama da Gestão de RSU no Brasil e no Tocantins...	17
2.2	Dinâmica da Geração e Aspectos Econômicos da Infraestrutura de Resíduos.....	18
2.3	Regionalização e Logística: Estratégias para a Eficiência na Gestão de Resíduos.	21
3	METODOLOGIA	25
3.1	Desenho da pesquisa e abordagem metodológica.....	26
3.2	Procedimentos de diagnóstico do cenário e modelagem da geração per capita	26
3.2.1	Levantamento do cenário de disposição de RSU (dez/2024).....	26
3.2.2	Modelagem da Geração per capita de RSU.....	27
3.3	Critérios de delimitação das regionais e seleção dos municípios	28
3.4	Procedimentos de estimativa de custos para aterros sanitários	30
3.4.1	Escopo, exclusões e premissas.....	30
3.4.2	Adaptação do modelo FGV: triagem e atualização de custos.....	31
3.4.3	Ajuste de escala e individualização de custos (método fator de capacidade).....	34
3.5	Procedimento de estimativa de custos para construção da estação de transbordo	35
3.6	Procedimento de estimativa de custos com transporte e destinação final de RSU .	36
3.7	Procedimento de comparação de custos entre alternativas	38
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
4.1	Cenário de disposição final de RSU no Tocantins (dez/2024).....	40
4.2	Curva log-linear obtida para estimativa de geração per capita de RSU	43
4.3	Configuração das Regionais e Amostra Municipal Selecionada	45
4.4	Custos estimados de disposição final em aterro próprio	50
4.4.1	Custos aterros - Regional de Araguaína.....	52
4.4.2	Custos aterros - Regional de Gurupi.....	54
4.4.3	Custos aterros - Regional de Porto Nacional.....	55
4.5	Custos Integrados de Transbordo, Transporte e Disposição Final	57
4.5.1	Custo por faixa populacional	57
4.5.2	Custo por regional.....	59
4.6	Comparação custos aterro individual (ASPP) x transbordo compartilhado	60
5	CONCLUSÃO	68
6	REFERÊNCIAS	71
7	APÊNDICE.....	78

1 INTRODUÇÃO

A Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, estabelece diretrizes para a gestão integrada e ambientalmente adequada dos resíduos, vedando a operação de lixões e incentivando alternativas sustentáveis, como a disposição em aterros sanitários licenciados. Entretanto, a implementação dessas diretrizes enfrenta obstáculos estruturais e econômicos, associados, entre outros fatores, a limitações orçamentárias, baixa geração per capita de resíduos e dificuldades logísticas para transporte e destinação adequada.

Essa problemática é particularmente relevante no Estado do Tocantins, onde, segundo dados da Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos do Tocantins (SEMARH/TO), extraídos do Sistema do ICMS Ecológico (SISECO), 84% dos municípios dispunham seus resíduos em lixões ou aterros controlados até dezembro 2023 (TOCANTINS, 2024). O flagrante descumprimento da legislação ambiental em vigor vem expondo essas municipalidades a sanções advindas dos mais variados órgãos de controle e justiça, notadamente Tribunal de Contas do Estado (TCE/TO), Ministério Público (MP/TO) e Instituto Natureza do Tocantins (NATURATINS). Diante desse cenário, observa-se a adoção de soluções emergenciais, com reprodução de modelos historicamente utilizados, nem sempre precedida de avaliação de viabilidade técnica e econômica em horizonte de médio e longo prazos.

Nesse diapasão, este estudo analisa e compara as alternativas de destinação final de Resíduos Sólidos Urbanos (RSU) para municípios tocaninenses, contrastando a construção e operação de aterros sanitários individuais com o transbordo para aterros sanitários regionalizados em operação. O recorte espacial compreende os polos de recepção localizados em Araguaína, Gurupi e Porto Nacional. A escolha desse recorte fundamenta-se na capacidade operacional excedente dessas unidades e na viabilidade logística de atendimento às demandas regionais, excluindo-se o polo de Palmas em virtude da saturação de sua vida útil e proximidade com outra unidade receptora.

Para essa análise, os municípios foram organizados em torno de centros de massa populacional, representados pelos aterros regionais polo, definidos pela localização geográfica e pelo volume de resíduos gerados. A modelagem de recebimento de resíduos limitou-se à capacidade ociosa estimada de cada aterro regional selecionado, assegurando que a sobrecarga dos transbordos não altere a vida útil projetada, nem tampouco inviabilize a capacidade operacional ou comprometa a regularidade ambiental desses empreendimentos.

No processo de estruturação de soluções regionalizadas, a eficiência logística constitui condicionante central para a viabilidade dos arranjos intermunicipais. Assim, adotou-se como critério orientador da modelagem territorial a distância máxima de 250 km entre municípios geradores e os aterros sanitários regionais, visando assegurar que o ciclo completo de transporte, incluindo coleta, transbordo, deslocamento e retorno, pudesse ser realizado dentro de uma jornada diária de trabalho, sem necessidade de pernoite da equipe ou paradas operacionais prolongadas.

A pesquisa avalia a viabilidade econômica por meio de uma modelagem de custos que confronta a logística de transbordo e transporte com a implantação de aterros individuais de pequeno porte. Para mitigar distorções de escala e evitar subestimativas orçamentárias, o estudo emprega o Método do Fator de Capacidade (*Cost-to-Capacity Method*), técnica consolidada em engenharia econômica para o dimensionamento de investimentos em infraestruturas de saneamento, permitindo ajustar os custos de implantação com base na variação da capacidade instalada.

Diante dos cenários modelados, formula-se a seguinte pergunta norteadora: ***Qual alternativa de destinação final apresenta a maior eficiência econômica para os municípios tocantinenses situados na área de influência dos aterros regionais de Araguaína, Gurupi e Porto Nacional: a internalização da solução por meio de aterros individuais ou a integração regional via sistemas de transbordo, transporte e disposição final?***

Assim, a pesquisa se justifica pela necessidade de fornecer aos gestores públicos inseridos na área de influência dos aterros existentes uma base técnico-econômica para subsidiar a tomada de decisão quanto à destinação final dos resíduos sólidos. Ao confrontar a viabilidade de arranjos regionalizados com a implantação de aterros individuais, busca-se contribuir para decisões mais consistentes e para otimização da alocação de recursos públicos, com avanço da conformidade municipal.

1.1 Objetivo Geral

Avaliar a eficiência econômica entre implantação e operação de aterros sanitários individuais e a utilização de sistemas de transbordo regionalizados para municípios situados na área de influência de Araguaína, Gurupi e Porto Nacional.

1.2 Objetivos específicos

- Diagnosticar o cenário da disposição final de RSU no Estado do Tocantins (base dez/2024), mapeando a localização e os métodos utilizados.
- Modelar a geração per capita de RSU, parametrizando-a por faixas populacionais e dados oficiais de pesagem.
- Estimar os custos totais de pré-implantação, implantação e operação de aterros sanitários individuais, ajustados à realidade e escala populacional dos municípios estudados.
- Estimar os custos integrados de transbordo, transporte e destinação final para os municípios situados na área de influência dos aterros regionais de Araguaína, Gurupi e Porto Nacional.
- Comparar os indicadores de custo total e unitário, identificando a solução de menor impacto financeiro mensal para as administrações municipais analisadas.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Contexto Normativo e o Panorama da Gestão de RSU no Brasil e no Tocantins

A gestão adequada dos RSU no Brasil é regulamentada pela Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), instituída pela Lei nº 12.305/2010, que estabelece a obrigatoriedade da destinação final ambientalmente adequada dos resíduos, incluindo a eliminação dos lixões e a disposição em aterros sanitários licenciados. Inicialmente, o prazo para o encerramento dos lixões foi fixado para 2014. Contudo, com a promulgação do Novo Marco Legal do Saneamento, Lei nº 14.026/2020, novos prazos foram estabelecidos de forma escalonada, tendo o prazo limite se encerrado em dezembro de 2024.

A vedação à disposição inadequada de resíduos sólidos no ordenamento jurídico brasileiro encontra respaldo explícito na Lei nº 9.605/1998 (Lei de Crimes Ambientais). O artigo 54 tipifica como crime a conduta de causar poluição de qualquer natureza em níveis tais que resulte ou possa resultar em danos à saúde humana e animal ou que torne uma área imprópria para a ocupação. Destaca no inciso V do referido artigo, de forma inequívoca, a vedação legal à destinação inadequada de RSU.

No âmbito estadual, a Lei nº 3.614/2019, que institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins, alinha-se às diretrizes nacionais ao estabelecer a obrigatoriedade de disposição final em aterros sanitários licenciados e a erradicação de lixões. Complementarmente, a Instrução Normativa nº 6/2024 do Tribunal de Contas do Estado do Tocantins (TCE-TO) determina que os municípios comprovem de forma continuada a destinação adequada dos resíduos.

Mesmo com o vasto arcabouço legal que reforça a obrigatoriedade de disposição em aterros sanitários licenciados e a erradicação dos lixões, a implementação prática dessas diretrizes ainda enfrenta desafios. Figueiredo, Bastos e Meneses (2020) destacam que após mais de uma década da promulgação da Política Nacional de Resíduos Sólidos, o Brasil ainda enfrenta entraves estruturais significativos para a erradicação definitiva dos lixões, especialmente nos municípios de menor porte, evidenciando a necessidade de maior articulação e efetividade na implementação das políticas públicas de gestão de resíduos.

Conforme registra ABREMA (2024), por meio da publicação “Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil, 2024” aproximadamente 81 milhões de toneladas de RSU foram geradas no país em 2023, das quais 28,7 milhões de toneladas (35,5%) foram destinadas de forma inadequada em lixões ou aterros controlados. Essa realidade é reforçada por Santiago *et al.*

(2023), que, ao analisar a efetividade da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS) após uma década de sua promulgação, identificaram que 47% dos municípios brasileiros ainda mantêm lixões ativos, evidenciando a necessidade de políticas integradas e arranjos intermunicipais para viabilizar a destinação final adequada.

No contexto tocaninense, segundo dados do Sistema do ICMS Ecológico – SISECO (TOCANTINS, 2024), em 2023, 84% dos municípios do Estado ainda dispunham seus resíduos em lixões ou aterros controlados. Essa realidade, embora preocupante, representa uma leve evolução em relação ao cenário descrito pelo Plano Estadual de Resíduos Sólidos (PERS/TO) de 2017, quando, dos 139 municípios, 136 (97,8%) utilizavam lixões ou aterros controlados.

A publicação de Souza e Carvalho (2017) contribui para a compreensão dos entraves enfrentados pelos municípios brasileiros na gestão de RSU, destacando que, mesmo com o advento da Política Nacional de Resíduos Sólidos, a persistência de lixões decorre, sobretudo, da fragilidade institucional, da carência de recursos financeiros e da baixa capacidade técnica das administrações municipais. Os autores enfatizam que a ausência de planejamento de longo prazo, a descontinuidade de políticas públicas e a limitada articulação entre os entes federativos comprometem significativamente a efetividade das ações voltadas à disposição final ambientalmente adequada dos resíduos, o que demanda a implementação de soluções integradas e regionalizadas.

Tahir *et al.* (2015) destacam que a elaboração de diagnósticos precisos sobre a geração e disposição de RSU constitui etapa essencial na estruturação de políticas públicas eficazes, pois possibilita identificar padrões de produção vinculados a fatores socioeconômicos, demográficos e territoriais, além de orientar o planejamento de soluções sustentáveis e ajustadas à realidade local. No mesmo sentido, Mehmood e Khan (2019) reforçam que a ausência de diagnósticos sistemáticos compromete significativamente a formulação de políticas públicas no setor, sendo o levantamento contínuo de dados uma condição indispensável para o planejamento e a gestão eficaz dos RSU. O estudo demonstra que a ausência de planos consistentes e dados confiáveis sobre a geração e disposição de resíduos comprometeu historicamente a eficácia das ações governamentais, o que se evidencia pelo alto número de municípios que ainda dispõem inadequadamente seus resíduos.

2.2 Dinâmica da Geração e Aspectos Econômicos da Infraestrutura de Resíduos

A estruturação de qualquer sistema de gestão depende, inicialmente, de diagnósticos precisos fundamentados na literatura técnica. Nesse sentido, modelos de regressão linear têm

sido aplicados de forma eficaz para prever a geração de resíduos sólidos em pequenos municípios, utilizando variáveis socioeconômicas e demográficas. Araiza-Aguilar *et al.* (2020) construíram um modelo com apenas duas variáveis, população total e migração, que alcançou alto poder explicativo (R^2 ajustado de 0,975), evidenciando a robustez do método mesmo em contextos com dados limitados. De forma semelhante, Ojha *et al.* (2019) utilizaram variáveis como população e PIB per capita para prever a geração de resíduos em cidades indianas, demonstrando forte correlação entre crescimento econômico e aumento de resíduos. Ambos os estudos reforçam a utilidade da regressão linear como ferramenta de apoio ao planejamento e à gestão ambiental.

Já Herianto *et al.* (2019) aplicaram regressão linear múltipla para estimar a geração de resíduos em Palangka Raya, Indonésia, a partir da população e do PIB regional per capita, obtendo $R^2 = 0,988$, o que reforça a utilidade do modelo para planejar infraestrutura e transporte de resíduos com base em projeções de crescimento urbano.

Em relação aos aterros sanitários individuais, Rodrigues (2008) analisou a viabilidade econômica da implantação de um aterro sanitário no município de Ilha Solteira, São Paulo. Utilizando o método da Relação Benefício-Custo (RBC), o estudo concluiu que a implantação de um aterro sanitário seria economicamente inviável para municípios de pequeno porte, com uma $RBC = 0,16$, ou seja, para cada real investido na implantação e operação do aterro, haveria um retorno de apenas 16 centavos em benefícios econômicos. Essa conclusão é corroborada por estudos mais recentes, como o de Llanquileo-Melgarejo e Molinos-Senante (2021), que demonstram que a ecoeficiência na gestão de resíduos está intrinsecamente ligada à escala de operação; unidades menores apresentam custos fixos proporcionalmente superiores, o que compromete a sustentabilidade financeira do sistema isolado. O autor sugere que a regionalização seria uma alternativa mais vantajosa, reforçando a pertinência de analisar os custos de transporte para municípios tocantinenses.

De forma semelhante, Martins e Silva (2016) conduziram um estudo de viabilidade econômica e financeira para a implantação de um aterro sanitário em Cabaceiras do Paraguaçu - BA, utilizando ferramentas de engenharia econômica, como o Valor Presente Líquido (VPL) e a Taxa Interna de Retorno (TIR). Considerando projeções de 10 e 15 anos, os autores constataram que, mesmo com uma área projetada para receber até 100 t/d, o projeto apresentou VPL negativo, tornando-se economicamente inviável para a administração pública local. Nesse contexto, o estudo conduzido pela Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2009) em parceria com a Associação Brasileira de Empresas de Tratamento de Resíduos e Efluentes (ABETRE) oferece

uma contribuição significativa para a compreensão dos custos associados à implantação e operação de aterros sanitários no Brasil. A pesquisa analisou cinco etapas: pré-implantação, implantação, operação, encerramento e pós-encerramento, considerando diferentes portes de aterros. Os resultados indicaram que a receita média de equilíbrio para aterros de pequeno porte girou em torno de R\$ 100,00/t na época do estudo, valor significativamente superior ao custo de aterros regionais, cerca de R\$ 53,00/t, com payback superior a 22 anos. Embora datados, esses indicadores de custo da FGV permanecem como balizadores metodológicos essenciais, sendo validados por pesquisas contemporâneas como a de Barbosa *et al.* (2020), que reafirmam a superioridade econômica dos consórcios públicos (como o CONSANE) frente aos aterros municipais individuais no Brasil atual.

Sob a ótica da microeconomia, a compreensão dessa vantagem competitiva se fundamenta na Teoria da Economia de Escala, segundo a qual os custos médios de implantação tendem a decrescer à medida que a escala de operação aumenta, em razão da diluição dos custos fixos e do ganho de eficiência produtiva (VARIAN, 2015). Consequentemente, a inviabilidade econômica de unidades de pequeno porte é explicada pela presença de ativos “indivisíveis”, cujos custos fixos não regridem proporcionalmente à escala. Itens como balanças rodoviárias e sistemas de impermeabilização demandam investimentos iniciais elevados que oneram excessivamente o custo por tonelada em municípios de baixa geração (OLIVEIRA NETO; SOUZA, 2014; SAMWINE et al., 2017). Essa indivisibilidade manifesta-se também nos custos operacionais e regulatórios, como o monitoramento ambiental e a manutenção de corpo técnico especializado. Tais despesas permanecem constantes independentemente do volume recebido, gerando o que Varian (2015) classifica como “deseconomias de escala” em unidades que operam abaixo da capacidade técnica mínima.

Historicamente, a mensuração dessa desproporcionalidade baseia-se na premissa de Williams Jr. (1947), que estabeleceu que o custo de um projeto pode ser aproximado pela relação entre capacidades elevadas a um fator de escala. Essa abordagem, consolidada na engenharia como a Regra do Expoente (*Cost-to-Capacity Rule*), é um método paramétrico essencial para estudos de pré-viabilidade e avaliações rápidas (*quick evaluations*) (GREEN; SOUTHARD, 2019; OLIVEIRA NETO; SOUZA, 2014). A relação é expressa matematicamente pela função:

$$C2 = C1 * \left(\frac{Q2}{Q1}\right)^n, \quad (1)$$

Onde:

C2: custo estimado para capacidade alvo Q2: capacidade alvo *n*: expoente
C1: custo de referência Q1: capacidade de referência;

Conforme documentado no *Perry's Chemical Engineers' Handbook*, este fator reflete a eficiência na expansão da infraestrutura (MOLINIER; DA COSTA, 2019).

Embora a regra original de Williams Jr. (1947) tenha popularizado o uso do fator $k = 0,6$ para processos químicos, pesquisas aplicadas ao saneamento indicam que expoentes entre 0,7 e 0,8 apresentam maior aderência para capturar a sensibilidade dos custos de implantação e operação em aterros sanitários e sistemas regionalizados (TRIBE; ALPINE, 1986; DI FOGGIA, 2020).

2.3 Regionalização e Logística: Estratégias para a Eficiência na Gestão de Resíduos

A discussão sobre modelos de gestão de resíduos frequentemente recai sobre a regionalização como estratégia para a busca de eficiência operacional. A viabilidade desse modelo fundamenta-se no equilíbrio (*trade-off*) entre os gastos logísticos e os ganhos de processamento. Embora o transbordo eleve as despesas de transporte, esse incremento é superado pela redução acentuada no custo médio de disposição em infraestruturas regionais. Esse arranjo permite que o custo global do sistema de transbordo seja inferior à soma de múltiplas operações municipais isoladas, viabilizando economicamente o setor (PAULA; REICHERT, 2021; FRANCO; STEINER, 2022).

No cenário brasileiro, o Manual da Ferramenta de Rotas e Custos valida essa lógica ao demonstrar que a regionalização permite a diluição dos custos fixos iniciais, alcançando a “escala ótima” necessária para a sustentabilidade financeira do setor (PAULA; REICHERT, 2021; ULLAH, 2017).

Nesse sentido, cumpre destacar que, embora a percepção corrente aponte a construção de aterros sanitários individuais como solução definitiva para a disposição de resíduos, essa alternativa frequentemente se mostra tecnicamente frágil, operacionalmente complexa e economicamente inviável, sobretudo para municípios com baixa densidade populacional (TORO; MARTÍNEZ; CORTÁZAR, 2023). O próprio colegiado do Tribunal de Contas da União (TCU), por meio dos Acórdãos nº 389/2023-TCU-Plenário (BRASIL, 2023) e 2.697/2011-TCU-Plenário (BRASIL, 2011), é categórico ao afirmar que a operação de um aterro sanitário só se torna economicamente viável quando a população atendida ultrapassa 100 mil habitantes. Tal premissa revela-se incompatível com a realidade demográfica do Tocantins, onde mais de 93% das municipalidades possuem população inferior a 20 mil habitantes (IBGE, 2022), reforçando a necessidade de modelos alternativos à gestão isolada.

Corroborando essa perspectiva, Gonzaga (2023) analisou a eficiência de aterros sanitários de pequeno porte em municípios brasileiros e concluiu que, embora apresentem indicadores socioambientais mais satisfatórios, sua viabilidade depende diretamente da eficiência na gestão pública. Ademais, o Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins (PERS, 2017) propõe a divisão do Estado em regiões de influência para aterros sanitários, prevendo arranjos intermunicipais baseados na proximidade geográfica e na capacidade de tratamento dos aterros existentes. No entanto, o plano reconhece que, embora essa regionalização seja uma base importante, a viabilidade econômica dependerá principalmente das distâncias entre os municípios e os aterros, bem como dos custos operacionais associados ao transporte e à disposição final. Essa estratégia de integração regional é defendida por Silva, Imbrosi e Nogueira (2017) como a única forma de alcançar eficiência de escala em países em desenvolvimento, superando a fragmentação administrativa que historicamente onera as prefeituras.

Nessa mesma linha, o estudo de Vieira *et al.* (2024) sobre os arranjos regionais na Paraíba demonstra que a abordagem consorciada pode reduzir em até 40% os custos operacionais, promovendo maior eficiência na gestão pública, especialmente em contextos de baixa geração de resíduos. Esse dado contemporâneo ratifica as premissas de Paiva (2002), que já apontava a disposição final compartilhada como uma solução eficaz para municípios de pequeno porte. Ao permitir a diluição de custos fixos e operacionais, a regionalização viabiliza economicamente a destinação adequada, superando as limitações financeiras e administrativas das gestões locais isoladas.

Sob uma perspectiva complementar, Fernandes *et al.* (2023) reforçam essa abordagem ao destacar que os consórcios públicos intermunicipais possibilitam ganhos de escala fundamentais para a redução de custos. Em regiões metropolitanas ou aglomerados urbanos, a fragmentação administrativa tende a dificultar soluções isoladas, o que torna a cooperação regional uma estratégia indispensável para superar os desafios operacionais e técnicos da gestão de resíduos sólidos.

Além da estrutura administrativa, a eficiência do modelo regionalizado estende-se à dimensão logística. O estudo de Falgetano (2020) aponta que a formação de arranjos intermunicipais é capaz de otimizar o transporte de resíduos, garantindo ganhos de escala que impactam diretamente a economia do projeto. O autor elenca, ainda, que esses arranjos podem ser organizados de forma flexível, sem a obrigatoriedade de consórcios formais, por meio de

acordos cooperativos entre as municipalidades, configuração compatível com o escopo do presente estudo, ao priorizar soluções viáveis para a realidade local.

Destaca-se, nesse contexto, que o agrupamento proposto na solução regionalizada não está condicionado, necessariamente, à constituição formal de consórcios públicos dotados de personalidade jurídica própria, sendo admissível a gestão cooperada por meio de convênios ou instrumentos congêneres de cooperação administrativa, desde que observadas as balizas jurídicas aplicáveis. Tal premissa encontra respaldo técnico em Duarte (2023), em publicação do IPEA, e em Alvarez e Henrichs (2020), para a Confederação Nacional de Municípios (CNM), ao evidenciarem que a constituição de consórcios públicos, embora relevante em muitos contextos, pode impor estrutura administrativa própria — com sede, estatuto, governança e custos fixos permanentes — nem sempre justificável para demandas específicas ou arranjos logísticos mais simples. Nessa linha, instrumentos mais flexíveis podem revelar-se mais céleres e economicamente eficientes para viabilizar o compartilhamento de maquinário, veículos e infraestrutura operacional, sem a rigidez burocrática inerente à criação de uma nova entidade interfederativa.

Dando suporte jurídico a essa necessidade de otimização, a prestação regionalizada dos serviços públicos de manejo de RSU representa um dos pilares centrais das diretrizes nacionais para o saneamento básico. A Lei nº 11.445/2007, atualizada pela Lei nº 14.026/2020, estabelece expressamente em seu art. 3º, inciso XIV, a promoção da prestação regionalizada como forma de garantir a viabilidade técnica e econômico-financeira, bem como a universalização dos serviços. No campo regulamentar, essa diretriz é reforçada pelo Decreto nº 10.936/2022, que regulamenta a Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS), ao prever modalidades de regionalização como blocos de referência, unidades regionais e consórcios públicos (BRASIL, 2022).

Sob o aspecto operacional dessa regionalização, Ferri *et al.* (2015) destacam a relevância dos centros de armazenamento e triagem como pontos intermediários entre a coleta e a destinação final. Os autores afirmam que esses centros, ao consolidar os resíduos, não apenas reduzem os custos de transporte, mas também aumentam a vida útil dos aterros e promovem a comercialização de materiais recicláveis, beneficiando toda uma cadeia. Tal eficiência logística é comprovada empiricamente por Devendran *et al.* (2023) que ao analisar a gestão de resíduos em Curitiba, destacam que a instalação de estações de transferência e a otimização das rotas de transporte podem ampliar a vida útil dos aterros existentes em até 28 anos, além de economizar em custos de transporte, evidenciando a atratividade econômica da solução.

Complementarmente, Franco e Steiner (2022) demonstram que o particionamento territorial estratégico e a localização inteligente de aterros podem reduzir custos totais em até 57%, reforçando que a viabilidade da prestação regionalizada, prevista em lei, depende intrinsecamente de um planejamento logístico rigoroso.

Sob essa ótica, Karimi *et al.* (2023) demonstram, em estudo realizado no Canadá, com uso de ferramentas de Sistema de Informação Geográfica (SIG) e modelagem de rede, que a adoção de pontos de transbordo intermediários pode reduzir significativamente os custos operacionais totais e o consumo de combustível, mesmo em trajetos de longa distância até aterros regionais. O modelo mostra-se particularmente vantajoso em contextos onde a densidade populacional é baixa e as fontes de geração de resíduos estão geograficamente dispersas, tornando a centralização da disposição final uma solução econômica e ambientalmente eficiente.

De forma semelhante, Sadoon *et al.* (2020) desenvolveram um plano para otimizar o sistema de transporte de resíduos sólidos em Bagdá, utilizando ferramentas SIG e análise de rede. O resultado aponta para redução da distância total em 25,4%, do tempo de transporte em 29,5% e dos custos operacionais diários em 46,1%, em relação ao cenário original.

Reforçando a lógica de eficiência, Mohsenizadeh *et al.* (2020) argumentam que a centralização da disposição final é a estratégia mais eficaz para reduzir custos globais. Segundo os autores, o uso de estações de transferência viabiliza o transporte para polos regionais, permitindo que a robusta economia de escala de grandes aterros absorva os custos logísticos do transbordo. Essa relação de custo-benefício é confirmada por Llanquileo-Melgarejo e Molinos-Senante (2021), que demonstram ser financeiramente superior consolidar resíduos em unidades de grande porte do que manter a operação fragmentada em pequenos aterros locais, cujos custos marginais de manutenção são desproporcionalmente elevados.

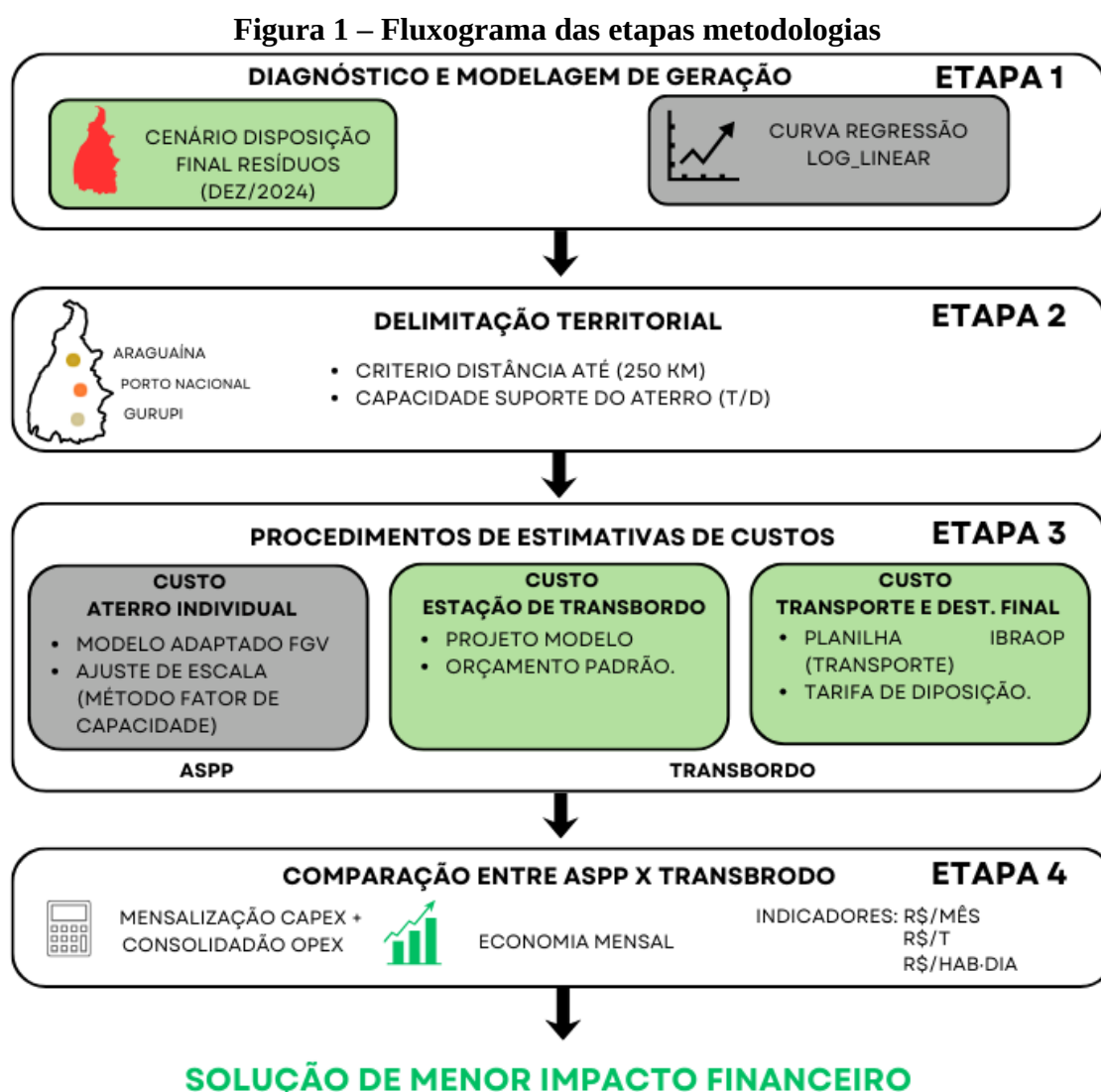
Por fim, Nik Ab Rahimah *et al.* (2021) propõem uma abordagem de valorização não mercadológica para análise de custo-benefício de aterros sanitários. Utilizando o método *choice modelling*, o estudo estimou a disposição a pagar da população por melhorias ambientais, como controle de chorume, redução de odores, controle de vetores e melhoria da paisagem. A valoração desses serviços, na análise de resultados obtidos, trouxe um VPL positivo, indicando que a internalização das externalidades ambientais pode viabilizar economicamente os projetos, especialmente em países em desenvolvimento.

Nessa perspectiva, ao considerar benefícios como a proteção de recursos hídricos e a redução de vetores de doenças, a literatura reforça que a gestão controlada se revela superior

não apenas sob a ótica contábil, mas principalmente na análise de custo-benefício social. No contexto de municípios de pequeno porte, essa superioridade social do sistema de aterramento sanitário encontra na regionalização o mecanismo necessário para sua viabilidade financeira, permitindo superar os entraves estruturais e a baixa efetividade na implementação de políticas públicas apontados por Figueiredo, Bastos e Meneses (2020).

3 METODOLOGIA

Esta etapa descreve os procedimentos metodológicos adotados para a condução da pesquisa. A Figura 1 sintetiza essas etapas em um fluxograma, organizado por fases.



Fonte: Elaborado pelo Autor, 2026

3.1 Desenho da pesquisa e abordagem metodológica

A presente pesquisa caracteriza-se como aplicada, pois objetivou oferecer subsídios técnicos e econômicos para apoiar a tomada de decisão quanto às alternativas de disposição final dos RSU. A metodologia adotada é comparativa, na medida em que buscou caracterizar e confrontar duas estratégias distintas: a implantação de aterros sanitários individuais e o sistema de transbordo com transporte para aterros regionais.

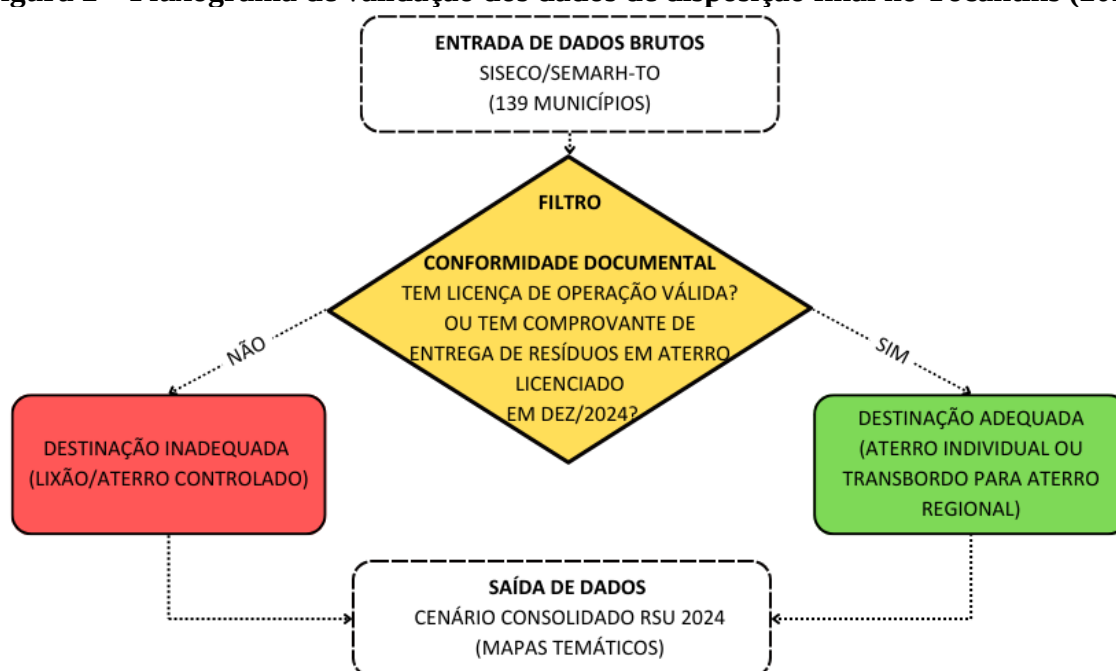
A abordagem foi predominantemente quantitativa, pautando-se em modelagens estatísticas de geração de resíduos, orçamentação e análises de custos logísticos. Aspectos qualitativos, como a sustentabilidade ambiental e a viabilidade prática de implementação, foram considerados de forma complementar, contribuindo para uma interpretação mais abrangente e integrada dos resultados.

3.2 Procedimentos de diagnóstico do cenário e modelagem da geração per capita

3.2.1 Levantamento do cenário de disposição de RSU (dez/2024)

Realizou-se o diagnóstico da disposição final de RSU no Tocantins para o ano de 2024, abrangendo os 139 municípios. Os dados brutos foram extraídos do SISECO/SEMARH/TO e validados mediante critérios de evidência documental e temporal, conforme o fluxo metodológico apresentado na Figura 2.

Figura 2 – Fluxograma de validação dos dados de disposição final no Tocantins (2024)



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

As declarações municipais de disposição adequada foram ratificadas apenas quando acompanhadas de: (i) Licença de Operação (LO) válida da unidade receptora; e (ii) declarações ou comprovantes de pesagem que evidenciassem o transbordo para aterros regionais.

Como critério de validação temporal, estabeleceu-se o mês de dezembro de 2024 como marco de adimplência. Dessa forma, municípios que realizaram a destinação adequada apenas em períodos parciais do ano e interromperam o serviço antes do fechamento do exercício foram reclassificados como em situação inadequada. Por outro lado, novos contratos iniciados em dezembro de 2024 foram validados como transbordo ativo.

A integração dos dados validados em ferramentas de geoprocessamento permitiu a elaboração de mapas temáticos, fornecendo a base técnico-espacial para o mapeamento do cenário atual e a seleção dos municípios que integrariam cada regional.

3.2.2 Modelagem da Geração per capita de RSU

A geração per capita de RSU foi estimada por meio da construção de uma equação de regressão semilogarítmica (log-linear), fundamentada na correlação entre a população municipal (Censo IBGE 2022) e os dados de pesagem reportados ao Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento (SNIS 2023). Considerando a natureza declaratória do SNIS e a recorrência de inconsistências, a amostra foi submetida a uma checagem de consistência, com exclusão de registros incompletos e de valores discrepantes (outliers) identificados.

Para assegurar maior aderência estatística e refletir a realidade dos municípios tocaninenses, os dados foram organizados em cinco faixas populacionais, a saber: até 5 mil, de 5.001 a 10 mil, de 10.001 a 20 mil, de 20.001 a 50 mil e de 50.001 a 250 mil habitantes. Essa segmentação buscou minimizar distorções decorrentes da comparação direta entre municípios de portes muito diferentes e limitar a influência de valores extremos na estimação do modelo, contribuindo para obter uma equação mais estável e representativa para o contexto analisado. O ajuste adotou transformação logarítmica na variável população, conforme modelo:

$$GR = a + \beta \cdot \ln(P) + \varepsilon \quad (2)$$

Onde:

GR: variável dependente (geração per capita de RSU kg/hab·dia),
a: é o intercepto do modelo (valor de GR quando $\ln(P) = 0$),
β: coeficiente angular (taxa de variação de GR em relação a *P*),
P: variável independente (população municipal),
ε: termo de erro

Para fins de apresentação da curva ajustada nos resultados, utilizou-se a equação 2 sem o termo de erro, sendo a interpretação dos parâmetros e o desempenho do ajuste discutidos na seção de Resultados. Dessa forma, o modelo foi utilizado apenas como etapa de apoio para qualificar o parâmetro de geração per capita empregado nas análises do estudo.

3.3 Critérios de delimitação das regionais e seleção dos municípios

A seleção dos municípios incluídos na análise regionalizada foi realizada a partir da identificação de polos de destinação final com capacidade operacional e viabilidade de recebimento de RSU. No Tocantins, verificou-se a existência de quatro aterros sanitários enquadrados como de grande porte, nos termos da Resolução COEMA/TO nº 07/2005, localizados em Araguaína, Gurupi, Palmas e Porto Nacional. Entretanto, o Aterro de Palmas não foi considerado alternativa regional de recebimento por operar próximo ao limite de capacidade e, adicionalmente, por existir alternativa geograficamente próxima em Porto Nacional (aprox. 30 km), tornando a opção tecnicamente e logisticamente pouco justificável para fins de modelagem regional.

Dessa forma, o estudo concentrou-se na área de influência dos aterros regionais de Araguaína (Litucera), Porto Nacional (Base Fortins) e Gurupi, considerando-se que os dois primeiros apresentavam condições de recebimento imediato e que o terceiro demandava ajustes operacionais e institucionais para plena integração regional, mas permaneceu no escopo por sua relevância territorial e potencial de consolidação.

A delimitação das regionais e a seleção dos municípios seguiram critérios logísticos e de situação prévia de destinação, combinando mecanismos de inclusão e exclusão, conforme descrito a seguir:

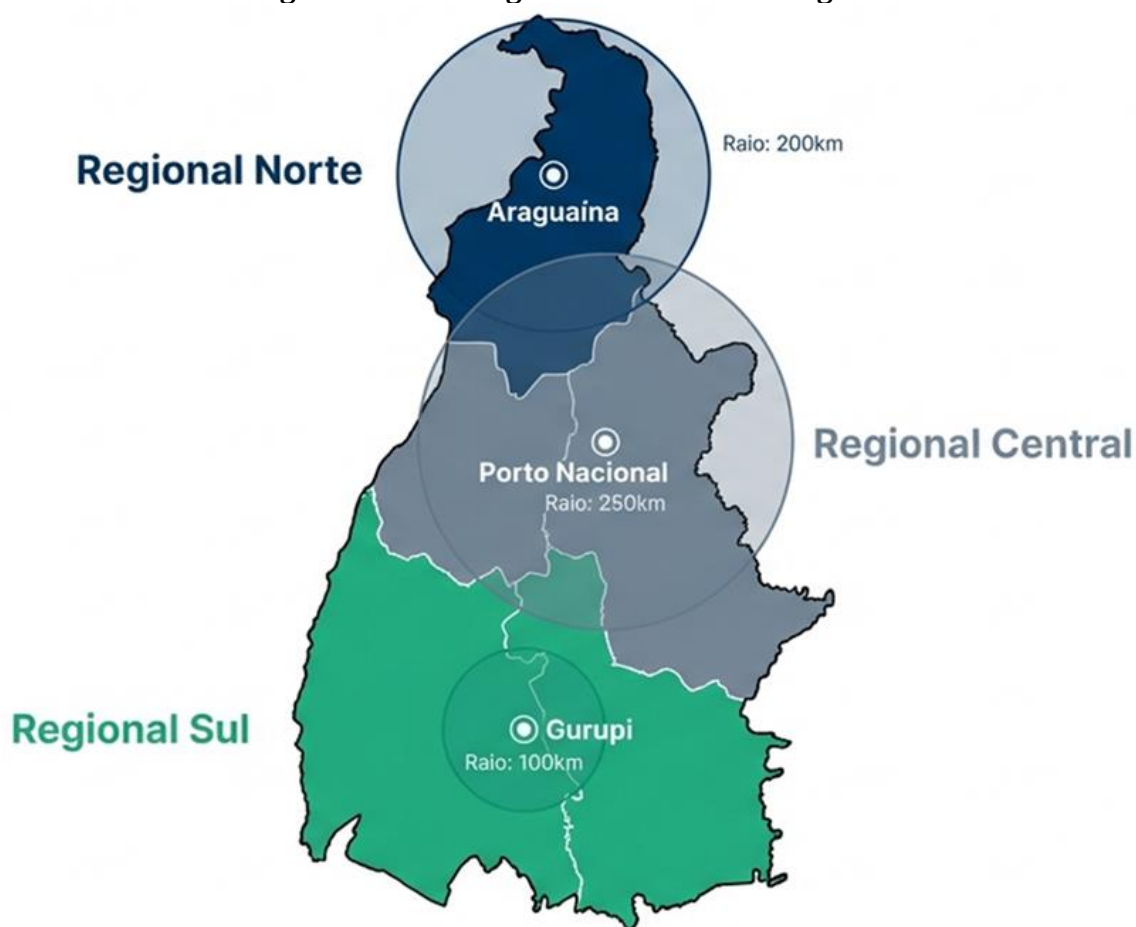
a) Exclusão de municípios com destinação própria declarada: foram excluídos da modelagem regionalizada os municípios que declararam possuir aterro próprio em operação, ainda que de pequeno porte (<15 t/d), por já disporem de solução local de destinação final e, portanto, não representarem demanda potencial imediata para recepção em aterros regionais.

b) Manutenção de arranjos já praticados de destinação: municípios que já realizavam destinação em determinado polo regional foram mantidos na mesma regional, mesmo quando a distância a outro aterro pudesse ser menor, a fim de preservar a coerência com fluxos operacionais e contratuais existentes e reduzir reconfigurações artificiais de logística no modelo.

c) Delimitação por faixas de distância e suficiência de demanda: para definir a área de influência de cada aterro regional, foram aplicados filtros sucessivos de distância máxima (100 km, 150 km, 200 km e 250 km) avaliando-se, em cada faixa, se o conjunto de municípios elegíveis fornecia massa de resíduos suficiente para compor uma regional representativa e logisticamente viável. As distâncias foram obtidas por rotas rodoviárias no Google Maps, considerando o trajeto entre a sede municipal/estação de transbordo e o aterro regional.

Com base nessa análise por faixas, as regionais foram delimitadas adotando-se o raio máximo que resultou em composição adequada de municípios para cada polo: Gurupi (100 km), Araguaína (200 km) e Porto Nacional (250 km). Assim, a distância máxima não foi aplicada de maneira uniforme em todo o estado, mas definida de modo diferenciado por regional, conciliando viabilidade logística e composição de municípios para análise, conforme visualizado na Figura 3.

Figura 3 – Polo Regional e raios de abrangência



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

d) Critério de capacidade licenciada (limite de recebimento): para cada regional, foi calculado o somatório das toneladas diárias de RSU dos municípios incluídos, contemplando o município-sede do aterro regional. A inclusão de municípios em cada faixa de distância foi limitada de modo que esse somatório não ultrapassasse a capacidade licenciada do respectivo aterro regional, preservando a regularidade operacional e evitando que a alternativa simulada implicasse sobrecarga incompatível com a licença ou com a capacidade efetiva de recebimento do empreendimento.

e) Tratamento dos municípios-sede: os municípios onde se localizam os aterros regionais foram mantidos no recorte territorial apenas como polos receptores, por realizarem a disposição direta dos resíduos. Assim, não foram estimados, para esses municípios, custos de ASPP nem de transbordo/transporte, uma vez que tais alternativas não se aplicam ao seu arranjo operacional.

3.4 Procedimentos de estimativa de custos para aterros sanitários

Os custos totais de pré-implantação, implantação e operação de aterros sanitários individuais de pequeno porte (ASPP) foram estimados a partir da estrutura analítica de custos proposta no estudo da Fundação Getúlio Vargas (FGV, 2009), originalmente elaborado para aterros com capacidade mínima de 100 t/d. Considerando que tal estrutura incorpora exigências operacionais e arranjos de infraestrutura típicos de empreendimentos de maior porte, foi realizada adaptação metodológica para torná-la compatível com a realidade dos municípios tocantinenses, caracterizados predominantemente por menor escala de geração de resíduos. Assim, itens e exigências técnicas incompatíveis com o porte reduzido foram suprimidos ou simplificados, com o objetivo de obter custos mais aderentes à realidade operacional e financeira local.

3.4.1 Escopo, exclusões e premissas

A estimativa contemplou exclusivamente as etapas de pré-implantação, implantação e operação, não incluindo custos de encerramento e pós-encerramento, nem o custo de aquisição da área, adotando-se a premissa de disponibilização do terreno pelos próprios municípios, prática recorrente no contexto local.

A exclusão dos custos de encerramento e pós-encerramento fundamenta-se, primordialmente, na distribuição temporal das incertezas. Diferente da etapa de implantação, cujos custos são lastreados em parâmetros de mercado e engenharia contemporâneos, as despesas de pós-fechamento ocorrem em um horizonte de longo prazo (excede 20 anos), ficando sujeitas a regimes normativos futuros e tecnologias de remediação ainda não consolidadas. Além disso, enquanto os custos de implantação foram equalizados pela premissa de projetos padronizados, o pós-encerramento introduziria variáveis de monitoramento ambiental (prazos e parâmetros analíticos) que são estritamente discricionárias ao órgão licenciador no momento do encerramento, o que comprometeria a isonomia na comparação da viabilidade econômica direta entre os municípios no presente.

Para fins de padronização do orçamento e de comparabilidade entre os cenários, foi adotada como capacidade de referência uma unidade da ordem de 15 toneladas/dia, por ser representativa do enquadramento estadual de pequeno porte, o qual considerou o número de habitantes dos aglomerados urbanos e definiu como pequeno porte aqueles com até 20.000 habitantes. Ressalta-se que esse critério difere do adotado em âmbito federal pela Resolução CONAMA nº 404/2008, que considerou pequeno porte os aterros com disposição diária de até 20 t de RSU. Assim, a capacidade de referência adotada permaneceu inferior ao limite federal.

Foram adotadas, para a modelagem do aterro de referência, as seguintes premissas técnicas e operacionais: capacidade nominal da ordem de 15 t/d, vida útil projetada de 20 anos, densidade média dos resíduos dispostos de 0,9 t/m³, células de disposição em valas trapezoidais com base retangular de 110 m × 220 m, taludes com inclinação de 2:1 (horizontal/vertical), altura de 5 m da base ao topo do talude e solo de cobertura proveniente da própria escavação.

3.4.2 Adaptação do modelo FGV: triagem e atualização de custos

A estrutura orçamentária de referência (FGV, 2009) foi submetida a uma triagem técnica item a item, com o objetivo de adequar os custos ao porte reduzido das unidades propostas e evitar a adoção automática de exigências típicas de aterros de maior capacidade. O critério de triagem adotado baseou-se, em primeiro lugar, no atendimento ao que era expressamente exigido para o licenciamento e a concepção mínima de aterros de pequeno porte no Tocantins, conforme Termo de Referência aplicável a municípios de até 20.000 habitantes. Quando determinado componente não estava explicitamente previsto, manteve-se no orçamento aquilo que foi entendido como indispensável para a operação e o controle do aterro, adotando-se postura conservadora por segurança operacional.

Em decorrência desse procedimento, foram mantidos os elementos considerados essenciais à funcionalidade e à segurança ambiental do empreendimento, incluindo infraestrutura de controle e apoio operacional (como guarita), dispositivos de controle operacional e rastreabilidade da massa recebida (por exemplo, balança), e componentes técnicos mínimos de implantação e operação, como impermeabilização e sistemas associados ao manejo do aterro.

Por outro lado, foram suprimidos itens considerados acessórios ou não compatíveis com a escala proposta, sem prejuízo aos requisitos mínimos de concepção, conforme explicitado no Apêndice A. Entre os exemplos de exclusões realizadas destacam-se: viveiro de mudas, custos com audiências públicas, estação meteorológica, bacia de sedimentação, descidas em gabião e área de recreação e lazer. Adicionalmente, itens de natureza gerencial e de estruturação do empreendimento, como estudo de viabilidade, projeto básico, gerenciamento e despesas internas não foram suprimidos; ao contrário, foram mantidos com adequação de escopo e valores para refletir a escala reduzida da unidade.

As decisões decorrentes da triagem foram registradas na planilha orçamentária adaptada da FGV (2009), na coluna i (observações), assegurando rastreabilidade das escolhas adotadas. Após a triagem técnica dos itens da planilha-base, os valores foram atualizados por uma estratégia híbrida de precificação, adotando-se o critério mais adequado à natureza de cada despesa. Na prática, a atualização ocorreu por quatro rotas complementares:

- a) Substituição por composições (SINAPI): Sempre que houve correspondência direta com composições padronizadas de obras e serviços, os custos unitários foram substituídos por referências do SINAPI (Tocantins, agosto/2025, sem desoneração). Não foi aplicado Benefícios e Despesas Indiretas – BDI aos valores SINAPI, uma vez que a estrutura da FGV utilizada no estudo é de natureza de viabilidade (*business plan*) e já contempla rubricas de administração, gerenciamento e encargos distribuídas no modelo, de modo que a aplicação adicional de BDI poderia resultar em dupla contagem de indiretos.
- b) Atualização monetária por indexadores (IGP-M e INCC): Para itens sem substituto direto no SINAPI, os valores referenciais da FGV (2009) foram atualizados por índices econômicos, distinguindo-se: INCC para despesas com predominância de materiais e serviços de construção e IGP-M para despesas de natureza mais geral/administrativas. Em regra, foi adotado o intervalo de maio/2009 a agosto/2025, conforme referência temporal do estudo-base. A opção por diferentes indexadores buscou reduzir vieses de correção, evitando tratar custos de natureza distinta com um único índice.

- c) Recálculo normativo de taxas e despesas institucionais: Despesas relacionadas a taxas, emolumentos e licenças foram recalculadas com base na legislação vigente e nos regramentos aplicáveis, em vez de simples atualização inflacionária. Para o licenciamento ambiental (LP, LI e LO) e taxas correlatas, utilizaram-se os instrumentos estaduais aplicáveis (Lei Estadual nº 1.287/2001; Decreto Estadual nº 6.687/2023; Resolução COEMA nº 66/2015). Para emolumentos cartorários, adotaram-se as referências normativas pertinentes (Lei Estadual nº 3.408/2018 e Provimento nº 20/CGJUS/2024).
- d) Pesquisa de mercado e regras paramétricas do estudo-base: Quando houve disponibilidade prática e acesso a fornecedores, foram utilizadas cotações/orçamentos, principalmente para serviços ou insumos específicos não contemplados de forma adequada no SINAPI. Adicionalmente, para certos componentes sem precificação independente, foram aplicadas relações paramétricas previstas no próprio estudo da FGV, por exemplo, itens definidos como múltiplos de outro, como “ensaios = 2 × sondagem”.

As quatro rotas de atualização e precificação adotadas estão sintetizadas no Quadro 1, que apresenta a categoria de despesa, o método aplicado e a respectiva base/fonte utilizada.

Quadro 1 – Métodos de atualização e precificação de Custos utilizados

Categoria de despesa	Método adotado	Base/Fonte	Janela / data-base	Regra/observação
Serviços/insumos com composição equivalente	Substituição direta	SINAPI-TO (08/2025), sem desoneração	Data-base: ago/2025	Não foi aplicado BDI, pois modelo FGV já contempla rubricas de administração/gerenciamento/impostos
Itens sem equivalente SINAPI	Indexação	INCC	05/2009 a 08/2025 (fator acumulado)	Aplicado a rubricas típicas de construção civil (materiais/serviços de obra).
		IGP-M	05/2009 a 08/2025 (fator acumulado)	Aplicado a rubricas gerais/administrativas/serviços não diretamente de obra.
Taxas, licenças e itens tarifários	Recalculo normativo	Leis/decretos/res./normas	Valores vigentes (ref. do orçamento: 08/2025)	Preferido à indexação simples por refletir regras atuais (LP/LI/LO, taxas e emolumentos).
Itens específicos sem referência adequada no SINAPI	Pesquisa de mercado	Cotações/orçamentos locais (até 2 referências)	Data-base: ago/2025	Aplicado quando havia acesso prático e o item era específico do contexto de aterros.
Itens definidos por proporção no modelo FGV	Relação paramétrica + precificação do item-base	Regra interna da FGV + (SINAPI/índice/mercado)	Data-base: ago/2025	Mantém coerência do modelo quando a FGV não precifica o item de forma independente.
Registro e rastreabilidade	Documentação do método	Coluna “Observações” da planilha	—	Cada item teve o método identificado e anotação sucinta.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

3.4.3 Ajuste de escala e individualização de custos (método fator de capacidade)

Para corrigir distorções de escala e evitar subestimativas típicas de extrapolações lineares, aplicou-se, sobre os custos validados após a triagem e a atualização (item 3.4.2) o Método do Fator de Capacidade (*Cost-to-Capacity Method*). O ajuste foi realizado pela expressão (1), trazida no item 2.2 da revisão de literatura.

A capacidade de referência inicial foi de 100 t/d, e na sequência de 15 t/d. Já o expoente de escala adotado foi $n = 0,7$. O procedimento foi aplicado para ajustar o orçamento de referência ao porte adotado e, posteriormente, às capacidades específicas de cada município.

Para orientar a aplicação do fator de capacidade, os itens do orçamento foram classificados conforme a forma como seus custos variaram com o porte do aterro. Foram definidos:

a) **Custos fixos**, não escalonados pelo fator de capacidade. Na prática, incluíram rubricas cuja magnitude foi definida por exigência mínima ou por dimensionamento direto do projeto de referência. Ressalta-se que, nessa categoria, alguns custos puderam variar apenas pelo quantitativo dimensionado (por exemplo, extensão de cercamento definida pelo perímetro/área do aterro), mantendo-se inalterado o preço unitário; isto é, a variação decorreu do dimensionamento geométrico e não de economias de escala.

b) **Custos proporcionais**: itens cujo custo foi considerado dependente do porte e, portanto, foi ajustado integralmente pelo fator de capacidade, por refletir atividades e volumes diretamente associados à capacidade instalada (por exemplo, serviços vinculados ao volume/área de disposição).

c) **Custos parciais (híbridos)**: itens com comportamento misto, isto é, com parcela fixa e parcela dependente do porte. Nesses casos, o escalonamento foi aplicado apenas à parcela variável, preservando a parcela fixa, de modo a evitar superestimação para capacidades menores ou subestimação para capacidades maiores.

Os itens excluídos na triagem (item 3.4.2) foram marcados como “**não considerado**” e tiveram custo zerado, permanecendo apenas para fins de rastreabilidade, conforme pode ser verificado no Apêndice A.

A partir do orçamento consolidado para aterro de referência de 15 t/d, foram obtidos os somatórios dos custos fixos (F), proporcionais (P) e parciais (H) para CAPEX e OPEX. Com base nesses somatórios, construiu-se a regra de escalonamento para individualizar os custos conforme a capacidade requerida por cada município x (t/d), utilizando o Método do Fator de Capacidade com expoente $n = 0,7$. Na prática, os itens fixos foram mantidos constantes, os itens

proporcionais foram ajustados integralmente pelo fator $(x/15)^{0,7}$, e os itens parciais foram tratados de forma híbrida, alocando-se metade ao bloco fixo e metade ao bloco escalonável. Assim, para o CAPEX, adotou-se:

$$CAPEX(x) = \left(F + \frac{H}{2}\right) + \left(P + \frac{H}{2}\right) \cdot \left(\frac{x}{15}\right)^{0,7} \quad (3)$$

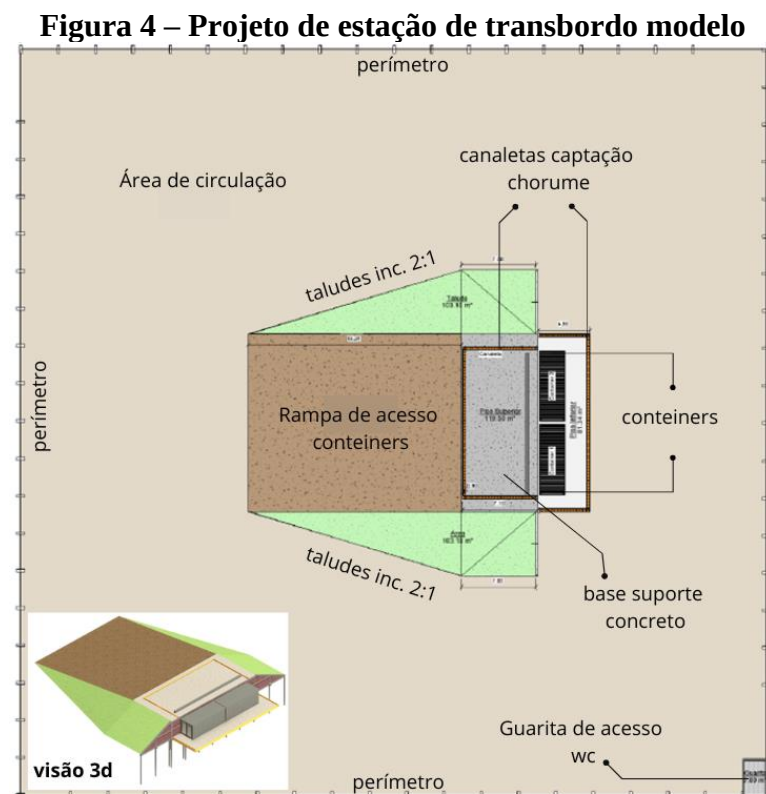
Onde:

$CAPEX(x)$: custo de capital para determinada capacidade t/d H : custo parcial ou híbrido x : t/d
 F : custo fixo P : custo proporcional

Para o OPEX, a mesma regra de escalonamento foi aplicada aos somatórios de custos de operação do aterro de referência, obtendo-se o custo mensal recorrente de operação pela divisão por 240 meses.

3.5 Procedimento de estimativa de custos para construção da estação de transbordo

A estimativa de custos de implantação de uma estação de transbordo modelo foi elaborada com base em uma concepção simplificada, compatível com a realidade operacional dos municípios tocantinenses. A proposta adotou como referência o projeto padrão desenvolvido pelo Tribunal de Contas do Estado do Tocantins (TCE/TO), priorizando soluções de baixo custo, fácil execução e funcionalidade operacional (Figura 4).



Fonte: Adaptado de Tribunal de Contas do Tocantins - TCE, 2026

O dimensionamento considerou um terreno padrão de 70 m × 70 m (4.900 m²), preferencialmente em áreas públicas previamente destinadas à disposição de resíduos (ex.: antigos lixões desativados), não sendo computados custos de aquisição do terreno. Ressalta-se que não foram considerados custos de regularização fundiária, recuperação ambiental de passivos, remediação ou condicionantes específicas associadas à utilização de áreas de antigos lixões, por dependerem de diagnóstico local e de exigências ambientais caso a caso.

O escopo construtivo contemplou: (i) rampa de transbordo; (ii) cercamento perimetral; (iii) guarita de vigilância e apoio operacional; (iv) terraplanagem da área; (v) drenagem pluvial; e (vi) instalações elétricas e hidrossanitárias mínimas, quando aplicáveis. Não foram considerados, nesta etapa, cobertura, galpão, triagem, depósito, nem equipamentos operacionais específicos, por não integrarem a concepção simplificada adotada.

Os custos de implantação foram estimados por meio de planilha orçamentária baseada em composições e preços unitários do SINAPI, com recorte para Tocantins, trazidos para a data-base de agosto de 2025, complementados, quando necessário, por pesquisa de mercado local para itens sem correspondência direta. Sobre os custos diretos estimados, foi aplicado BDI, de modo a contemplar despesas indiretas, administração e encargos associados à execução.

Para fins de comparação econômica, o CAPEX da estação foi mensalizado por equivalência financeira (equação 5), considerando vida útil de 10 anos e taxa de desconto de 8% a.a., conforme procedimento detalhado no item 3.7.

3.6 Procedimento de estimativa de custos com transporte e destinação final de RSU

A estimativa dos custos relacionados ao transporte e à destinação final dos RSU em aterros sanitários licenciados foi realizada considerando operação com caminhões trucados (três eixos), na configuração 6×2, equipados com sistema roll on/roll off e contêineres metálicos de 35 m³. O dimensionamento e a composição dos custos de transporte foram obtidos por meio da planilha PROC-IBRRSU-028/2022 (IBRAOP), aplicada individualmente para cada município, contemplando custos fixos (depreciação, remuneração do capital, manutenção, licenciamento e seguros de veículos e equipamentos) e custos variáveis (combustível, lubrificantes e pneus), proporcionais à distância percorrida. Na planilha, os custos indiretos foram tratados pelo próprio modelo, com aplicação de BDI de 27,17%, conforme metodologia do IBRAOP.

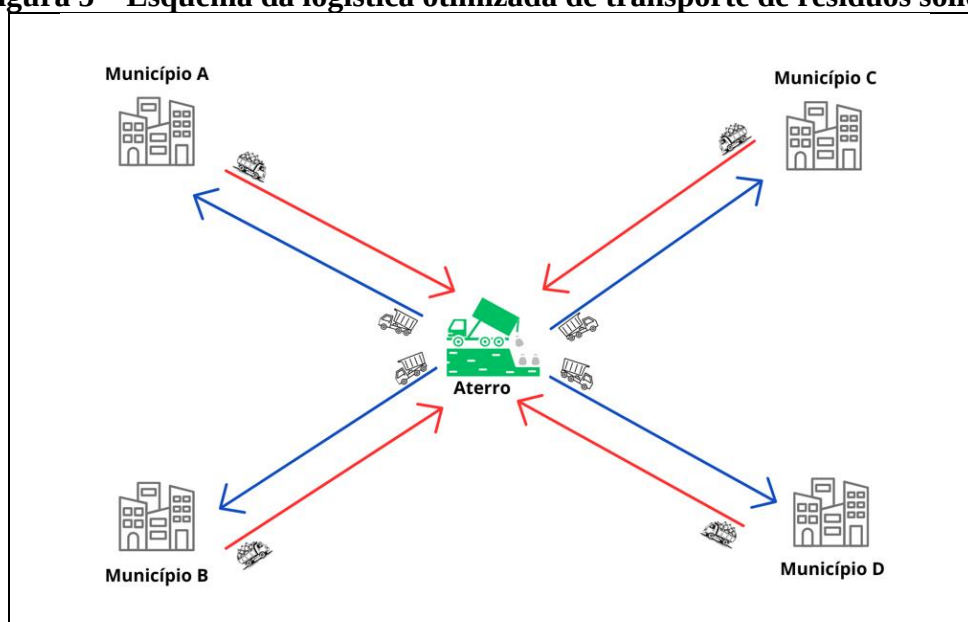
Os parâmetros de custo foram atualizados para a data-base de agosto de 2025, utilizando-se referências públicas (SINAPI e FIPE) e preço de combustível com base na ANP,

mantendo-se coerência temporal com as demais estimativas do estudo. As distâncias rodoviárias foram obtidas por rotas do Google Maps, considerando exclusivamente o trecho estação de transbordo ao aterro regional, não sendo incorporados os custos da coleta municipal.

O modelo operacional adotado previu que os contêineres permaneceriam alocados nas estações de transbordo municipais, recebendo diretamente os resíduos coletados. O número de viagens foi definido em função da geração municipal e da capacidade operacional do sistema, assegurando, adicionalmente, a restrição sanitária de permanência máxima do contêiner na estação de até 7 dias a partir do início do preenchimento. Assim, o dimensionamento resultou no mínimo de uma viagem semanal por município, sendo o volume efetivamente transportado em cada viagem correspondente ao acumulado no período. Para conversão volumétrica, adotou-se peso específico de 0,35 t/m³ para o rejeito acondicionado em contêiner, conforme (IBRAOP).

A logística de transporte foi modelada pelo ciclo “sai vazio/retorna cheio”, no qual o caminhão parte de um centro logístico localizado no próprio aterro (ou em sua área adjacente), entrega um contêiner vazio no município e retorna com um contêiner cheio para disposição final no aterro licenciado, reduzindo deslocamentos ociosos. Considerou-se operação com um caminhão em dois turnos diários de 8 horas, durante 28 dias por mês, com reserva de 2 dias mensais para manutenções. Para o cálculo de produtividade, adotaram-se velocidade média operacional de 55 km/h e tempo médio de 1,5 hora por ciclo de carga e descarga (posicionamento, engate/desengate e procedimentos de pesagem, quando aplicável), além de composição de equipe com 1 motorista e 1 ajudante. O fluxo operacional do transporte é apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Esquema da logística otimizada de transporte de resíduos sólidos



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

No que se refere à destinação final, o custo de disposição foi representado por um valor médio de R\$ 165,00 por tonelada, obtido a partir de contratos firmados em 2024 entre municípios tocantinenses e empresas operadoras de aterros licenciados (Litucera – Araguaína; Base Fortins – Porto Nacional), utilizado como parâmetro de referência regional. Por fim, os custos de implantação e operação das estações de transbordo (item 3.5) foram considerados de forma individualizada por município (uma estação por município), incluindo custo de manutenção e vigilância, compondo o custo total da alternativa regionalizada. Ressalta-se que os municípios-sede não foram incluídos nesse transbordo, por realizarem disposição direta de resíduos.

3.7 Procedimento de comparação de custos entre alternativas

A análise comparativa de custos foi realizada município a município, com apresentação dos resultados organizada por regionais previamente definidas no estudo. Foram comparadas três alternativas de destinação final: (i) implantação e operação de aterro sanitário individual de pequeno porte (ASPP); (ii) solução regionalizada com transbordo e transporte individual (município operando o sistema de forma autônoma, com aquisição e operação dos meios necessários); e (iii) solução regionalizada com transbordo otimizado/compartilhado, na qual a logística de transporte opera de forma integrada para atender conjuntamente os municípios. Nas alternativas regionalizadas, os custos de transbordo e transporte foram somados ao custo de destinação final em aterro sanitário licenciado, conforme valor informado na seção estimativa de custos.

Os municípios-sede (polos com aterro regional) foram excluídos do comparativo de alternativas (ASPP e transbordo), por não demandarem estação de transbordo nem transporte até aterro regional. Assim, as tabelas comparativas e os indicadores foram apurados apenas para os municípios “não sede” vinculados a cada polo regional.

Considerando a relevância do dispêndio recorrente para o planejamento municipal, os resultados foram consolidados prioritariamente em custo mensal. Para assegurar comparabilidade entre alternativas com diferentes perfis de investimento e custeio, os custos foram desagregados em CAPEX (investimento) e OPEX (operação), sendo o CAPEX apresentado de forma explícita para evidenciar a necessidade de investimento inicial. Adicionalmente, o CAPEX das obras civis do ASPP e das estações de transbordo foi convertido em custo mensal equivalente, incorporando custo de capital, por meio do método de

equivalência financeira (parcela uniforme). A taxa anual de 8% foi convertida para taxa mensal equivalente por capitalização composta, conforme:

$$i_m = (1 + i_a)^{1/12} - 1 \quad (4)$$

Onde:

i_m : taxa mensal

i_a : taxa anual

A mensalização do investimento (CAPEX) foi obtida pelo fator de recuperação de capital (parcela uniforme), expresso por:

$$CAPEX_{mensal} = CAPEX \cdot \frac{i_m(1 + i_m)^N}{(1 + i_m)^N - 1} \quad (5)$$

Onde:

$CAPEX_{mensal}$: custo mensal equivalente do investimento,

$CAPEX$: valor do investimento inicial,

i_m : taxa mensal equivalente

N : é a vida útil em meses.

O custo mensal total utilizado na comparação foi obtido pela soma do OPEX mensal com o CAPEX mensal equivalente das obras civis. Ressalte-se que a taxa de 8% a.a. foi aplicada apenas à mensalização do CAPEX (parcela equivalente), enquanto OPEX foi tratado como custo recorrente em base mensal, sem desconto. No caso das alternativas com transbordo, os custos associados a caminhões e contêineres (CAPEX) estão incorporados no próprio custo mensal de transporte trazido pela planilha do IBRAOP.

Como indicadores de comparação, foram adotados: (i) o custo total mensal (R\$/mês), por refletir o dispêndio recorrente mais diretamente utilizado no planejamento orçamentário municipal; (ii) o custo unitário por tonelada (R\$/t), calculado pela razão entre o custo mensal total e a massa mensal de RSU do município (t/mês); e (iii) o custo per capita mensal (R\$/hab·mês), obtido pela divisão do custo mensal total pela população total municipal.

Os resultados foram organizados em tabelas comparativas por regional, contendo, para cada município “não sede” e para cada tipo de disposição, o investimento (CAPEX), o custo total mensal e os indicadores derivados (R\$/t e R\$/hab·mês), permitindo identificar a alternativa de menor custo sob as premissas operacionais e de preços adotadas no estudo.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1 Cenário de disposição final de RSU no Tocantins (dez/2024)

O diagnóstico de disposição final de RSU no Estado do Tocantins, com referência em dezembro de 2024, evidencia um cenário de acentuada irregularidade ambiental. Dos 139 municípios do Estado, 111 (79,9%) realizavam disposição em lixão/aterro controlado, ao passo que 28 (20,1%) apresentavam destinação final adequada, sendo 18 (12,9%) por transbordo para aterros licenciados e 10 (7,2%) por aterro próprio licenciado (Quadro 2).

Quadro 2 – Situação da disposição final de RSU no Tocantins (base: dez/2024)

Situação (dez/2024)	Método/arranjo	Nº de municípios	%
Destinação inadequada	Lixão/aterro controlado	111	79,90%
Destinação Adequada	Transbordo	18	12,90%
	Aterro próprio (licenciado)	10	7,20%
Total		139	100%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

A caracterização dos polos licenciados que estruturam a destinação adequada e a recepção de RSU via transbordo está expressa no Quadro 3.

Quadro 3 – Aterros licenciados e logística de transbordo no Tocantins (dez/2024)

Município aterro licenciado	Porte	capacidade (t/d)	Operador	Municípios com transbordo (dez/2024)	Qtde transbordo
Palmas	Grande	300	não consta	—	0
Araguaína	Grande	290	Litucera	Aragominas; Bandeirantes do TO; Barra do Ouro; Carmolândia; Muricilândia; Nova Olinda	6
Gurupi	Grande	100	não consta	Santa Rita do TO; Sucupira	2
Porto Nacional	Grande	400	Base Fortins	Aliança do TO; Brejinho de Nazaré; Ipueiras; Lajeado; Monte do Carmo; Nova Rosalândia	6
Couto Magalhães	Pequeno	≤ 15	não consta	Juarina	1
Dois Irmãos do TO	Pequeno	≤ 15	não consta	—	0
Itapiratins	Pequeno	≤ 15	não consta	—	0
Palmeirópolis	Pequeno	≤ 15	não consta	—	0
Santa Rosa do TO	Pequeno	≤ 15	não consta	—	0
Wanderlândia	Pequeno	≤ 15	Ambientalix	Araguanã; Arapoema; Xambioá	3
Total	10				18

Fonte: Adaptado de dados do SISECO/TO (dez/2024), 2026

A partir dos dados apresentados no Quadro 3, verifica-se que, embora existam dez aterros licenciados no estado, o transbordo efetivamente registrado no mês de referência concentrou-se em apenas cinco receptores (Araguaína, Porto Nacional, Gurupi, Wanderlândia e Couto Magalhães). Esta disparidade revela que a capacidade e o arranjo operacional para receber resíduos de terceiros estão restritos a poucos polos, não sendo uma característica extensiva a todas as unidades licenciadas.

A Tabela 1 detalha essa hierarquia logística. Observa-se que Araguaína e Porto Nacional exercem maior influência regional, atendendo, cada uma, 6 municípios, o que representa conjuntamente, 12 municípios ou 66,6% dos casos de transbordo identificados. Quando se inclui Gurupi (2 municípios), observa-se que 77,8% dos transbordos (14 de 18) se concentram nos três polos que estruturam a modelagem regional desta dissertação. Por sua vez, os destinos Wanderlândia (3 municípios) e Couto Magalhães (1 município) representam recepções pontuais em aterros de pequeno porte, cuja aptidão para recebimento intermunicipal contínuo requer cautela interpretativa, pois depende da compatibilidade entre capacidade licenciada, operação efetiva e preservação da vida útil do empreendimento. Por essa razão na modelagem regional desta dissertação, tais arranjos são tratados como pontuais e não como polos estruturantes de regionalização.

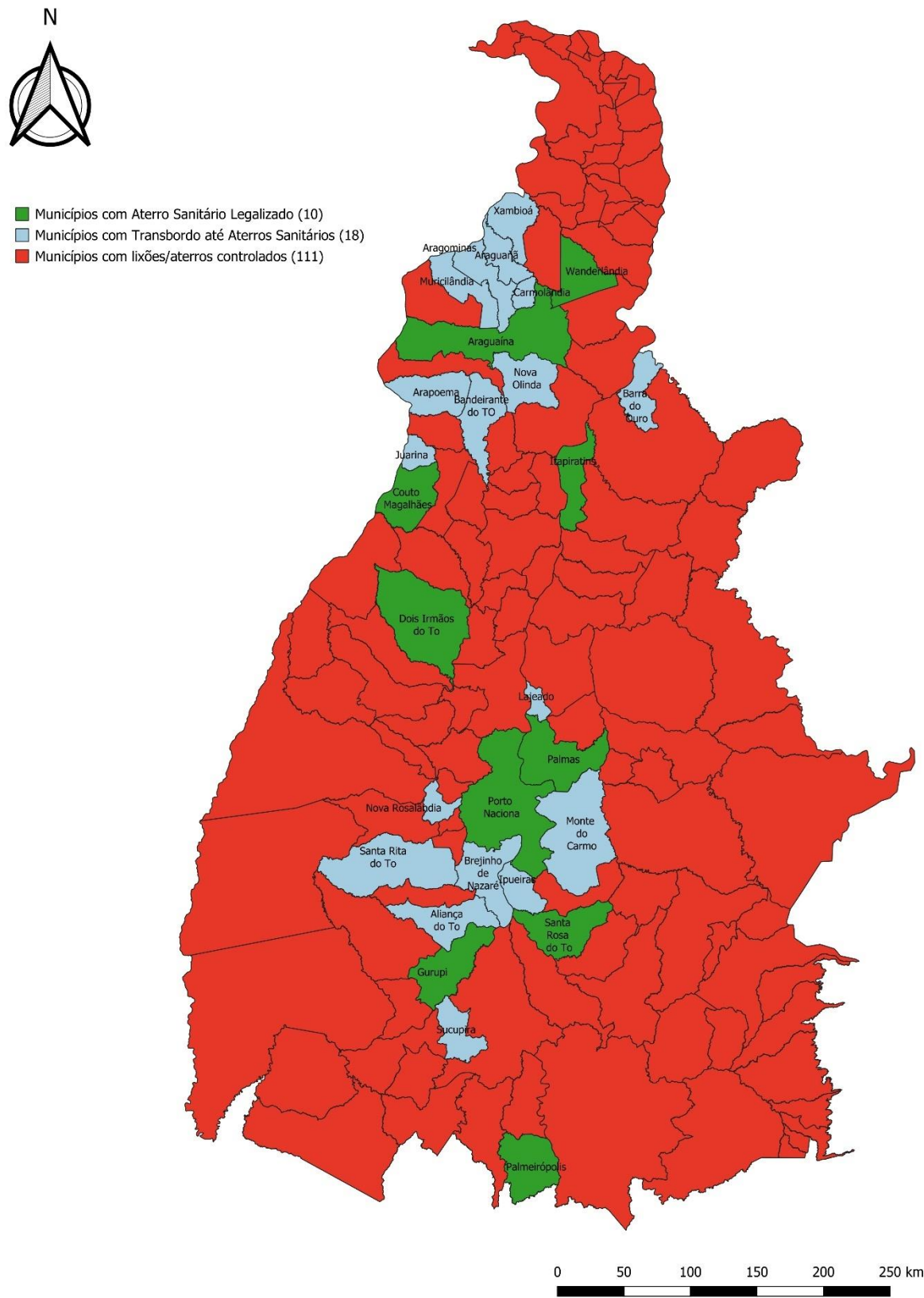
Tabela 1 – Diagnóstico de Municípios que fazem transbordo (dez/2024)

Destino do transbordo	Operador	Número municípios c/transbordo	% entre os que fazem transbordo (n=18)	% do total de municípios (n=139)
Porto Nacional	Base Fortins	6	33,33%	4,32%
Araguaína	Litucera	6	33,33%	4,32%
Wanderlândia	Ambientalix	3	16,67%	2,16%
Gurupi	-	2	11,11%	1,44%
Couto Magalhães	-	1	5,56%	0,72%
TOTAL		18	100%	12,95%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

A leitura espacial do diagnóstico (Figura 6) revela uma estrutura de rede concentrada, na qual se observa que a destinação adequada se organiza em torno de aterros receptores licenciados, enquanto a destinação inadequada permanece disseminada na maior parte do território. Essa configuração evidencia assimetria territorial de acesso à destinação ambientalmente adequada e sugere que a evolução da conformidade não ocorre de forma difusa e autônoma, mas depende da existência de infraestrutura licenciada e de conexões logísticas viáveis entre municípios geradores e polos receptores.

Figura 6 – Mapa de disposição de RSU no Tocantins (dez/2024)



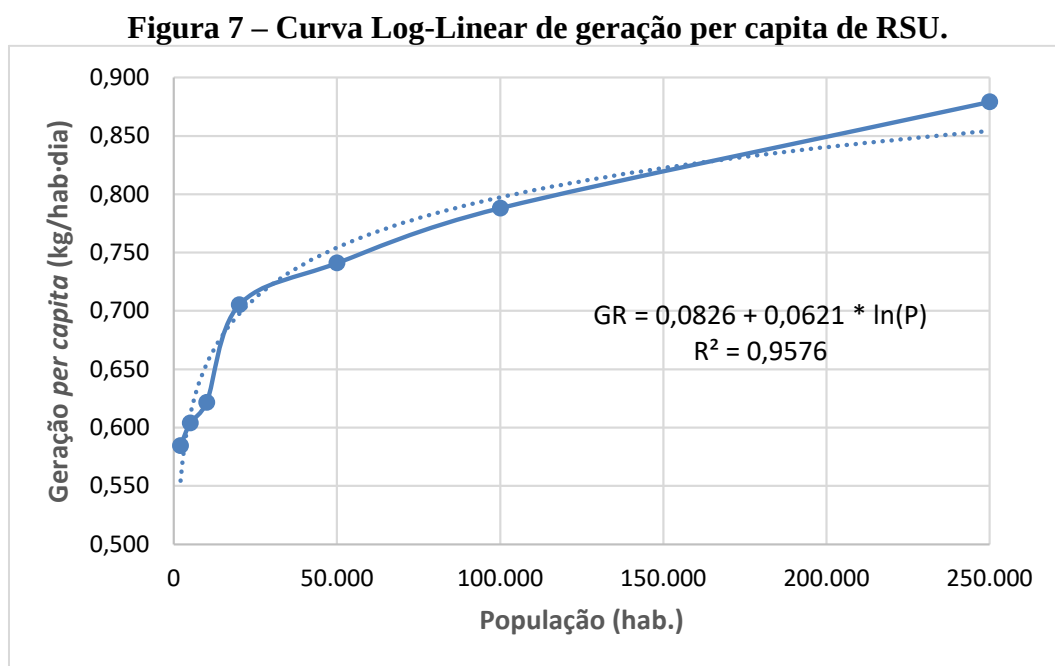
Fonte: Adaptado de dados do SISECO/TO (dez/2024), 2026

Em termos de tendência, a redução da inadequação de 84% (dez/2023) para 79,9% (dez/2024) indica um avanço de 4,1 pontos percentuais. Apesar disso, o quadro permanece crítico e a evolução deve ser interpretada com cautela, pois o registro de municípios que realizaram destinação adequada apenas de forma “parcial” ao longo do ano e não mantiveram o serviço até o marco de dezembro indica que parte da conformidade pode ser intermitente, sensível a restrições orçamentárias, descontinuidade contratual ou dificuldades operacionais. Assim a fotografia de dezembro é especialmente relevante por refletir a sustentabilidade do arranjo no fechamento do exercício.

Dessa forma, o diagnóstico não apenas confirma a dimensão do passivo de destinação final no estado, como também delimita o gargalo central a ser enfrentado nas seções subsequentes: a viabilidade econômico-operacional de ampliar o acesso a destinos licenciados por meio de soluções regionalizadas (transbordo e transporte) em comparação à internalização de soluções individuais.

4.2 Curva log-linear obtida para estimativa de geração per capita de RSU

A relação entre população municipal e geração per capita de RSU resultou em curva log-linear, conforme apresentado na Figura 7.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

O modelo ajustado revelou um coeficiente de determinação $R^2 = 0,9576$, o que indica um excelente nível de aderência estatística. Na prática, isso significa que 95,76% da variação observada na geração de resíduos per capita pode ser explicada exclusivamente pela variável populacional. A equação resultante, expressa como $GR = 0,0826 + 0,0621 \cdot \ln(P)$, onde GR representa a geração per capita de resíduos (em kg/hab·dia) e $\ln(P)$ o logaritmo natural da população, reflete com precisão a relação entre as variáveis analisadas.

A aplicação da equação ao conjunto dos municípios tocaninenses ($n = 139$) produziu valores estimados entre 0,555 e 0,866 kg/hab·dia para uma faixa que varia de 2.000 a 250.000 habitantes, concentrando-se majoritariamente nas faixas típicas de municípios pequenos. Para evitar extrapolação em populações muito baixas, adotou-se como limite inferior de aplicação da curva o patamar de 2.000 habitantes, de modo que municípios com população inferior a esse quantitativo foram representados pelo valor mínimo da curva (0,555 kg/hab·dia). Essa decisão contribui para estabilidade do parâmetro nas menores populações e impede que o modelo gere estimativas artificiais fora do domínio em que apresentou aderência.

A Tabela 2 sintetiza as estimativas por faixas populacionais reorganizadas para permitir comparação com o PERS/TO, 2017 destacando-se que tais faixas não são as mesmas utilizadas na segmentação do ajuste descrita na metodologia. Observa-se que, na faixa até 5.000 habitantes, a geração per capita estimada apresenta média de 0,583 e mediana de 0,586 kg/hab·dia, com variação de 0,555 a 0,611. No estrato acima de 100 mil habitantes, a média e a mediana situam-se em 0,849 kg/hab·dia e o intervalo entre 0,831 e 0,866. Nas faixas intermediárias, os valores centrais situam-se entre esses extremos, conforme apresentado na tabela.

Tabela 2 – Geração per capita de RSU por faixa populacional

Faixa populacional	n° municípios	Média (kg/hab·dia)	Mediana (kg/hab·dia)	Intervalo (min-máx) (kg/hab·dia)
Até 5.000	80	0,583	0,586	0,555 – 0,611
5.001 a 25.000	52	0,648	0,646	0,613 – 0,711
25.001 a 100.000	5	0,755	0,757	0,727 – 0,788
Acima de 100.001	2	0,849	0,849	0,831 – 0,866
Total	139			

Nota: Estimativas obtidas pela equação $GR=0,0826+0,0621 \cdot \ln(P)$. Faixas populacionais adotadas conforme referência do PERS/TO, 2017.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

A validação externa foi realizada por confronto com os índices per capita do PERS/TO. Conforme Tabela 3, observa-se boa aderência entre as abordagens em dois sentidos. Primeiro, há convergência de tendência: tanto o PERS/TO quanto o presente estudo apontam crescimento da geração per capita à medida que aumenta o porte municipal. Segundo, há aderência de ordem

de grandeza em todas as faixas, com diferenças pequenas em termos absolutos, o que indica que o modelo estimado produz níveis compatíveis com a referência estadual de planejamento

Tabela 3 – Comparativo entre índices do PERS/TO e média estimada pela regressão

Faixa populacional	n° municípios	Estimativa Geração	Estimativa geração	Variação %
		PERS/TO (kg/hab·dia)	média Regressão (kg/hab·dia)	
Até 5.000	80	0,500	0,583	16,60%
5.001 a 25.000	52	0,530	0,648	22,26%
25.001 a 100.000	5	0,590	0,755	27,97%
Acima de 100.001	2	0,780	0,849	8,85%
Total	139			

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

A comparação evidencia uma vantagem operacional do modelo deste estudo, pois enquanto o PERS/TO atribui um único valor fixo por classe, a regressão permite estimativas contínuas, capturando variações dentro da própria faixa populacional. Isso evita duas distorções típicas de parâmetros por degraus: (i) municípios com populações bem distintas, porém enquadrados na mesma faixa, receberem o mesmo índice per capita; e (ii) municípios com populações muito próximas, mas posicionados em lados opostos de um ponto de corte, receberem índices diferentes apenas por cruzarem o limite da classe. No modelo contínuo, essas transições são graduais, o que melhora a consistência do cálculo das massas estimadas e, por consequência, das análises de dimensionamento e custos subsequentes.

Em síntese, a elevada aderência do ajuste e a compatibilidade com a referência estadual (PERS/TO) sustentam a adoção da equação como parâmetro padronizado de geração per capita nesta dissertação.

4.3 Configuração das Regionais e Amostra Municipal Selecionada

A aplicação dos filtros de distância e capacidade resultou em um cenário heterogêneo de raios de abrangência, que variou de 100 a 250 km para os três polos regionais delimitados no estudo, conforme pode ser observado na Tabela 4.

Tabela 4 – Consolidação das Regionais selecionadas

Regional	Distância de Corte (km)	Municípios Selecionados (n°)	Massa Total (t/d)	Capacidade Licenciada do aterro (t/d)	Taxa de Ocupação (%)
Araguaína	200	34	289,21	290	99,73%
Gurupi	100	9	97,24	100	97,24%
Porto Nacional	250	38	211,95	400	52,99%
TOTAL		81	598,4	790	

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

O equilíbrio entre a oferta de tratamento e a demanda gerada e, em último caso, a distância de 250 km foram os fatores limites para o fechamento de cada polo. A análise dos dados consolidados revela que a saturação da capacidade licenciada foi o principal vetor de delimitação para os polos de Araguaína e Gurupi, que operam em patamares críticos de utilização, com 99,7% e 97,2% de ocupação, respectivamente.

Diferentemente dos demais, o polo de Porto Nacional apresentou uma dinâmica de expansão territorial mais acentuada, atingindo o limite geográfico do estudo (250 km) sem exaurir sua capacidade de recebimento, mantendo uma folga operacional de aproximadamente 47%.

Adicionalmente, a configuração da rede reflete a exclusão estratégica de municípios com soluções próprias, assegurando que o modelo proposto otimize a massa de RSU disponível para garantir a viabilidade econômica das rotas de transbordo. Nesse sentido, os Quadros 4, 5 e 6, detalham a configuração para cada regional.

Quadro 4 – Matriz de seleção e delimitação – Regional de Araguaína (dist ≤ 200 km)

Categoria de análise	Municípios	n	Distância Média Aterro (km)	Massa total (t/d)	Justificativa Técnica (Critério)
Polo Receptor	Araguaína	1	32,5	142,35	município-sede c/ aterro grande porte (290 t/d)
Principais contribuintes	Colinas, Guaraí, Tocantinópolis	3	139,1	58,59	inclusão por viabilidade (dist. ≤ 200 km)
Demais selecionados	Aguiarnópolis, Ananás, Angico, Aragominas, Babaçulândia, Bandeirantes do TO, Barra do Ouro, Bernardo Sayão, Brasilândia do TO, Cachoeirinha, Carmolândia, Darcinópolis, Filadélfia, Tabocão, Goiatins, Itaporã, Juarina, Luzinópolis, Muricilândia, Nazaré, Nova Olinda, Palmeirante, Pau d'arco, Colméia, Piraquê, Presidente Kennedy, Riachinho, Santa Fé do Araguaia, Santa Terezinha do TO, Tupiratins	30	131,59	88,27	inclusão por viabilidade (dist. ≤ 200 km)
Excluídos	Couto Magalhães, Palmeiras do TO, Wanderlândia	3	132,27	13,22	tem solução local ou aterro próprio
	Araguanã, Arapoema, Xambioá	3	139	12,92	transbordo para aterro de Wanderlândia
Total Geral		40		315,34	
Total selecionados		34		289,21	tx de ocupação 99,72%

Nota: taxa ocupação = massa seleção/capacidade licenciada (290 t/d)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

A Regional de Araguaína (Quadro 4), atingiu o maior índice de saturação operacional do estudo, operando com 99,72% de sua capacidade licenciada (290 t/d). A delimitação da

distância de 200 km foi definida para compatibilizar a capacidade de suporte do aterro com a demanda somada dos 34 municípios, garantindo o equilíbrio do balanço de massa diário.

A carga orgânica é concentrada na sede Araguaína (142,35 t/d) e nos municípios de Colinas, Guaraí e Tocantinópolis, que figuram como principais contribuintes. Quanto às exclusões de municípios que estariam dentro do raio, fundamentaram-se na existência de solução de destinação própria (Couto Magalhães, Palmeiras do Tocantins e Wanderlândia) ou de fluxos de transbordo consolidados para o aterro de Wanderlândia (Araguanã, Arapoema, Xambioá).

Dada a exaustão da folga operacional (99,72% de saturação), a viabilidade do arranjo, sem depender de ampliações imediatas no licenciamento, admite eventual exclusão de municípios periféricos da regional, visando reduzir o aporte diário e restaurar uma margem de segurança operacional. Alternativamente, a sustentabilidade deste cenário requer estratégias de desvio de massa, como o fortalecimento da coleta seletiva nos principais contribuintes.

Quadro 5 – Matriz de seleção e delimitação – Regional de Gurupi (dist ≤ 100 km)

Categoria de análise	Municípios	n	Distância Média Aterro (km)	Massa total (t/d)	Justificativa Técnica (Critério)
Polo Receptor	Gurupi	1	8	3,30	município-sede c/ aterro médio porte (100 t/d)
Principais contribuintes	Formoso do Araguaia, Peixe	2	106,65	29,95	inclusão por viabilidade (dist. ≤ 100 km)
Demais selecionados	Cariri do TO, Crixás do TO, Dueré, Figueirópolis, Santa Rita do TO, Sucupira	6	142,02	16,30	inclusão por viabilidade (dist. ≤ 100 km)
Excluídos	Aliança do TO, Ipueiras	2	120,50	6,33	transbordo para aterro Porto Nacional
Total Geral		11		55,87	
Total selecionados		9		49,55	tx de ocupação 97,24%

Nota: taxa ocupação = massa seleção/capacidade licenciada (100 t/d)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

A Regional de Gurupi (Quadro 5) apresentou a delimitação mais restrita do estudo, encerrando-se no raio de 100 km para respeitar a capacidade de médio porte (100 t/d) do aterro receptor. Esta configuração acomodou 9 municípios, atingindo uma taxa de ocupação de 97,24%. A geração é liderada pela sede Gurupi (67,04 t/d) e pelos principais contribuintes Formoso do Araguaia e Peixe. Foram registrados 2 municípios excluídos (Aliança do Tocantins e Ipueiras), que, apesar da proximidade com o polo sul, foram mantidos vinculados à Regional Porto Nacional por já possuírem fluxos operacionais de transbordo consolidados para aquela unidade.

Quadro 6 – Matriz de seleção e delimitação – Regional de Porto Nacional (dist ≤ 250 km)

Categoria de análise	Municípios	n	Distância Média Aterro (km)	Massa total (t/d)	Justificativa Técnica (Critério)
Polo Receptor	Porto Nacional	1	22	49,62	município-sede c/ aterro grande porte (400 t/d)
Principais contribuintes	Lagoa da Confusão, Miracema, Paraíso do TO	3	142,67	62,93	inclusão por viabilidade (dist. ≤ 250 km)
Demais selecionados	Abreulândia, Aliança do TO, Aparecida do Rigo Negro, Barrolândia, Bom Jesus do TO, Brejinho de Nazaré, Chapada de Areia, Chapada da Natividade, Cristalândia, Crixás do TO, Divinópolis do TO, Fátima, Ipueiras, Lagoa do Tocantins, Lajeado, Miranorte, Monte do Carmo, Monte Santo do TO, Natividade, Nova Rosalândia, Novo Acordo, Oliveira de Fátima, Pedro Afonso, Pindorama do TO, Pium, Ponte Alta do TO, Pugmil, Rio dos bois, Rio Sono, Santa Rosa do TO, Santa Tereza do TO, Silvanópolis, Tocantínia, Tupirama	34	139,15	99,40	inclusão por viabilidade (dist. ≤ 250 km)
Excluídos	Cariri do TO, Dueré, Figueirópolis, Formoso do Araguaia, Peixe	5	217,80	27,40	inclusão na regional de Gurupi
	Santa Rita do Tocantins, Sucupira	2	167,5	2,10	transbordo p/ aterro Gurupi
	Dois Irmãos, Gurupi, Palmas	3	170,33	333,16	tem aterro próprio
Total Geral		48		574,61	
Total selecionados		38		211,95	tx ocupação 52,99%

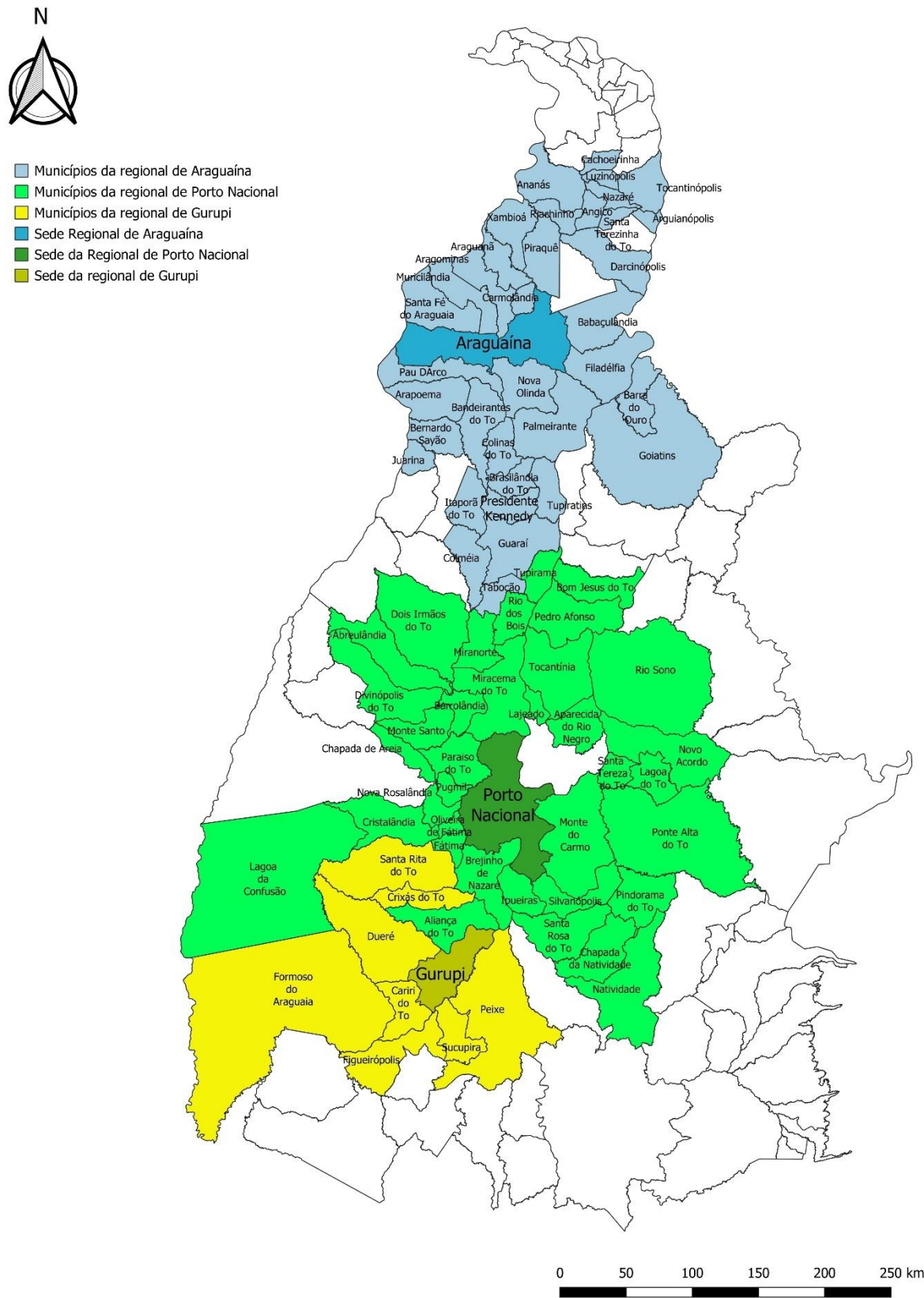
Nota: taxa ocupação = massa seleção/capacidade licenciada (400 t/d)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

A Regional de Porto Nacional (Quadro 6) atingiu a menor taxa de ocupação entre as regionais avaliadas, 52,98% (211,95 t/d) em relação à sua capacidade de 400 t/d. Abrangeu 38 municípios, com destaque para a sede Porto Nacional (49,62 t/d) e os principais contribuintes Paraíso do Tocantins, Lagoa da Confusão e Miracema. O elevado número de exclusões (10 municípios) justifica-se pelo redirecionamento de 7 localidades para o polo de Gurupi por viabilidade logística e pela exclusão de Palmas, Gurupi e Dois Irmãos, que já dispõem de solução de destinação própria.

A distribuição espacial detalhada desses agrupamentos, evidenciando as áreas de influência e a conectividade logística entre os municípios selecionados e seus respectivos polos receptores, pode ser visualizada na Figura 8.

Figura 8 – Mapa de Situação das Regionais Araguaína, Gurupi e Porto Nacional.



Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

4.4 Custos estimados de disposição final em aterro próprio

A análise permitiu mensurar os custos de pré-implantação, implantação (CAPEX) e operação (OPEX) de aterros individuais para os 78 municípios “não sede” englobados no Estudo. A modelagem revelou que a internalização da disposição final impõe um ônus financeiro inversamente proporcional ao porte populacional, onde a rigidez dos custos operacionais e a necessidade de gestão técnica especializada tornam o modelo insustentável para a realidade fiscal da maioria das prefeituras tocantinenses.

Para fundamentar essa afirmação, os dados foram organizados em faixas populacionais, permitindo identificar o comportamento dos indicadores de custo à medida que a escala de geração de resíduos é reduzida. A aplicação do Método do Fator de Capacidade, com adoção do expoente de escala ($n=0,7$), foi determinante para que as estimativas refletissem as adaptações técnicas viáveis ao pequeno porte, sem negligenciar os requisitos normativos de conformidade ambiental. Os resultados consolidados na Tabela 5 evidenciam a acentuada desproporcionalidade entre o investimento de capital exigido e a massa de resíduos efetivamente manejada.

Tabela 5 – Síntese dos custos médios estimados para ASPP por faixa populacional

Faixa Populacional	n	Pop. média (hab.)	Massa média (t/mês)	CAPEX médio (R\$)	OPEX médio (R\$/mês)	Custo Mensal médio (R\$/mês)	Custo Unitário médio (R\$/t)	Custo per capita médio (R\$/hab·mês)
Até 5.000	48	3.174	56,78	R\$ 1.768.945,47	R\$ 57.083,42	R\$ 71.573,75	R\$ 1.430,02	R\$ 25,03
5.001 a 10.000	18	6.888	132,53	R\$ 1.937.281,01	R\$ 76.711,34	R\$ 92.580,58	R\$ 718,93	R\$ 13,75
10.001 a 20.000	8	14.077	290,00	R\$ 2.207.302,13	R\$ 108.195,79	R\$ 126.276,91	R\$ 449,46	R\$ 9,19
20.001 a 50.000	3	27.208	593,99	R\$ 2.627.225,31	R\$ 157.158,81	R\$ 178.679,73	R\$ 306,35	R\$ 6,66
Acima de 50.000	1	52.360	1206,20	R\$ 3.315.528,77	R\$ 237.414,96	R\$ 264.574,12	R\$ 219,34	R\$ 5,05
Total de municípios		78						

Nota: O “Custo Mensal médio” compreende a soma do OPEX + CAPEX equivalente

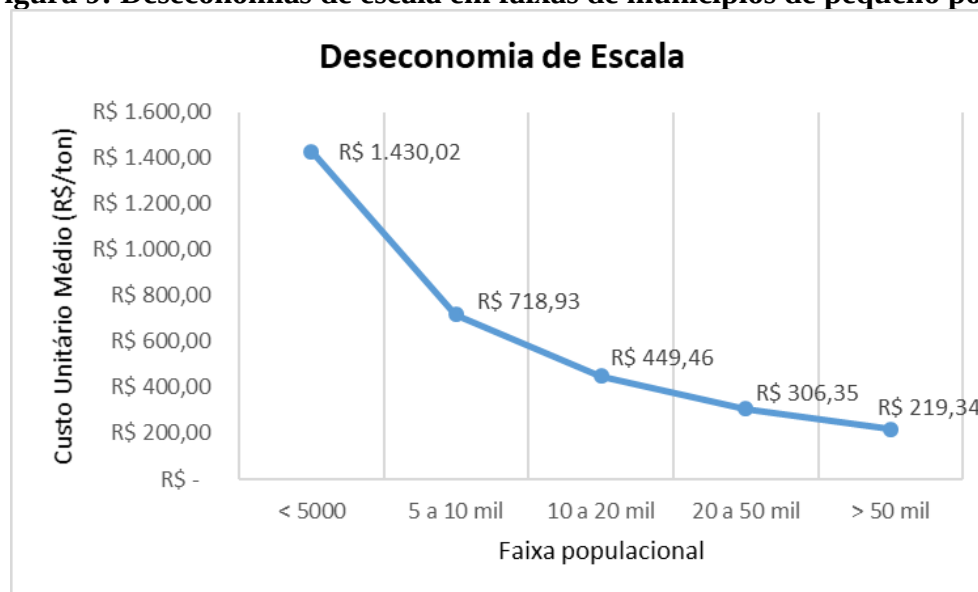
Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Os dados expostos revelam que o investimento inicial (CAPEX) apresenta uma rigidez estrutural marcante, caracterizando uma barreira de entrada financeira quase uniforme para as municipalidades. Nota-se que, enquanto o custo de implantação médio para a faixa de até 5.000 habitantes é de aproximadamente R\$ 1,76 milhão, o valor necessário para municípios com população dez vezes maior não cresce na mesma proporção (R\$ 3,31 milhões). Essa baixa elasticidade do CAPEX demonstra que os custos fixos de pré-implantação, licenciamento e infraestrutura básica (impermeabilização, cercamento e guarita) oneram de forma punitiva os orçamentos das cidades menores, exigindo aportes iniciais que muitas vezes superam a capacidade de investimento anual de pequenos municípios.

No que tange ao custeio operacional (OPEX), o estudo identifica que este componente é o principal indutor da inviabilidade do modelo individualizado. Diferente da manutenção rudimentar verificada historicamente em lixões, a operação de um aterro sanitário em conformidade legal demanda um corpo técnico mínimo qualificado e monitoramento ambiental recorrente. A dificuldade de diluir salários de engenheiros, operadores e gastos com manutenção em uma massa reduzida de resíduos eleva o OPEX médio para R\$ 57.083 mil mensais na faixa de menor porte (até 5000 hab.). Tal cenário aponta para um risco de governança, uma vez que a maioria das prefeituras não dispõe de quadros técnicos próprios, tornando a conformidade ambiental dependente de terceirizações onerosas que pressionam o limite de gastos públicos.

O custo unitário médio de R\$ 1.430,02/t na faixa de menor porte constitui o indicador mais contundente da ineficiência desta alternativa, sobretudo para municípios de pequeno porte. Quando confrontado com o custo unitário verificado na maior faixa populacional deste estudo (R\$ 219,34/t), observa-se uma disparidade superior a 500%, evidenciando a severidade da deseconomia de escala dentro do próprio modelo de internalização, conforme por ser verificado na Figura 9. Ademais, ao comparar com a tarifa média de mercado praticada por aterros regionais de grande porte no Tocantins (aprox. R\$ 165,00/t), o "prêmio de ineficiência" pago pelo município para manter uma operação individual torna-se injustificável sob a ótica da gestão pública. O custo por tonelada oito vezes superior ao de mercado ratifica que a internalização via aterros sanitários individuais ignora a lógica da economia de escala e fragiliza a sustentabilidade financeira do saneamento básico municipal.

Figura 9: Deseconomias de escala em faixas de municípios de pequeno porte



Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Por fim, a análise per capita demonstra que a solução individualizada é socialmente desigual, impondo um custo de cidadania ou uma sobrecarga orçamentária desproporcional para as municipalidades de menor porte. Enquanto o cidadão de um centro maior arca, segundo o estudo, com custos diluídos pela escala da ordem de (R\$ 5,05/hab·mês), o habitante de uma pequena localidade precisaria de um esforço tributário cinco vezes superior (R\$ 25,03/hab·mês) para manter o mesmo padrão de conformidade ambiental. Esse desequilíbrio evidencia que a manutenção de sistemas isolados compromete a equidade no acesso aos serviços de saneamento básico. Diante desse cenário de inviabilidade sistêmica, as seções seguintes detalham essa dinâmica de custos em cada recorte territorial, analisando as especificidades e os indicadores obtidos para as áreas de influência dos polos regionais de Araguaína, Porto Nacional e Gurupi

4.4.1 Custos aterros - Regional de Araguaína

A análise da Regional de Araguaína, que abrange 33 municípios "não sede", revela um cenário de vulnerabilidade econômica acentuado pela característica demográfica da região. Do total de municipalidades analisadas, 21 possuem população inferior a 5.000 habitantes, representando 64% da amostra dessa regional. Essa predominância de pequenos aglomerados urbanos explica o elevado custo médio unitário regional de R\$ 1.048,95/t para a alternativa de aterro individual, valor que reflete não apenas a escassez de escala operacional, mas também a estrutura de custos fixos indivisíveis que caracteriza esse modelo de disposição final. Nesse sentido, é importante compreender que a viabilidade econômica de um aterro sanitário de pequeno porte não depende exclusivamente do volume de resíduos gerado, mas também da capacidade do município de absorver um conjunto mínimo de despesas relacionadas à infraestrutura, licenciamento, operação técnica e monitoramento ambiental, independentemente da quantidade de toneladas processadas mensalmente.

A análise dos dados constantes da Tabela 6 permite identificar o impacto da barreira de entrada financeira nesta regional. Nota-se que o investimento inicial (CAPEX) para **Tupiratins**, o menor município da amostra, é de R\$ 1,70 milhão, enquanto para **Colinas do Tocantins**, com uma população dezoito vezes maior, o valor de implantação sequer dobra, situando-se em R\$ 2,83 milhões. Essa baixa elasticidade do CAPEX frente ao aumento expressivo de escala indica a presença de um piso de investimento (infraestrutura mínima e requisitos operacionais/administrativos) que não se reduz proporcionalmente em municípios pequenos, exigindo um imobilizado de capital que não encontra justificativa na massa de resíduos manejada.

Tabela 6 – Custos de Implantação e Operação de ASPP - Regional de Araguaína

Município	População IBGE 2022 (hab.)	Massa (t/mês)	CAPEX ASPP (R\$)	OPEX ASPP (R\$/mês)	Custo mensal ASPP (R\$/mês)	Custo por tonelada ASPP (R\$/t)
Colinas do TO	34233	761,14	R\$ 2.833.552,89	R\$ 181.216,60	R\$ 201.258,09	R\$ 264,42
Guaraí	24775	535,72	R\$ 2.557.314,00	R\$ 149.007,16	R\$ 167.094,83	R\$ 311,91
Tocantinópolis	22615	485,11	R\$ 2.490.809,04	R\$ 141.252,68	R\$ 158.869,98	R\$ 327,49
Goiatins	12433	252,65	R\$ 2.151.825,36	R\$ 101.727,20	R\$ 116.946,89	R\$ 462,88
Nova Olinda	10367	207,11	R\$ 2.075.753,88	R\$ 92.857,27	R\$ 107.538,91	R\$ 519,24
Ananás	10325	206,19	R\$ 2.074.171,28	R\$ 92.672,74	R\$ 107.343,19	R\$ 520,60
Colméia	8941	176,12	R\$ 2.021.099,40	R\$ 86.484,56	R\$ 100.779,64	R\$ 572,22
Babaçulândia	7880	153,34	R\$ 1.979.061,57	R\$ 81.582,95	R\$ 95.580,70	R\$ 623,32
Filadélfia	7712	149,76	R\$ 1.972.283,82	R\$ 80.792,67	R\$ 94.742,47	R\$ 632,64
Santa Fé do Araguaia	7216	139,22	R\$ 1.952.061,83	R\$ 78.434,78	R\$ 92.241,56	R\$ 662,56
Darcinópolis	5827	110,07	R\$ 1.893.537,97	R\$ 71.610,91	R\$ 85.003,75	R\$ 772,28
Aragominas	5290	98,96	R\$ 1.870.040,78	R\$ 68.871,13	R\$ 82.097,78	R\$ 829,61
Palmeirante	4798	88,87	R\$ 1.848.007,88	R\$ 66.302,10	R\$ 79.372,91	R\$ 893,13
Nazaré	4521	83,23	R\$ 1.835.367,66	R\$ 64.828,25	R\$ 77.809,66	R\$ 934,85
Aguiarnópolis	4497	82,75	R\$ 1.834.263,95	R\$ 64.699,56	R\$ 77.673,16	R\$ 938,70
Barra do Ouro	4476	82,32	R\$ 1.833.297,04	R\$ 64.586,82	R\$ 77.553,58	R\$ 942,11
Bernardo Sayão	4229	77,32	R\$ 1.821.841,75	R\$ 63.251,13	R\$ 76.136,87	R\$ 984,66
Pau D'Arco	4043	73,58	R\$ 1.813.110,52	R\$ 62.233,07	R\$ 75.057,06	R\$ 1.020,09
Riachinho	3960	71,91	R\$ 1.809.183,73	R\$ 61.775,21	R\$ 74.571,42	R\$ 1.036,97
Tabocão	3455	61,85	R\$ 1.784.850,83	R\$ 58.937,99	R\$ 71.562,10	R\$ 1.156,99
Bandeirantes do TO	3407	60,90	R\$ 1.782.495,75	R\$ 58.663,39	R\$ 71.270,84	R\$ 1.170,24
Muricilândia	3367	60,11	R\$ 1.780.527,20	R\$ 58.433,86	R\$ 71.027,38	R\$ 1.181,57
Presidente Kennedy	3047	53,82	R\$ 1.764.572,67	R\$ 56.573,56	R\$ 69.054,24	R\$ 1.282,95
Angico	2876	50,49	R\$ 1.755.886,21	R\$ 55.560,72	R\$ 67.979,96	R\$ 1.346,40
Luzinópolis	2717	47,41	R\$ 1.747.699,73	R\$ 54.606,18	R\$ 66.967,52	R\$ 1.412,61
Santa Terezinha do TO	2406	41,43	R\$ 1.731.351,65	R\$ 52.699,99	R\$ 64.945,70	R\$ 1.567,67
Itaporã do TO	2404	41,39	R\$ 1.731.244,98	R\$ 52.687,55	R\$ 64.932,51	R\$ 1.568,80
Piraquê	2282	39,06	R\$ 1.724.697,53	R\$ 51.924,12	R\$ 64.122,77	R\$ 1.641,44
Juarina	2243	38,32	R\$ 1.722.587,38	R\$ 51.678,08	R\$ 63.861,80	R\$ 1.666,35
Carmolândia	2201	37,53	R\$ 1.720.305,30	R\$ 51.411,99	R\$ 63.579,57	R\$ 1.694,19
Brasilândia do TO	1974	33,32	R\$ 1.708.002,60	R\$ 49.977,49	R\$ 62.058,06	R\$ 1.862,29
Cachoeirinha	1961	33,10	R\$ 1.707.348,05	R\$ 49.901,17	R\$ 61.977,11	R\$ 1.872,19
Tupiratis	1874	31,64	R\$ 1.702.933,55	R\$ 49.386,44	R\$ 61.431,15	R\$ 1.941,84
MÉDIA			R\$ 1.910.032,96	R\$ 73.534,22	R\$ 87.043,73	R\$ 1.048,95

Nota: O “Custo Mensal” compreende a soma do OPEX + CAPEX equivalente.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

No que concerne à operação, a Regional de Araguaína exibe dispersão expressiva quando observados os indicadores unitários, os mesmos trazem custos por tonelada que variam de R\$ 264,42/t (Colinas do Tocantins) a R\$ 1.941,84/t (Tupiratis). Essa amplitude indica que a distribuição dos custos não é homogênea e que o desempenho econômico do ASPP difere substancialmente entre os municípios, sobretudo em função da escala. Nesse contexto, o custo médio regional deve ser interpretado com cautela, sendo metodologicamente mais adequado analisar os resultados município a município ou por faixas populacionais, conforme adotado na síntese geral sugerindo que a distribuição não é homogênea e que o desempenho econômico do

ASPP difere substancialmente entre os municípios selecionados. Nessa configuração, o custo médio regional deve ser interpretado com cautela, sendo mais recomendável analisar caso a caso ou por faixas populacionais como foi feito na análise geral.

Em termos de implicação territorial, a Regional de Araguaína concentra a maior parte dos municípios no estrato de menor porte e menor massa mensal. Nessa configuração, os valores de R\$/t apresentados na Tabela 2 tendem a se posicionar em patamares substancialmente superiores ao parâmetro de R\$ 165,00/t adotado para disposição em aterros regionais, o que sinaliza menor atratividade econômica da internalização para a maioria das municipalidades do recorte.

4.4.2 Custos aterros - Regional de Gurupi

A Regional de Gurupi contempla 8 municípios “não sede” e os indicadores reafirmam, como nas demais regionais, que a manutenção de uma estrutura técnica mínima e o cumprimento dos requisitos ambientais impõem um custo fixo que não retrocede proporcionalmente à menor geração de resíduos. A Tabela 7 detalha a composição de custos.

Tabela 7 – Custos de Implantação e Operação de ASPP - Regional de Gurupi

Município	População IBGE 2022 (hab.)	Massa (t/mês)	CAPEX ASPP (R\$)	OPEX ASPP (R\$/mês)	Custo mensal ASPP (R\$/mês)	Custo por tonelada ASPP (R\$/t)
Formoso do Araguaia	18.881	398,58	R\$ 2.371.996,84	R\$ 127.399,18	R\$ 146.829,40	R\$ 368,38
Peixe	9.317	184,25	R\$ 2.035.702,70	R\$ 88.187,31	R\$ 104.862,77	R\$ 569,12
Figueirópolis	5.211	97,33	R\$ 1.866.537,05	R\$ 68.462,60	R\$ 83.752,34	R\$ 860,47
Dueré	4.248	77,71	R\$ 1.822.728,46	R\$ 63.354,52	R\$ 78.285,41	R\$ 1.007,45
Cariri do Tocantins	4.007	72,86	R\$ 1.811.409,70	R\$ 62.034,75	R\$ 76.872,92	R\$ 1.055,14
Santa Rita do TO	2.219	37,87	R\$ 1.721.284,80	R\$ 51.525,83	R\$ 65.626,08	R\$ 1.732,93
Sucupira	1.577	26,62	R\$ 1.687.371,73	R\$ 47.571,93	R\$ 61.394,04	R\$ 2.306,16
Crixás do Tocantins	1.470	24,82	R\$ 1.681.554,26	R\$ 46.893,62	R\$ 60.668,07	R\$ 2.444,77
MÉDIA			R\$ 1.874.823,19	R\$ 69.428,72	R\$ 84.786,38	R\$ 1.293,05

Nota: O “Custo Mensal” compreende a soma do OPEX + CAPEX equivalente.

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Para essa regional, nota-se que o município de Crixás do Tocantins enfrenta um custo unitário de R\$ 2.444,77/t, valor que se distancia drasticamente da média regional de R\$ 1.293,05/t, configurando um desvio estatístico que reforça a fragilidade das menores gestões. Mesmo em municípios de porte intermediário para a realidade estadual, como Peixe, o custo unitário (R\$ 569,12/t) permanece em um patamar que desafia a sustentabilidade financeira da operação individualizada.

Quanto ao investimento de capital, a Regional de Gurupi replica a "barreira de entrada" observada nos polos anteriores, com necessidade de investimento que variam R\$ 1,68 milhão (Crixás do Tocantins) a R\$ 2,37 milhões (Formoso do Araguaia). Esta rigidez orçamentária confirma que a internalização da disposição final via aterros sanitários individuais obriga as pequenas administrações a imobilizarem recursos vultosos para uma operação de baixa produtividade, mantendo os custos de produção muito acima dos valores de referência praticados em soluções regionalizadas.

4.4.3 Custos aterros - Regional de Porto Nacional

Na regional de Porto Nacional, o principal destaque reside na amplitude de escala observada entre os municípios analisados. Com 37 municípios, essa regional reúne desde o menor gerador de resíduos do estado, Oliveira de Fátima, até centros urbanos de porte intermediário, como Paraíso do Tocantins, o que permite visualizar com maior nitidez o comportamento da curva de custos em situações bastante contrastantes. Essa heterogeneidade torna a regional especialmente relevante para a análise, pois evidencia como a mesma solução técnica pode produzir resultados econômicos profundamente distintos a depender da escala de atendimento. Em razão disso, trata-se de um recorte particularmente útil para demonstrar os limites financeiros da adoção de aterros individualizados em contextos municipais muito desiguais.

A análise dos dados revela que o fenômeno da deseconomia de escala atinge, nessa regional, uma de suas expressões mais acentuadas. Enquanto o maior centro consegue reduzir seu custo unitário para R\$ 219,34/t, as pequenas municipalidades, que representam 60% dos entes da regional, enfrentam custos que alcançam R\$ 2.977,00/t. A discrepância entre esses extremos, quando comparada à média regional de R\$ 1.091,79/t, demonstra que a utilização isolada de valores médios pode mascarar a realidade enfrentada pela maior parte dos municípios. Em termos práticos, isso significa que o indicador médio, embora útil para fins comparativos gerais, não traduz adequadamente o esforço fiscal efetivamente exigido das prefeituras de menor porte, justamente aquelas mais vulneráveis do ponto de vista orçamentário.

Sob a ótica do investimento, a desproporcionalidade entre o CAPEX e a massa atendida reforça a tese da barreira econômica. O fato de o custo de implantação em Paraíso do Tocantins (R\$ 3,31 milhões), ser apenas o dobro do exigido em Oliveira de Fátima (R\$ 1,66 milhão), para uma população quarenta e cinco vezes maior, indica que o modelo de aterro individualizado falha em oferecer paridade tarifária para os pequenos geradores. Mesmo nos cenários de maior

escala da regional, os valores obtidos permanecem distantes dos custos praticados em aterros regionalizados de grande porte, sugerindo que a internalização da solução isolada impõe um ônus que não se justifica pela produtividade do sistema. Assim, os resultados reforçam que a escala constitui elemento central na definição da viabilidade econômica da destinação final de resíduos sólidos urbanos, conforme sintetizado nos dados apresentados na Tabela 8.

Tabela 8 – Custos de Implantação e Operação de ASPP - Regional de Porto Nacional

Município	População IBGE 2022 (hab.)	Massa (t/mês)	CAPEX ASPP (R\$)	OPEX ASPP (R\$/mês)	Custo mensal ASPP (R\$/mês)	Custo por tonelada ASPP (R\$/t)
Paraíso do Tocantins	52.360	1.206,20	R\$ 3.315.528,77	R\$ 237.414,96	R\$ 264.574,12	R\$ 219,34
Miracema do Tocantins	3.357	391,34	R\$ 2.361.722,79	R\$ 126.201,23	R\$ 145.547,29	R\$ 371,92
Lagoa da Confusão	1.590	316,64	R\$ 2.252.087,20	R\$ 113.417,73	R\$ 131.865,70	R\$ 416,46
Pedro Afonso	14.055	288,87	R\$ 2.209.400,89	R\$ 108.440,51	R\$ 126.538,82	R\$ 438,05
Miranorte	18.566	258,61	R\$ 2.161.458,79	R\$ 102.850,46	R\$ 120.556,05	R\$ 466,17
Natividade	8.754	172,09	R\$ 2.013.781,60	R\$ 85.631,31	R\$ 102.127,20	R\$ 593,46
Ponte Alta do Tocantins	7.586	147,08	R\$ 1.967.177,19	R\$ 80.197,24	R\$ 96.311,37	R\$ 654,84
Tocantínia	7.459	144,38	R\$ 1.962.009,35	R\$ 79.594,67	R\$ 95.666,47	R\$ 662,62
Pium	7.128	137,36	R\$ 1.948.439,68	R\$ 78.012,44	R\$ 93.973,09	R\$ 684,15
Divinópolis do TO	6.371	135,16	R\$ 1.944.145,08	R\$ 77.511,69	R\$ 93.437,16	R\$ 691,32
Cristalândia	2.396	121,42	R\$ 1.916.818,77	R\$ 74.325,45	R\$ 90.027,07	R\$ 741,46
Dois Irmãos do TO	7.024	120,50	R\$ 1.914.953,97	R\$ 74.108,01	R\$ 89.794,36	R\$ 745,20
Monte do Carmo	12.701	107,31	R\$ 1.887.768,41	R\$ 70.938,18	R\$ 86.401,83	R\$ 805,17
Aliança do Tocantins	5.147	96,02	R\$ 1.863.689,30	R\$ 68.130,55	R\$ 83.396,97	R\$ 868,56
Silvanópolis	5.108	95,22	R\$ 1.861.949,81	R\$ 67.927,73	R\$ 83.179,89	R\$ 873,59
Aparecida do Rio Negro	4.856	90,06	R\$ 1.850.632,30	R\$ 66.608,11	R\$ 81.767,57	R\$ 907,97
Barrolândia	4.846	89,85	R\$ 1.850.180,35	R\$ 66.555,41	R\$ 81.711,17	R\$ 909,41
Rio Sono	4.841	89,75	R\$ 1.849.954,29	R\$ 66.529,05	R\$ 81.682,96	R\$ 910,13
Brejinho de Nazaré	4.725	87,38	R\$ 1.844.693,95	R\$ 65.915,70	R\$ 81.026,51	R\$ 927,27
Santa Rosa do TO	4.653	85,92	R\$ 1.841.413,47	R\$ 65.533,19	R\$ 80.617,13	R\$ 938,33
Pindorama do TO	4.478	82,36	R\$ 1.833.389,17	R\$ 64.597,56	R\$ 79.615,77	R\$ 966,68
Bom Jesus do TO	4.038	73,48	R\$ 1.812.874,51	R\$ 62.205,55	R\$ 77.055,72	R\$ 1.048,69
Novo Acordo	3.969	72,09	R\$ 1.809.610,46	R\$ 61.824,96	R\$ 76.648,39	R\$ 1.063,18
Lagoa do Tocantins	15.288	63,06	R\$ 1.787.832,62	R\$ 59.285,67	R\$ 73.930,70	R\$ 1.172,38
Fátima	6.327	62,09	R\$ 1.785.438,39	R\$ 59.006,50	R\$ 73.631,92	R\$ 1.185,90
Nova Rosalândia	3.362	60,01	R\$ 1.780.280,74	R\$ 58.405,12	R\$ 72.988,29	R\$ 1.216,19
Lajeado	3.516	59,92	R\$ 1.780.034,20	R\$ 58.376,37	R\$ 72.957,53	R\$ 1.217,68
Chapada da Natividade	3.117	55,19	R\$ 1.768.095,18	R\$ 56.984,28	R\$ 71.467,64	R\$ 1.294,82
Santa Tereza do TO	2.781	48,65	R\$ 1.751.008,10	R\$ 54.991,93	R\$ 69.335,32	R\$ 1.425,30
Rio dos Bois	2.738	47,81	R\$ 1.748.787,29	R\$ 54.732,98	R\$ 69.058,18	R\$ 1.444,33
Abreulândia	2.576	44,69	R\$ 1.740.345,47	R\$ 53.748,67	R\$ 68.004,71	R\$ 1.521,78
Monte Santo do TO	5.694	41,24	R\$ 1.730.818,06	R\$ 52.637,77	R\$ 66.815,77	R\$ 1.620,28
Pugmil	2.193	37,38	R\$ 1.719.869,47	R\$ 51.361,17	R\$ 65.449,48	R\$ 1.751,08
Tupirama	1.909	32,23	R\$ 1.704.716,74	R\$ 49.594,36	R\$ 63.558,55	R\$ 1.972,26
Ipueiras	3.467	26,84	R\$ 1.688.070,33	R\$ 47.653,39	R\$ 61.481,22	R\$ 2.290,56
Chapada de Areia	1.501	25,34	R\$ 1.683.252,39	R\$ 47.091,62	R\$ 60.879,98	R\$ 2.402,64
Oliveira de Fátima	1.164	19,65	R\$ 1.664.160,35	R\$ 44.865,49	R\$ 58.497,46	R\$ 2.977,00
MÉDIA			R\$ 1.908.280,80	R\$ 73.329,92	R\$ 88.961,61	R\$ 1.091,79

Nota: O “Custo Mensal” compreende a soma do OPEX + CAPEX equivalente

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Nota: Custo unitário médio = custo total mensal/massa mensal; inclui tarifa de disposição (R\$ 165/t).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

No arranjo de transbordo individual, os resultados da Tabela 9 indicam forte sensibilidade ao porte municipal. O custo unitário médio decresce de R\$ 1.337,88/t (faixa até 5.000 hab.) para R\$ 307,05/t (acima de 50.000 hab.). De forma coerente, o custo per capita médio reduz de R\$ 23,40/hab·mês para R\$ 7,07/hab·mês. Essa trajetória reflete o fato de que, nas faixas de menor geração (massa média de 57,18 t/mês), o município precisa cumprir um nível mínimo de viagens para atender à restrição sanitária de sete dias, mesmo com menor preenchimento do contêiner, o que reduz a eficiência e eleva o custo por tonelada.

No arranjo de transbordo compartilhado (otimizado), a estrutura de custos torna-se mais homogênea entre as faixas. O custo unitário médio varia de R\$ 453,63/t (até 5.000 hab.) a R\$ 296,89/t (acima de 50.000 hab.), e o custo per capita médio converge para uma faixa estreita (R\$ 7,95 a R\$ 6,84/hab·mês). Esse comportamento indica que o compartilhamento do uso do caminhão reduz a ociosidade e mitiga a penalidade do piso semanal de viagens, tornando o custo menos dependente do porte municipal.

A comparação direta entre os arranjos, expressa na coluna razão de custo (x) entre os custos unitários do transbordo individual e do compartilhado, evidencia que o ganho do compartilhamento é mais pronunciado nos pequenos municípios porque a restrição sanitária de permanência máxima do contêiner (≤ 7 dias) impõe remoções semanais mesmo quando a massa acumulada ainda é insuficiente para completar a carga, reduzindo a carga média por viagem e elevando o custo por tonelada no arranjo individual. Na faixa até 5.000 hab., o custo unitário no arranjo individual é 2,95 vezes superior ao do transbordo compartilhado (R\$ 1.337,88/t vs. R\$ 453,63/t). À medida que o porte municipal aumenta, a razão diminui para 1,78 (5.001 a 10.000 hab.), 1,33 (10.001 a 20.000 hab.), aproximando-se da unidade nas faixas superiores: 1,11 (20.001 a 50.000 hab.) e 1,03 acima de 50.000 habitantes.

Operacionalmente, essa convergência decorre do fato de que, nos municípios maiores, a massa mensal (até 1.206,20 t/mês) permite maior regularidade de preenchimento do contêiner e maior continuidade das viagens, reduzindo a ociosidade de frota que penaliza o arranjo individual; assim, o ganho marginal do compartilhamento diminui quando o próprio município já sustenta elevada utilização do sistema de transporte. Em outros termos, à medida que o porte municipal aumenta, o custo total tende a se aproximar do patamar definido pela parcela linear do sistema. Como a tarifa de disposição foi modelada como custo proporcional à massa (R\$ 165/t), a variabilidade observada entre faixas decorre principalmente do componente logístico (transbordo + transporte), que é sensível à escala.

Na sequência, a análise é apresentada por regional, avaliando como distância média, massa agregada e taxa de utilização da frota explicam as diferenças residuais de custo entre Araguaína, Porto Nacional e Gurupi.

4.5.2 Custo por regional

A consolidação por regional, apresentada na Tabela 10, confirma que o transbordo compartilhado reduz de forma consistente o custo unitário (R\$/t) em todos os polos analisados. Considerando os custos integrados (transbordo + transporte + disposição), os valores médios no arranjo individual situam-se em R\$ 1.007,00/t (Araguaína), R\$ 1.176,47/t (Gurupi) e R\$ 1.034,10/t (Porto Nacional) e no arranjo compartilhado, esses custos caem para R\$ 400,32/t, R\$ 464,36/t e R\$ 414,80/t, respectivamente. Em termos relativos, o custo unitário do arranjo individual é aproximadamente 2,5 vezes superior ao do arranjo compartilhado, indicando que o ganho associado ao compartilhamento é consistente entre as regionais.

Tabela 10 – Comparativo do custo unitário médio por polo regional

Regional	Distância média até o aterro regional (km)	Massa média (t/mês)	Custo unitário médio T_Individual + disposição (R\$/t)	Custo unitário médio T_compartilhado + disposição (R\$/t)	Razão de custo (individual/comp.) (x)
Araguaína	132,27	135,32	R\$ 1.007,00	R\$ 400,32	2,52
Gurupi	69,86	115	R\$ 1.176,47	R\$ 464,36	2,53
Porto Nacional	142,03	136,03	R\$ 1.034,10	R\$ 414,80	2,49
Média	114,72	128,78	R\$ 1.072,52	R\$ 426,49	2,51

Nota: Custo unitário médio = custo total mensal/massa mensal; inclui tarifa de disposição (R\$ 165/t).

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Embora a Tabela 10 evidencie um ganho consistente do compartilhamento, observa-se que permanecem diferenças residuais entre regionais no próprio arranjo compartilhado. Em particular, Gurupi apresenta o maior custo unitário no compartilhado (R\$ 464,36/t) mesmo com a menor distância média ao aterro (69,86 km), o que indica que a variação regional não decorre apenas de quilometragem. Esse padrão sugere que fatores operacionais associados à taxa de ocupação da frota condicionam o custo no modelo compartilhado.

Para explicitar esse mecanismo, a Tabela 11 apresenta os indicadores de dimensionamento e utilização da frota no transbordo compartilhado por regional.

Tabela 11 – Indicadores de uso da frota no transbordo compartilhado por regional

Regional	Pop. c/ Transbordo (hab.)	Rejeitos (t/d)	Núm. Viagem (unid/sem)	Caminhões alocados (unid)	Viagens mensais por caminhão (unid/mês)	Taxa de ocupação (%)	Custo fixo por viagem (R\$/viagem)
Araguaína	224.352	139,48	63	6	46	95,45%	R\$ 1.709,97
Gurupi	46.930	28,74	15	2	33	68,18%	R\$ 2.147,23
Porto Nacional	251.641	157,20	72	7	45	93,51%	R\$ 1.734,63
Total	522.923	325,42					

Nota: Taxa de ocupação = viagens/semana ÷ (caminhões × 11).

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

Conforme evidenciado na tabela acima, a regional de Gurupi apresenta demanda de 15 viagens por semana, valor que supera a capacidade operacional de um único caminhão (11 viagens por semana), impondo a alocação de 2 caminhões para atendimento do nível de serviço. Como consequência, a taxa de ocupação da frota em Gurupi é reduzida a (68,18%), enquanto Araguaína e Porto Nacional operam próximas à saturação (95% e 94%). Essa subutilização eleva o custo fixo unitário por viagem, onde ao diluir os custos fixos mensais em um número menor de viagens efetivas, Gurupi atinge R\$ 2.147,23/viagem, acima dos valores observados em Araguaína (R\$ 1.709,97/viagem) e Porto Nacional (R\$ 1.734,63/viagem). Em síntese, no arranjo compartilhado, o custo por tonelada é condicionado não apenas pela distância média, mas sobretudo pela capacidade de manter o ativo em regime de alta ocupação, mitigando a ociosidade estrutural.

Dessa forma, a leitura conjunta das Tabelas 10 e 11 demonstra que o compartilhamento reduz o custo unitário de modo robusto nas três regionais, e que as diferenças residuais decorrem predominantemente do nível de utilização da frota (ocupação do ativo), e não apenas da distância média ao aterro. Mesmo no arranjo compartilhado, o custo unitário permanece condicionado à taxa de ocupação da frota, o que reforça a necessidade de dimensionar a operação de acordo com a demanda semanal, evitando subutilização do equipamento. Em termos de implicação analítica, o arranjo compartilhado representa a configuração logística mais eficiente para a alternativa regionalizada no conjunto avaliado, por reduzir a ociosidade estrutural e melhorar a diluição dos custos fixos do transporte. Assim, nas comparações entre transbordo vs. construção de aterro, a alternativa regionalizada será representada pelo modelo compartilhado.

4.6 Comparação custos aterro individual (ASPP) x transbordo compartilhado

A análise da eficiência econômica das alternativas indica que a solução regionalizada baseada no transbordo compartilhado se configura, no conjunto avaliado, como a estratégia de

menor impacto financeiro mensal para a maioria das administrações municipais. Ao comparar o modelo de Aterro Sanitário de Pequeno Porte (ASPP) individual com a logística regionalizada, observa-se no Quadro 7, vantagem econômica consistente do arranjo compartilhado. Na estimativa realizada, o custo mensal total para operar os 78 (ASPP) alcança R\$ 6.912.819,03/mês, enquanto o custo mensal total do transbordo compartilhado (transbordo + transporte + disposição) totaliza R\$ 3.650.672,55/mês, resultando em economia agregada de R\$ 3.262.146,57/mês, equivalente a 47,19% de redução do dispêndio mensal. Assim, sob a ótica do custo recorrente, referência central para o planejamento orçamentário municipal, a regionalização por transbordo compartilhado se estabelece como alternativa dominante para a amostra estudada.

Quadro 7 – Consolidação global de custo mensais: ASPP vs. Transbordo compartilhado

Indicador	Unidade	valor
Número de municípios (não sede)	n	78
População total (IBGE 2022)	hab	522.923
Massa total de RSU	t/mês	10.419
Custo mensal total – ASPP	R\$/mês	R\$ 6.912.819,03
Custo mensal total – Transbordo compartilhado	R\$/mês	R\$ 3.650.672,55
Economia agregada (ASPP – T Compartatilhado)	R\$/mês	R\$ 3.262.146,57
Redução relativa (Economia/ASPP)	%	47,19%

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

No recorte por faixa populacional (Tabela 12), observa-se um padrão nítido de redução da vantagem do compartilhamento à medida que a escala aumenta. Na faixa até 5.000 habitantes que engloba 48 municípios, o custo mensal médio do ASPP (R\$ 71.573,75/mês) supera amplamente o do transbordo compartilhado (R\$ 23.236,69/mês), com diferença média de R\$ 48.337,06/mês. Em termos relativos, isso significa que, nessa faixa, o aterro próprio custa, em média, 3,15 vezes o modelo regionalizado com logística compartilhada. Na faixa 5.001 a 10.000 (n = 18), a economia média permanece elevada (R\$ 44.470,90/mês), com o ASPP 1,95 vezes mais oneroso. Na faixa 10.001 a 20.000 (n = 8), a economia média é de R\$ 30.400,76/mês (razão 1,36). A partir de 20.001 a 50.000 habitantes (n = 3), a comparação se aproxima da paridade (diferença média de -R\$ 2.727,39/mês; x = 0,99), indicando que a combinação entre maior massa gerada e condições logísticas específicas pode neutralizar a vantagem média do compartilhamento. Na faixa acima de 50.000 habitantes, em que há apenas um município, ocorre inversão (diferença de -R\$ 93.532,42/mês; x = 0,74), coerente com a lógica de que, em alta escala, o aterro individual tende a diluir melhor seus custos fixos, enquanto o transporte regionalizado mantém um piso de custo associado à distância/ciclo de viagens.

Tabela 12 – Diferença dos custos mensais médios por faixa populacional

Faixa Populacional	n	Custo Mensal médio ASPP (R\$/mês)	Custo Unitário médio ASPP (R\$/t)	Custo per capita médio ASPP (R\$/hab·mês)	Custo Mensal médio Transbordo (R\$/mês)	Custo Unitário médio Transbordo (R\$/t)	Custo per capita médio Transbordo (R\$/hab·mês)	Razão de custo (ind./comp.) (x)
Até 5.000	48	R\$ 71.573,75	R\$ 1.430,02	R\$ 25,03	R\$ 23.236,69	R\$ 453,63	R\$ 7,95	3,15
5.001 a 10.000	18	R\$ 92.580,58	R\$ 718,93	R\$ 13,75	R\$ 48.109,68	R\$ 368,22	R\$ 7,05	1,95
10.001 a 20.000	8	R\$ 126.276,91	R\$ 449,46	R\$ 9,19	R\$ 95.876,15	R\$ 330,83	R\$ 6,79	1,36
20.001 a 50.000	3	R\$ 178.679,73	R\$ 306,35	R\$ 6,66	R\$ 181.407,12	R\$ 309,23	R\$ 6,73	0,99
Acima de 50.000	1	R\$ 264.574,12	R\$ 219,34	R\$ 5,05	R\$ 358.106,54	R\$ 296,89	R\$ 6,84	0,74
Total de municípios	78							

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

A leitura por regional mostra que essa economia se distribui de forma consistente nos três polos analisados, com exceções pontuais explicadas por escala e logística. A tabela 13 detalha os comparativos de custos para a Regional de Araguaína.

Tabela 13 – Comparativo de custos e ganhos de economia Regional de Araguaína

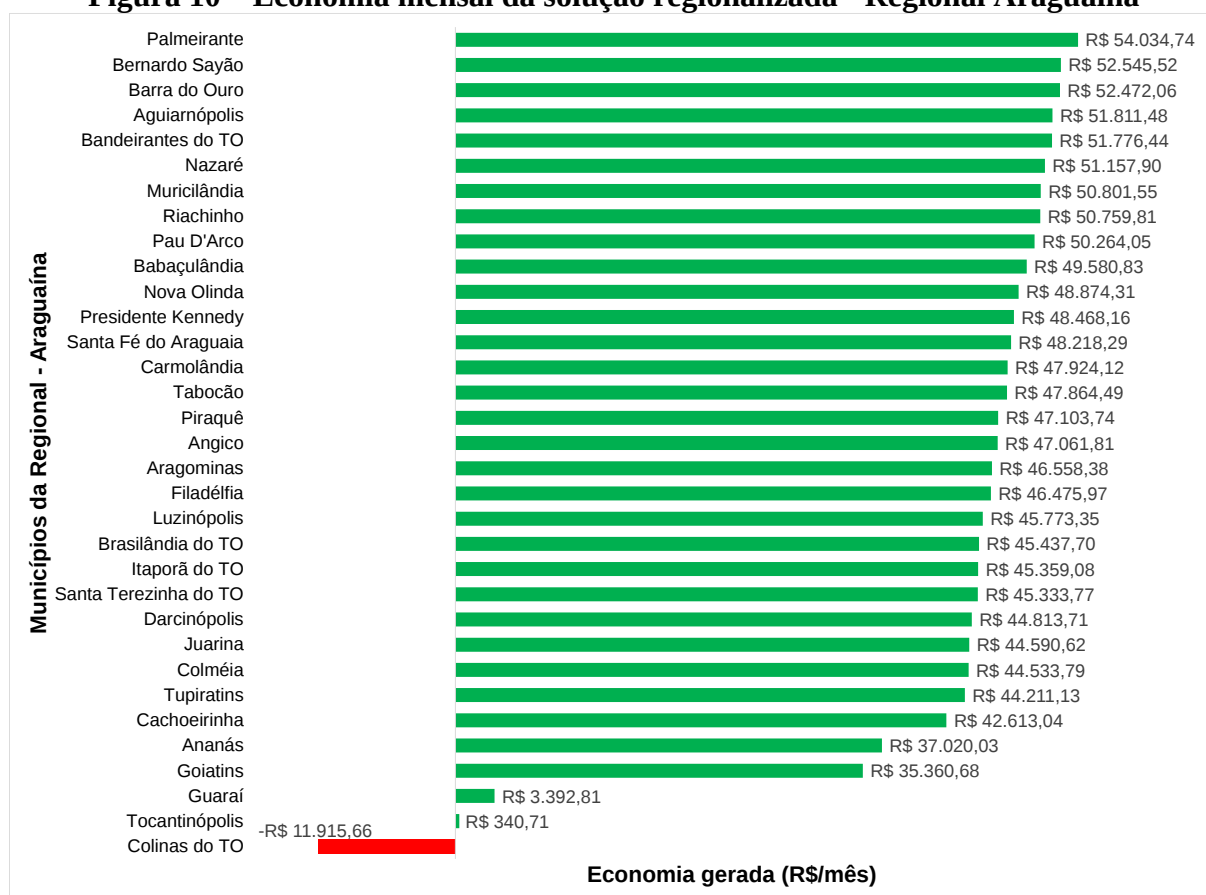
Município	População IBGE 2022 (hab.)	Massa (t/mês)	Custo mensal ASPP (R\$/mês)	Custo unitário ASPP (R\$/t)	Custo mensal T_compartilhado + Disposição (R\$/mês)	Custo unitário T_compartilhado + Disposição (R\$/t)	Economia (R\$/mês)
Palmeirante	4.798	88,87	R\$ 81.440,06	R\$ 916,39	R\$ 27.405,32	R\$ 308,37	R\$ 54.034,74
Bernardo Sayão	4.229	77,32	R\$ 78.174,75	R\$ 1.011,02	R\$ 25.629,23	R\$ 331,46	R\$ 52.545,52
Barra do Ouro	4.476	82,32	R\$ 79.604,27	R\$ 967,02	R\$ 27.132,22	R\$ 329,60	R\$ 52.472,06
Aguaiamópolis	4.497	82,75	R\$ 79.724,94	R\$ 963,50	R\$ 27.913,46	R\$ 337,34	R\$ 51.811,48
Bandeirantes do TO	3.407	60,90	R\$ 73.264,71	R\$ 1.202,98	R\$ 21.488,27	R\$ 352,83	R\$ 51.776,44
Nazaré	4.521	83,23	R\$ 79.862,67	R\$ 959,52	R\$ 28.704,77	R\$ 344,88	R\$ 51.157,90
Muricilândia	3.367	60,11	R\$ 73.019,05	R\$ 1.214,71	R\$ 22.217,50	R\$ 369,60	R\$ 50.801,55
Riachinho	3.960	71,91	R\$ 76.595,14	R\$ 1.065,11	R\$ 25.835,33	R\$ 359,26	R\$ 50.759,81
Pau D'Arco	4.043	73,58	R\$ 77.085,17	R\$ 1.047,66	R\$ 26.821,12	R\$ 364,52	R\$ 50.264,05
Babaçulândia	7.880	153,34	R\$ 97.794,44	R\$ 637,76	R\$ 48.213,61	R\$ 314,42	R\$ 49.580,83
Nova Olinda	10.367	207,11	R\$ 109.860,81	R\$ 530,45	R\$ 60.986,51	R\$ 294,47	R\$ 48.874,31
Presidente Kennedy	3.047	53,82	R\$ 71.028,06	R\$ 1.319,62	R\$ 22.559,90	R\$ 419,14	R\$ 48.468,16
Santa Fé do Araguaia	7.216	139,22	R\$ 94.425,10	R\$ 678,24	R\$ 46.206,81	R\$ 331,90	R\$ 48.218,29
Carmolândia	2.201	37,53	R\$ 65.503,87	R\$ 1.745,46	R\$ 17.579,75	R\$ 468,44	R\$ 47.924,12
Tabocão	3.455	61,85	R\$ 73.558,60	R\$ 1.189,27	R\$ 25.694,11	R\$ 415,41	R\$ 47.864,49
Piraquê	2.282	39,06	R\$ 66.051,98	R\$ 1.690,83	R\$ 18.948,24	R\$ 485,04	R\$ 47.103,74
Angico	2.876	50,49	R\$ 69.944,06	R\$ 1.385,30	R\$ 22.882,25	R\$ 453,20	R\$ 47.061,81
Aragominas	5.290	98,96	R\$ 84.189,58	R\$ 850,75	R\$ 37.631,20	R\$ 380,27	R\$ 46.558,38
Filadélfia	7.712	149,76	R\$ 96.948,64	R\$ 647,37	R\$ 50.472,67	R\$ 337,03	R\$ 46.475,97
Luzinópolis	2.717	47,41	R\$ 68.922,46	R\$ 1.453,85	R\$ 23.149,11	R\$ 488,31	R\$ 45.773,35
Brasilândia do TO	1.974	33,32	R\$ 63.968,60	R\$ 1.919,62	R\$ 18.530,90	R\$ 556,09	R\$ 45.437,70
Itaporã do TO	2.404	41,39	R\$ 66.869,05	R\$ 1.615,59	R\$ 21.509,97	R\$ 519,69	R\$ 45.359,08
Santa Terezinha do TO	2.406	41,43	R\$ 66.882,36	R\$ 1.614,42	R\$ 21.548,59	R\$ 520,14	R\$ 45.333,77
Darcinópolis	5.827	110,07	R\$ 87.121,83	R\$ 791,52	R\$ 42.308,12	R\$ 384,38	R\$ 44.813,71
Juarina	2.243	38,32	R\$ 65.788,66	R\$ 1.716,63	R\$ 21.198,03	R\$ 553,12	R\$ 44.590,62
Colméia	8.941	176,12	R\$ 103.040,40	R\$ 585,05	R\$ 58.506,61	R\$ 332,20	R\$ 44.533,79
Tupiratins	1.874	31,64	R\$ 63.336,02	R\$ 2.002,06	R\$ 19.124,90	R\$ 604,54	R\$ 44.211,13
Cachoeirinha	1.961	33,10	R\$ 63.886,92	R\$ 1.929,88	R\$ 21.273,88	R\$ 642,64	R\$ 42.613,04
Ananás	10.325	206,19	R\$ 109.663,32	R\$ 531,85	R\$ 72.643,29	R\$ 352,31	R\$ 37.020,03
Goiatins	12.433	252,65	R\$ 119.353,88	R\$ 472,41	R\$ 83.993,20	R\$ 332,45	R\$ 35.360,68
Guaraí	24.775	535,72	R\$ 169.955,40	R\$ 317,25	R\$ 166.562,59	R\$ 310,92	R\$ 3.392,81
Tocantinópolis	22.615	485,11	R\$ 161.656,15	R\$ 333,23	R\$ 161.315,44	R\$ 332,53	R\$ 340,71
Colinas do TO	34.233	761,14	R\$ 204.427,65	R\$ 268,58	R\$ 216.343,31	R\$ 284,24	-R\$ 11.915,66
Total	224.352	4.466	R\$ 2.942.948,60		R\$ 1.532.330,21		R\$ 1.410.618,39

Nota: Economia (R\$/mês) = custo mensal aspp – custo mensal t_comp. + disp

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

Extrai-se da tabela 13, que para Regional de Araguaína, os custos totais foram reduzidos de R\$ 2.942.948,60/mês no cenário ASPP para R\$ 1.532.330,21/mês no cenário T_compartilhado, o que representa uma economia global de R\$ 1.410.618,39/mês. Em escala individual, 97% dos entes da regional (32 de 33) apresentaram ganhos financeiros, com economias mensais que variaram de R\$ 340,71, em Tocantinópolis, a R\$ 54.034,74, em Palmeirante. Esse comportamento é detalhado na Figura 10, que apresenta a economia mensal município a município e evidencia a predominância de resultados positivos, registrando-se como única exceção o município de Colinas do Tocantins, que apresentou inversão de resultado, com impacto negativo de R\$ 11.915,66/mês.

Figura 10 – Economia mensal da solução regionalizada - Regional Araguaína



Nota: barras verdes (< custo mensal de transbordo compartilhado) barras vermelhas (<custo mensal ASPP)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Na Regional de Gurupi (Tabela 14), a comparação entre os cenários evidencia que a adoção da solução regionalizada por transbordo compartilhado produz resultado financeiramente mais vantajoso para o conjunto dos oito municípios analisados. O custo mensal agregado, que no cenário ASPP alcança R\$ 678.291,03/mês, reduz-se para R\$ 343.341,04/mês

no cenário com transbordo compartilhado, resultando em economia total de R\$ 334.949,99/mês. Esse resultado demonstra que, mesmo em uma regional com número mais reduzido de municípios em relação a outros polos analisados, os ganhos econômicos decorrentes da cooperação interfederativa permanecem expressivos e reforçam a racionalidade da destinação compartilhada.

Sob a perspectiva individual, observa-se que a economia mensal se distribui de forma positiva entre os municípios da regional, com variações que vão de R\$ 19.083,18/mês, em Formoso do Araguaia, até R\$ 52.475,40/mês, em Cariri do Tocantins.

Tabela 14 – Comparativo de custos e ganhos de economia Regional de Gurupi

Município	População IBGE 2022 (hab.)	Massa (t/mês)	Custo mensal ASPP (R\$/mês)	Custo unitário ASPP (R\$/t)	Custo mensal T_compartilhado + Disposição (R\$/mês)	Custo unitário T_compartilhado + Disposição (R\$/t)	Economia (R\$/mês)
Cariri do Tocantins	4.007	72,86	R\$ 76.872,92	R\$ 1.055,14	R\$ 24.397,52	R\$ 334,87	R\$ 52.475,40
Dueré	4.248	77,71	R\$ 78.285,41	R\$ 1.007,45	R\$ 26.206,12	R\$ 337,25	R\$ 52.079,28
Santa Rita do TO	2.219	37,87	R\$ 65.626,08	R\$ 1.732,93	R\$ 20.890,07	R\$ 551,63	R\$ 44.736,01
Sucupira	1.577	26,62	R\$ 61.394,04	R\$ 2.306,16	R\$ 17.706,06	R\$ 665,10	R\$ 43.687,98
Figueirópolis	5.211	97,33	R\$ 83.752,34	R\$ 860,47	R\$ 40.710,49	R\$ 418,26	R\$ 43.041,85
Crixás do Tocantins	1.470	24,82	R\$ 60.668,07	R\$ 2.444,77	R\$ 17.844,29	R\$ 719,08	R\$ 42.823,78
Peixe	9.317	184,25	R\$ 104.862,77	R\$ 569,12	R\$ 67.840,26	R\$ 368,19	R\$ 37.022,51
Formoso do Araguaia	18.881	398,58	R\$ 146.829,40	R\$ 368,38	R\$ 127.746,23	R\$ 320,50	R\$ 19.083,18
Total	46.930	920	R\$ 678.291,03		R\$ 343.341,04		R\$ 334.949,99

Nota: Economia (R\$/mês) = custo mensal aspp – custo mensal t_comp. + disp

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

A Figura 11 representa graficamente esse comportamento, evidenciando a predominância de economias positivas em toda a regional. A leitura visual do gráfico confirma a superioridade econômica da alternativa compartilhada frente ao cenário de aterro sanitário de pequeno porte individualizado, permitindo identificar, de forma imediata, a amplitude dos ganhos obtidos por cada município. Em conjunto, a Tabela 14 e a Figura 11 demonstram que, na Regional de Gurupi, a regionalização da destinação final por meio de transbordo compartilhado se mostra não apenas tecnicamente viável, mas também economicamente mais eficiente do que a manutenção de soluções individualizadas.

Figura 11 – Economia mensal da solução regionalizada - Regional Gurupi



Nota: barras verdes (< custo mensal de transbordo compartilhado) barras vermelhas (<custo mensal ASPP)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

Na Regional de Porto Nacional (Tabela 15), observa-se a maior economia agregada entre os polos, total de R\$ 1.516.578,10/mês, com redução de R\$ 3.291.579,39/mês (ASPP) para R\$ 1.775.001,30/mês (T_compilhado).

Tabela 15 – Comparativo de custos e ganhos de economia Regional de Porto Nacional

Município	População IBGE 2022 (hab.)	Massa (t/mês)	Custo mensal ASPP (R\$/mês)	Custo unitário ASPP (R\$/t)	Custo mensal T_compilhado + Disposição (R\$/mês)	Custo unitário T_compilhado + Disposição (R\$/t)	Economia (R\$/mês)
Brejinho de Nazaré	4.725	87,38	R\$ 81.026,51	R\$ 927,27	R\$ 26.048,51	R\$ 298,10	R\$ 54.978,01
Aparecida do Rio Negro	4.856	90,06	R\$ 81.767,57	R\$ 907,97	R\$ 27.901,84	R\$ 309,83	R\$ 53.865,72
Barrolândia	4.846	89,85	R\$ 81.711,17	R\$ 909,41	R\$ 28.255,92	R\$ 314,48	R\$ 53.455,24
Santa Rosa do TO	4.653	85,92	R\$ 80.617,13	R\$ 938,33	R\$ 27.638,86	R\$ 321,70	R\$ 52.978,28
Rio Sono	4.841	89,75	R\$ 81.682,96	R\$ 910,13	R\$ 30.436,56	R\$ 339,13	R\$ 51.246,39
Pindorama do TO	4.478	82,36	R\$ 79.615,77	R\$ 966,68	R\$ 28.603,36	R\$ 347,30	R\$ 51.012,41
Fátima	6.327	62,09	R\$ 73.631,92	R\$ 1.185,90	R\$ 22.734,91	R\$ 366,16	R\$ 50.897,01
Novo Acordo	3.969	72,09	R\$ 76.648,39	R\$ 1.063,18	R\$ 26.263,13	R\$ 364,29	R\$ 50.385,26
Lajeado	3.516	59,92	R\$ 72.957,53	R\$ 1.217,68	R\$ 22.602,35	R\$ 377,24	R\$ 50.355,18
Nova Rosalândia	3.362	60,01	R\$ 72.988,29	R\$ 1.216,19	R\$ 22.848,07	R\$ 380,71	R\$ 50.140,22
Lagoa do Tocantins	15.288	63,06	R\$ 73.930,70	R\$ 1.172,38	R\$ 24.158,64	R\$ 383,10	R\$ 49.772,06
Santa Tereza do TO	2.781	48,65	R\$ 69.335,32	R\$ 1.425,30	R\$ 20.558,74	R\$ 422,62	R\$ 48.776,58
Bom Jesus do TO	4.038	73,48	R\$ 77.055,72	R\$ 1.048,69	R\$ 28.592,16	R\$ 389,12	R\$ 48.463,56
Chapada da Natividade	3.117	55,19	R\$ 71.467,64	R\$ 1.294,82	R\$ 24.282,77	R\$ 439,95	R\$ 47.184,87
Tocantínia	7.459	144,38	R\$ 95.666,47	R\$ 662,62	R\$ 48.700,10	R\$ 337,32	R\$ 46.966,37
Rio dos Bois	2.738	47,81	R\$ 69.058,18	R\$ 1.444,33	R\$ 22.806,26	R\$ 476,99	R\$ 46.251,92
Monte do Carmo	12.701	107,31	R\$ 86.401,83	R\$ 805,17	R\$ 40.263,74	R\$ 375,22	R\$ 46.138,10
Monte Santo do TO	5.694	41,24	R\$ 66.815,77	R\$ 1.620,28	R\$ 20.751,71	R\$ 503,23	R\$ 46.064,06
Pugmil	2.193	37,38	R\$ 65.449,48	R\$ 1.751,08	R\$ 19.597,67	R\$ 524,33	R\$ 45.851,81
Ponte Alta do Tocantins	7.586	147,08	R\$ 96.311,37	R\$ 654,84	R\$ 51.019,95	R\$ 346,90	R\$ 45.291,42
Silvanópolis	5.108	95,22	R\$ 83.179,89	R\$ 873,59	R\$ 38.068,27	R\$ 399,81	R\$ 45.111,62
Abreulândia	2.576	44,69	R\$ 68.004,71	R\$ 1.521,78	R\$ 23.195,36	R\$ 519,06	R\$ 44.809,35
Natividade	8.754	172,09	R\$ 102.127,20	R\$ 593,46	R\$ 57.344,56	R\$ 333,23	R\$ 44.782,64
Ipueiras	3.467	26,84	R\$ 61.481,22	R\$ 2.290,56	R\$ 16.786,44	R\$ 625,40	R\$ 44.694,79
Pium	7.128	137,36	R\$ 93.973,09	R\$ 684,15	R\$ 49.675,00	R\$ 361,65	R\$ 44.298,09
Cristalândia	2.396	121,42	R\$ 90.027,07	R\$ 741,46	R\$ 45.946,39	R\$ 378,41	R\$ 44.080,68
Divinópolis do TO	6.371	135,16	R\$ 93.437,16	R\$ 691,32	R\$ 50.475,53	R\$ 373,46	R\$ 42.961,63
Oliveira de Fátima	1.164	19,65	R\$ 58.497,46	R\$ 2.977,00	R\$ 15.674,18	R\$ 797,68	R\$ 42.823,28
Chapada de Areia	1.501	25,34	R\$ 60.879,98	R\$ 2.402,64	R\$ 18.548,60	R\$ 732,02	R\$ 42.331,39
Aliança do Tocantins	5.147	96,02	R\$ 83.396,97	R\$ 868,56	R\$ 41.108,88	R\$ 428,14	R\$ 42.288,09
Tupirama	1.909	32,23	R\$ 63.558,55	R\$ 1.972,26	R\$ 22.884,33	R\$ 710,11	R\$ 40.674,22
Miranorte	18.566	258,61	R\$ 120.556,05	R\$ 466,17	R\$ 81.128,98	R\$ 313,71	R\$ 39.427,08
Dois Irmãos do TO	7.024	120,50	R\$ 89.794,36	R\$ 745,20	R\$ 51.481,99	R\$ 427,25	R\$ 38.312,37
Lagoa da Confusão	1.590	316,64	R\$ 131.865,70	R\$ 416,46	R\$ 109.066,87	R\$ 344,46	R\$ 22.798,83
Miracema do Tocantins	3.357	391,34	R\$ 145.547,29	R\$ 371,92	R\$ 124.115,43	R\$ 317,15	R\$ 21.431,86
Pedro Afonso	14.055	288,87	R\$ 126.538,82	R\$ 438,05	R\$ 107.328,71	R\$ 371,55	R\$ 19.210,11
Paraíso do Tocantins	52.360	1.206,20	R\$ 264.574,12	R\$ 219,34	R\$ 358.106,54	R\$ 296,89	-R\$ 93.532,42
Total	251.641	5.033	R\$ 3.291.579,39		R\$ 1.775.001,30		R\$ 1.516.578,10

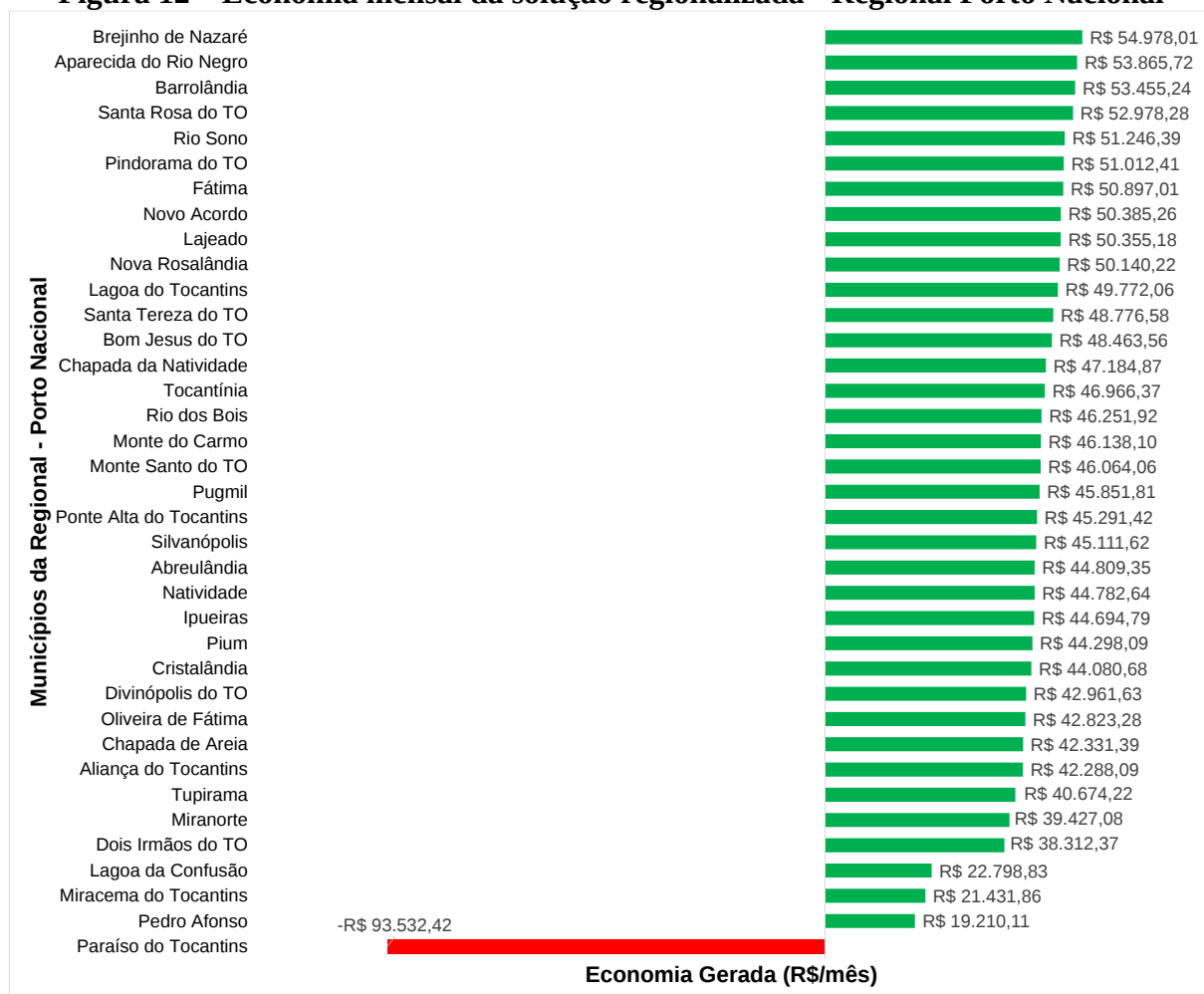
Nota: Economia (R\$/mês) = custo mensal aspp – custo mensal t_comp. + disp

Fonte: Elaborado pelo autor, 2026

O gráfico de economia gerada por município (Figura 12) evidencia a predominância majoritária de economias positivas ao se adotar transbordo compartilhado (36/37 municípios da regional) com intervalos de economia variando de R\$ 19.210,11/mês (Pedro Afonso) até R\$ 54.978,01/mês (Brejinho de Nazaré). Não obstante, nota-se uma inversão expressiva em Paraíso do Tocantins (-R\$ 93.532,42/mês), indicando desvantagem para essa municipalidade em fazer

o transbordo, ou seja, o melhor seria operar o próprio aterro sanitário. Tal cenário é compatível com o comportamento das faixas de maior escala observadas.

Figura 12 – Economia mensal da solução regionalizada - Regional Porto Nacional



Nota: barras verdes (< custo mensal de transbordo compartilhado) barras vermelhas (<custo mensal ASPP)

Fonte: Elaborada pelo autor, 2026

No agregado geral, nota-se que 76/78 municípios (96,2%) tiveram economia ao optar por transbordo compartilhado. Mesmo nesse cenário é necessário qualificar os casos em que o ASPP aparece mais competitivo. A comparação foi feita em base mensal com CAPEX convertido em parcela equivalente, o que é adequado para medir impacto recorrente, mas não elimina a existência de uma barreira de entrada de investimento e de desafios de implementação, licenciamento e capacidade técnica, especialmente para empreendimentos de menor escala. Além disso, os custos do transbordo compartilhado foram obtidos por planilha de referência que incorpora BDI de 27,17%, enquanto no ASPP não foi aplicado BDI independente nos mesmos moldes, dado que a estrutura de custos adotada (FGV, 2009) já incorpora parcelas de custos indiretos, ainda que não necessariamente de forma integral e

perfeitamente simétrica a um orçamento típico. Assim, os valores devem ser interpretados como estimativas comparativas condicionadas às premissas do estudo, com a observação de que uma equalização completa de custos indiretos tenderia a pressionar o custo do ASPP para cima, reforçando (e não enfraquecendo) a vantagem do transbordo compartilhado no conjunto de municípios de menor porte.

De igual modo, importa destacar que a comparação não considerou custos de aquisição de área, encerramento, pós-encerramento e passivos ambientais associados aos aterros individuais. A inclusão desses componentes elevaria o custo total dessa alternativa e, por conseguinte, tenderia a ampliar a diferença observada de 47,19% em favor do transbordo compartilhado.

5 CONCLUSÃO

Esta dissertação comparou, sob a ótica da eficiência econômica, a destinação final por aterros sanitários individuais de pequeno porte (ASPP) e a regionalização via transbordo, transporte e disposição em empreendimentos licenciados, para municípios tocantinenses situados na área de influência dos polos de Araguaína, Gurupi e Porto Nacional.

O diagnóstico do cenário (base dezembro/2024) confirmou a persistência da destinação inadequada no Tocantins: 111 de 139 municípios (79,9%) ainda apresentavam destinação inadequada, enquanto 28 (20,1%) dispunham adequadamente seus resíduos, sendo 18 por transbordo e 10 por aterro próprio licenciado. Observou-se, ainda, que a destinação adequada por transbordo tende a se concentrar em poucos polos receptores, o que evidencia dependência estrutural do sistema e reforça a necessidade de governança e previsibilidade operacional para sustentar arranjos regionais.

Quanto à qualificação dos parâmetros de geração, a estimativa per capita por regressão log-linear entre população municipal e geração apresentou elevada aderência estatística ($R^2 = 0,9576$) e produziu valores concentrados entre 0,555 e 0,866 kg/hab·dia, compatíveis com a escala estadual, o que reduziu assimetrias informacionais e forneceu base homogênea para o dimensionamento comparativo de custos.

A comparação econômica consolidada responde de forma direta à pergunta de pesquisa: para a maioria dos municípios avaliados, a alternativa regionalizada baseada em transbordo compartilhado é mais vantajosa do que a implantação e operação de aterro individual. No conjunto dos 78 municípios não-sede, a solução ASPP totalizou R\$ 6.912.819,03/mês, enquanto o transbordo compartilhado totalizou R\$ 3.650.672,55/mês, resultando em economia agregada de R\$ 3.262.146,57/mês (redução de 47,19%). Em termos de abrangência, 96,2% dos municípios (76/78) apresentaram economia com transbordo compartilhado. Araguaína registrou economia global de R\$ 1,41 milhão/mês (32 de 33 municípios com ganhos), Gurupi R\$ 334,95 mil/mês (8 de 8 com ganhos) e Porto Nacional R\$ 1,52 milhão/mês (36 de 37 com ganhos), ainda que com inversões pontuais em municípios de maior escala.

A interpretação dos achados indica que a superioridade econômica do transbordo compartilhado decorre, predominantemente, de economias de escala e de melhor utilização de ativos logísticos. Nos municípios de menor porte, o ASPP é penalizado pela rigidez de investimentos e custeio mínimos, que não se reduzem proporcionalmente à baixa massa gerada, elevando o custo unitário. No arranjo compartilhado, a diluição de custos fixos e a redução de

ociosidade tornam o custo recorrente mais compatível com a capacidade orçamentária municipal. Assim, os resultados sustentam a priorização de soluções regionalizadas como diretriz técnica de política pública no Tocantins, desde que condicionada à governança intermunicipal, à segurança operacional e contratual dos polos receptores e à mitigação do risco associado à concentração de fluxos.

Como contribuição, a pesquisa oferece subsídio prático para a gestão pública ao quantificar, em base mensal e com parâmetros regionalizados, o diferencial de custo entre alternativas, apoiando decisões de investimento, contratação e cooperação intermunicipal. Do ponto de vista técnico, consolida um procedimento replicável para territórios de baixa densidade e grande dispersão, integrando estimativa de geração, parametrização de custos e avaliação logística sob premissas explícitas. Do ponto de vista institucional, os resultados também dialogam com instrumentos de gestão compartilhada, especialmente consórcios públicos, convênios e acordos de cooperação, ao demonstrar que a viabilidade econômica da destinação regionalizada depende da coordenação entre municípios, da repartição de custos e responsabilidades e da estabilidade operacional dos polos receptores.

Entre as limitações do estudo, destacam-se as simplificações necessárias à comparabilidade entre alternativas. Não foram incorporados os custos de aquisição de área, encerramento e pós-encerramento dos aterros, nem eventuais passivos ambientais, o que pode subestimar o custo das soluções individuais. A tarifa de disposição foi representada por valor médio contratual de 2024, e os parâmetros econômicos foram atualizados para agosto de 2025, tornando os resultados sensíveis a variações de preços, especialmente de combustível, além de condições contratuais e eficiência operacional. Ademais, a calibração da geração dependeu de dados declaratórios e foi realizada com base na população total municipal, sem desagregação entre população urbana e rural, ao mesmo tempo em que adotou parâmetros médios anuais, sem tratamento específico de oscilações sazonais em municípios turísticos ou com população flutuante, o que pode não refletir integralmente as diferenças espaciais e temporais da geração efetiva de resíduos.

Para pesquisas futuras, recomenda-se aprofundar análises de sensibilidade envolvendo tarifa de disposição, preço de combustível, ocupação da frota e distância efetiva de transporte, bem como incorporar, em modelagens de ciclo de vida do empreendimento, os custos de aquisição da área, implantação completa, encerramento, pós-encerramento e monitoramento ambiental. No caso de municípios turísticos ou sujeitos a forte sazonalidade, recomenda-se adotar modelagens de geração per capita com diferenciação temporal, a exemplo de cenários

mensais, sazonais ou por alta e baixa estação, apoiados em dados de fluxo populacional, ocupação hoteleira, calendário de eventos ou variações de atendimento urbano, de forma a captar com maior precisão os picos de geração e sua repercussão sobre a logística de transbordo e transporte. Recomenda-se, ainda, incorporar em estudos futuros o efeito potencial de políticas de redução, reaproveitamento e desvio de resíduos, como coleta seletiva e compostagem, que podem reduzir a massa destinada à disposição final e, conseqüentemente, alterar a estrutura de custos comparados.

Adicionalmente, pesquisas futuras podem avançar na análise de modelos jurídicos, administrativos e institucionais de gestão compartilhada, com ênfase em consórcios públicos, convênios e acordos de cooperação intermunicipal voltados à implementação e operação de transbordo compartilhado. Nesse ponto, os achados desta dissertação fornecem base econômica para discutir critérios de rateio, escala mínima viável, repartição de investimentos, responsabilidades operacionais, modelos contratuais e mecanismos de compensação financeira e operacional entre os entes envolvidos, contribuindo para a estruturação de arranjos regionais mais robustos e aderentes às condições territoriais do Tocantins. Tal aprofundamento pode aproximar a vantagem econômica aqui identificada das condições reais de implementação da política pública, favorecendo sua aplicabilidade e reduzindo potenciais conflitos institucionais entre administrações municipais.

Em síntese, no recorte analisado e sob as premissas adotadas, a regionalização por transbordo compartilhado se configura como a alternativa economicamente mais viável para a maioria dos municípios, com potencial de acelerar a conformidade ambiental por reestruturação logística e contratual, sem depender, em regra, da implantação prévia de novas unidades de disposição final.

6 REFERÊNCIAS

- ABREMA - Associação Brasileira de Resíduos e Meio Ambiente. *Panorama dos Resíduos Sólidos no Brasil 2024*. São Paulo: ABREMA, 2024. Disponível em: <https://abrema.org.br/panorama/>. Acesso em: 21 fev. 2025.
- ALVAREZ, E. K.; HENRICHS, J. A. *Consórcios públicos intermunicipais: como e para que cooperar?* Brasília: CNM, 2020. (Coleção Gestão Pública Municipal). Disponível em: https://www.cnm.org.br/cms/biblioteca/Coletanea_Gestao_Publica_Municipal_v12_Consorcios_Publicos.pdf. Acesso em: 29 out. 2025.
- ARAIZA-AGUILAR, J. A.; ROJAS-VALENCIA, M. N.; AGUILAR-VERA, R. A. *Forecast generation model of municipal solid waste using multiple linear regression*. Global Journal of Environmental Science and Management, v. 6, n. 1, p. 1-14, 2020. Disponível em: https://www.gjesm.net/article_36862.html. Acesso em: 03 jun. 2025.
- BARBOSA, G. T.; SOUZA, G. R. de; RIBEIRO, A. G. C.; SANT'ANNA, L. T.; FRANCO, C. S. *Aterros sanitários municipais x consórcios públicos: a viabilidade econômica do CONSANE*. Sustentabilidade em Debate, v. 4, n. 1, p. 61-72, jul. 2020. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/aterros-sanitarios-municipais-x-consorcios-publicos-a-1xfr1qc96w.pdf>. Acesso em: 15 de nov. 2025.
- BRASIL. Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010. *Institui a Política Nacional de Resíduos Sólidos, altera a Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998, e dá outras providências*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 3 ago. 2010. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2010/lei/l12305.htm. Acesso em: 21 fev. 2025.
- BRASIL. Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. *Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984, de 17 de julho de 2000; nº 10.768, de 19 de novembro de 2003; nº 11.107, de 6 de abril de 2005; nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007; nº 12.305, de 2 de agosto de 2010; nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015; e nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017*. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 16 jul. 2020. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2019-2022/2020/lei/l14026.htm. Acesso em: 21 fev. 2025.
- BRASIL. Lei nº 9.605, de 12 de fevereiro de 1998. *Dispõe sobre as sanções penais e administrativas derivadas de condutas e atividades lesivas ao meio ambiente, e dá outras providências*. Diário Oficial da União: seção 1, Brasília, DF, 13 fev. 1998. Disponível em: https://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/l9605.htm. Acesso em: 5 mai. 2025.
- BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão n. 2697/2011 – Plenário. *Relatório de Monitoramento: Programa Resíduos Sólidos Urbanos e Política Nacional de Resíduos Sólidos*. Brasília, DF: TCU, 2011. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/jurisprudencia/>. Acesso em: 10 fev. 2025.

- BRASIL. Tribunal de Contas da União. Acórdão n. 389/2023 – Plenário. *Auditoria Operacional: Avaliação das ações do Governo Federal para atendimento da Política Nacional de Resíduos Sólidos (PNRS)*. Brasília, DF: TCU, 2023. Disponível em: <https://portal.tcu.gov.br/jurisprudencia/>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- DEVENDRAN, A. A.; PEREIRA JÚNIOR, A. C.; DEMAJOVIC, J.; SOUZA, A. P. R.; PEREIRA, A. S.; SANTOS, M. C. L.; CÂNDIDO, A. S.; ABREU, M. C. S. *Otimização de fluxos de resíduos municipais para atingir a circularidade urbana na cidade de Curitiba, Brasil*. Sustainability, v. 15, n. 3252, p. 1-18, fev. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15043252> . Acesso em 21 de fev. de 2025.
- DI FOGGIA, G. *The Impact of Waste Management Facilities on Cost: A Comparative Analysis for Policy*. Preprints, 2020. Disponível em: <https://www.preprints.org/manuscript/202003.0121/v1>. Acesso em: 02 dez. 2026.
- DUARTE, P. A. *Potencialidades e desafios dos consórcios intermunicipais de resíduos sólidos*. In: Boletim Regional, Urbano e Ambiental (BRUA). Brasília: Ipea, n. 29, p. 57-67, jan./jun. 2023. Disponível em: <https://repositorio.ipea.gov.br/server/api/core/bitstreams/a4231e5a-d1e1-4eaf-8b14-b2f203b36cca/content>. Acesso em: 15 out. 2025.
- FALGETANO, P. P. *Políticas públicas de resíduos sólidos no Estado do Ceará: uma estratégia de valorização de resíduos*. 2020. 153 f. Dissertação (Mestrado em Saúde Pública) – Faculdade de Saúde Pública, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2020. Disponível em: https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6139/tde-21032022-152247/publico/FalgetanoPP_MTR_R.pdf. Acesso em: 15 de fev. de 2025.
- FERNANDES, A. S. A.; SAMPAIO, G.; NASCIMENTO, A. B. F. M. do; TEIXEIRA, M. A. C.; ARAÚJO, S. M. V. G. *Consórcios públicos intermunicipais de resíduos sólidos em regiões metropolitanas no Brasil: fatores institucionais contextuais de ação coletiva*. urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 15, e20220169, 2023. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/urbe/a/bKHTMyHV88tjhJpfz5N3rkd/>. Acesso em: 20 fev. de 2025.
- FERRI, G. L.; CHAVES, G. de L. D.; RIBEIRO, G. M. *Análise e localização de centros de armazenamento e triagem de resíduos sólidos urbanos para a rede de logística reversa: um estudo de caso no município de São Mateus, ES*. Produção, v. 25, n. 1, pág. 27-42, jan./mar. 2015. Disponível em: <http://dx.doi.org/10.1590/S0103-65132014005000014>. Acesso em: 10 fev. 2025.
- FIGUEIREDO, F. F.; BASTOS, V. P.; MENESES, C. G. R. *Uma década da Política Nacional de Resíduos Sólidos: o que mudou?* Revista Ciências da Sociedade, v. 8, pág. 30-33, jul./dez. 2020. Disponível em: <https://portaldeperiodicos.ufopa.edu.br/index.php/revistacienciasdasociedade/article/view/1480/961>. Acesso em: 08 fev. 2025.
- FRANCO, D. G. de B.; STEINER, M. T. A. *Otimização do transporte de resíduos sólidos urbanos no Estado do Paraná: repensando a localização de aterros sanitários com base em modelagem matemática*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v. 27, n. 5, pág.

987-993, set./out. 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/S1413-415220210282> . Acesso em: 12 fev. 2025.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS (FGV). *Estudo sobre os Aspectos Econômicos e Financeiros da Implantação e Operação de Aterros Sanitários*. [Elaborado para a ABETRE]. São Paulo: FGV, 2009. Disponível em: <https://www.abrema.org.br/wp-content/uploads/2019/11/FGV-Aterros-Sanitarios-Estudo.pdf>. Acesso em: 14 fev. 2025.

GONZAGA, V. B. de O. *Aterros sanitários de pequeno porte nos municípios brasileiros: uma avaliação baseada no princípio da eficiência*. 2023. 128 f. Dissertação (Mestrado Profissional em Administração Pública) – Instituto Brasileiro de Ensino, Desenvolvimento e Pesquisa (IDP), Brasília, 2023. Disponível em: <https://repositorio.idp.edu.br/handle/123456789/5153>. Acesso em: 19 de fev. 2025.

GREEN, D. W.; SOUTHARD, M. Z. (ed.). *Perry's Chemical Engineers' Handbook*. 9. ed. New York: McGraw-Hill Education, 2019. Disponível em: <https://www.accessengineeringlibrary.com/content/book/9780071834087>. Acesso em 01 de out. 2025.

HERIANTO, H.; MARYONO, M.; BUDIHardjo, M. A. *The estimation of waste generation in Palangka Raya City, Central Kalimantan*. In: The 4th International Conference on Regional Development – Rural Development in Urban Age: Do Rural-Urban Linkages Matter, 2019. p. 130–134. Disponível em: <https://proceedings.undip.ac.id/index.php/icrd/article/view/188>. Acesso em: 20 mai. 2025.

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. *Censo Demográfico 2022: população e domicílios*. Rio de Janeiro: IBGE, 2024. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/index.php/bibliotecacatalogo?id=2102011&view=detalhes>. Acesso em: 19 fev. 2025.

IBRAOP – Instituto Brasileiro de Auditorias de Obras Públicas. *Planilha PROC-IBRRSU-028/2022 para dimensionamento de transporte de resíduos sólidos urbanos*. Brasília: IBRAOP, 2022. Disponível em: <https://www.ibraop.org.br/wp-content/uploads/2023/07/PROC-IBR-RSU-028-2022-Planilhas-de-precos-transporte-transbordo.pdf>. Acesso em: 23 fev. 2025.

KARIMI, N.; NG, K. T. W.; RICHTER, A. *Integrating Geographical Information System network analysis and nighttime light satellite imagery to optimize landfill regionalization on a regional level*. Environmental Science and Pollution Research, v. 29, p. 81492–81504, 2022. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-022-21462-w>. Acesso em: 01 jun. 2025.

LLANQUILEO-MELGAREJO, P.; MOLINOS-SENANTE, M. *Evaluation of economies of scale in eco-efficiency of municipal waste management: an empirical approach for Chile*. Environmental Science and Pollution Research, v. 28, n. 22, p. 28337–28348, fev. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.1007/s11356-021-12529-1>. Acesso em: 15 de nov. 2025.

- MARTINS, L. O. S.; SILVA, Q. P. da. *Análise da previsão econômica e financeira para implantação de um aterro sanitário no município de Cabaceiras do Paraguaçu (BA)*. *Revista Brasileira de Administração Científica*, v. 2, pág. 68-85, abr./jul. 2016. Disponível em: <https://sustenere.inf.br/index.php/rbadm/article/view/SPC2179-684X.2016.002.0005/753>. Acesso em: 21 fev. 2025.
- MOHSENIZADEH, M.; TURAL, M. K.; KENTEL, E. *Municipal solid waste management with cost minimization and emission control objectives: A case study of Ankara*. *Sustainable Cities and Society*, v. 52, p. 101807, 2020.
- MOLINIER, R.; DA COSTA, P. *Infrastructure Sharing Synergies and Industrial Symbiosis: Optimal Capacity Oversizing and Pricing*. *Journal of Industrial and Intelligent Information*, v. 7, n. 1, p. 1-7, jun. 2019. Disponível em: <https://doi.org/10.18178/jiii.7.1.24-32>. Acesso em: 18 dez. 2025.
- NIK AB RAHIMAH, N. N.; HANIM MOHD SALLEH, N.; CHAMHURI, N. *Uma abordagem de avaliação não-mercadológica para análise de custo-benefício ambiental para avaliação de projetos de aterros sanitários*. *Sustainability*, v. 13, n. 7718, p. 1-18, jul. 2021. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su13147718>. Acesso em: 16 fev. 2025.
- OJHA, S.; PATIL, R. S.; SINGH, R. N. *Assessment of municipal solid waste generation and forecast using regression models*. *Recycling*, v. 4, n. 1, p. 1-17, 2019. DOI: [10.3390/recycling4010001](https://doi.org/10.3390/recycling4010001)
- OLIVEIRA NETO, R.; SOUZA, L. E. de. *Desenvolvimento de Modelo de Estimativa de Custos aplicado ao caso dos Aterros Sanitários para Resíduos Sólidos Urbanos*. *Ciência e Natura*, Santa Maria, v. 36, p. 302-313, 2014. Disponível em: <https://periodicos.ufsm.br/cienciaenatura/article/view/12969>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- PAIVA, J. B. de. *Alternativas institucionais para a disposição final de resíduos sólidos urbanos: consórcios intermunicipais como solução viável*. *Revista de Gestão Ambiental e Sustentabilidade*, v. 1, n. 2, p. 45-63, 2002. Disponível em: <https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/6/6134/tde-23082024-134049/pt-br.php>. Acesso em: 17 fev. 2025.
- PAULA, A. S. de; REICHERT, G. A. *Manual do Usuário: Ferramenta de Rotas e Custos – Gestão Integrada de Resíduos Sólidos Urbanos*. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Regional, 2021. Disponível em: <https://www.google.com/search?q=https://www.gov.br/cidades/pt-br/saneamento/manual-ferramenta-rotas-custos.pdf>. Acesso em: 11 dez. 2025.
- RODRIGUES, P. S. H. *Análise de viabilidade econômica de um aterro sanitário para cidade de pequeno porte*. 2008. 102 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Faculdade de Engenharia, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Ilha Solteira, 2008. Disponível em: <https://repositorio.unesp.br/server/api/core/bitstreams/ac0dac44-cc44-4168-80c9-33b11e4c07c7/content>. Acesso em: 11 fev. 2025.

- SADOON, A. N.; KADHUM, A. H.; ABDULGHAFOR, A. B. *Development of solid waste management plan to solve the transport routes problem in Baghdad city*. Al-Nahrain Journal for Engineering Sciences, v. 23, n. 2, p. 159–166, 2020. DOI: [10.29194/NJES.23020159](https://doi.org/10.29194/NJES.23020159)
- SAMWINE, T.; WU, P.; XU, L.; SHEN, Y.; APPIAH, E.; YAOQI, W. *Challenges and Prospects of Solid Waste Management in Ghana*. International Journal of Environmental Monitoring and Analysis, v. 5, n. 4, p. 96-102, 2017. Disponível em: <https://www.sciencepublishinggroup.com/article/10.11648/j.ijema.20170504.11>. Acesso em: 10 dez. 2025.
- SANTIAGO, C. D.; MAROTTI, A. C. B.; PUGLIESI, E.; GONÇALVES, J. C.. *Política Nacional de Resíduos Sólidos: perspectivas após um decênio de sua promulgação*. Desenvolvimento e Meio Ambiente, v. 62, p. 152-177, jul./dez. 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.5380/dma.v62i0.81833>. Acesso em: 21 fev. 2025.
- SILVA, W. de M. F.; IMBROSI, D.; NOGUEIRA, J. M. *Municipal Solid Waste Management: Public Consortia as an Alternative Scale-Efficient? Lessons from the Brazilian Experience*. **Current Urban Studies**, v. 5, n. 2, p. 185-201, jun. 2017. Disponível em: <https://doi.org/10.4236/cus.2017.52011>. Acesso em: 13 de nov. 2025.
- SOUZA, C. M. M. de; CARVALHO, A. C. M. G. Solid waste management in urban areas: the case of inter-municipal public consortia in Brazil. *International Journal of Structural and Civil Engineering Research*, v. 6, n. 4, p. 313-317, nov. 2017. DOI: 10.18178/ijscer.6.4.313-317. Disponível em: <https://www.ijscer.com/index.php?m=content&c=index&a=show&catid=144&id=351>. Acesso em: 15 mai. 2025.
- TAHIR, M.; HUSSAIN, T.; BEHAYLU, A.; TILAHUN, A. *Scenario of present and future of solid waste generation in metro cities of India*. Journal of Environment and Earth Science, v. 5, n. 9, p. 164-169, 2015. Disponível em: <https://www.iiste.org/Journals/index.php/JEES/article/view/25215>. Acesso em: 29 mai. 2025.
- TOCANTINS (Estado). Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA). **Resolução COEMA/TO nº 66, de 18 de dezembro de 2015**. *Estabelece o porte do empreendimento e o Coeficiente de Complexidade (CC) para efeito de cálculo dos valores das taxas relativas aos custos operacionais do Naturatins na emissão de seus atos administrativos*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, n. 4536, 11 jan. 2016. Disponível em: <https://central3.to.gov.br/arquivo/429898>. Acesso em: 5 nov. 2025.
- TOCANTINS (Estado). **Decreto nº 6.687, de 20 de outubro de 2023**. *Altera o Anexo I ao Decreto nº 6.313, de 14 de setembro de 2021, que dispõe sobre concessão de diárias e passagens no âmbito da Administração Pública, Direta ou Indireta, do Poder Executivo do Estado do Tocantins*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, n. 6437, 25 out. 2023. Disponível em: <https://doe.to.gov.br/diario/5015/download>. Acesso em: 5 jan. 2026.

TOCANTINS (Estado). Lei Estadual nº 3.614, de 18 de dezembro de 2019. *Institui a Política Estadual de Resíduos Sólidos – PERS e adota outras providências*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, n. 5.510, 19 dez. 2019. Disponível em: https://www.al.to.leg.br/arquivos/lei_3614-2019_51046.PDF. Acesso em: 21 fev. 2025.

TOCANTINS (Estado). **Lei nº 1.287, de 28 de dezembro de 2001**. *Dispõe sobre o Código Tributário do Estado do Tocantins, e adota outras providências*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, n. 1120, 31 dez. 2001. Disponível em: <https://gise.tjto.jus.br/daj/arquivos/Lei-1287-2001-Codigo-Tributario.pdf>. Acesso em: 5 nov. 2025.

TOCANTINS (Estado). **Lei nº 3.408, de 28 de dezembro de 2018**. *Dispõe sobre a fixação, a contagem, a cobrança e o pagamento de emolumentos no exercício das atividades notariais e registras, regulamenta o Fundo Especial de Compensação da Gratuidade dos Atos do Registro Civil de Pessoas Naturais (FUNCIVIL) e adota outras providências*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, n. 5.267, 31 dez. 2018. Disponível em: <https://dtri.sefaz.to.gov.br/legislacao/ntributaria/Leis/Lei3.408.18.htm>. Acesso em: 7 nov. 2026.

TOCANTINS (Estado). *Plano Estadual de Resíduos Sólidos do Tocantins – PERS*. Palmas: Secretaria do Meio Ambiente e Recursos Hídricos (SEMARH), 2017. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/224962> . Acesso em: 21 fev de 2025.

TOCANTINS (Estado). Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins. Corregedoria-Geral da Justiça (CGJUS). **Provimento nº 20, de 18 de dezembro de 2024**. *Reajusta as Tabelas de Emolumentos do Provimento nº 21/2023/CGJUS/TO em cumprimento à Lei Estadual nº 3.408, de 28 de dezembro de 2018*. Diário da Justiça Eletrônico do Tribunal de Justiça do Estado do Tocantins, Palmas, 18 dez. 2024. Disponível em: <https://wwa.tjto.jus.br/diario/pesquisa/materia/870849>. Acesso em: 10 nov. 2026.

TOCANTINS. Conselho Estadual do Meio Ambiente (COEMA). Resolução COEMA n.º 07, de 09 de agosto de 2005. *Dispõe sobre o Sistema Integrado de Controle Ambiental do Estado do Tocantins – SICAM*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, 10 ago. 2005. Disponível em: <https://central.to.gov.br/download/373980>. Acesso em: 21 fev. 2025.

TOCANTINS. Secretaria de Meio Ambiente e Recursos Hídricos – SEMARH. *Sistema de ICMS Ecológico – SISECO*. Disponível em: <https://icmsecologico.to.gov.br/>. Acesso em: 19 de julho de 2024.

TOCANTINS. Tribunal de Contas do Estado do Tocantins. Instrução Normativa TCE/TO nº 6/2024-Pleno, de 26 de junho de 2024. *Estabelece procedimentos de fiscalização de aterros sanitários e orienta sobre a regularização da disposição final ambientalmente adequada*. Diário Oficial do Estado do Tocantins, Palmas, TO, 27 jun. 2024. Disponível em: <https://app.tce.to.gov.br/scl/publico/app/index.php#>. Acesso em: 15 abril de 2024.

- TORO, E. R.; MARTÍNEZ, A. L.; CORTÁZAR, A. L. G. de. *Sequential Methodology for the Selection of Municipal Waste Treatment Alternatives Applied to a Case Study in Chile*. Sustainability, [s. l.], v. 15, n. 7734, p. 1-18, 2023. Disponível em: <https://doi.org/10.3390/su15097734>. Acesso em: 23 fev. 2025.
- TRIBE, M. A.; ALPINE, R. L. W. *Scale economies and the "0.6 rule"*. Engineering Costs and Production Economics, v. 10, n. 4, p. 271-278, 1986. Disponível em: <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/0167188X86900534>. Acesso em: 02 dez. 2025.
- ULLAH, M. A. *Techno-economic Assessment of Utilization of Food Processing Waste for Production of Energy and Chemicals*. 2017. 158 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – University of Alberta, Edmonton, 2017. Disponível em: <https://scispace.com/pdf/techno-economic-assessment-of-utilization-of-food-processing-3igubnabta.pdf>. Acesso em: 28 nov. 2025.
- VARIAN, H. R. *Microeconomia: uma abordagem moderna*. 9. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.
- VIEIRA, E. M. S.; SILVA, M. A. S.; SILVA, A. C.; GUEDES, M. J. F. *Arranjos Regionais para a disposição final de resíduos sólidos: estudo de caso do Estado da Paraíba*. Urbe. Revista Brasileira de Gestão Urbana, v. 16, e20230016, jan. 2024. Disponível em: <https://doi.org/10.1590/2175-3369.016.e20230016>. Acesso em: 25 de fev. 2025.
- WILLIAMS JR., R. Six-tenths factor aids in approximating costs. Chemical Engineering, v. 54, n. 12, p. 124-125, dez. 1947.

APÊNDICE A

APÊNDICE A - Planilha de custos de Aterros individuais com descrição dos serviços, sensibilidade à escala e observações

ITEM	DESCRIÇÃO	SENSIBILIDADE À ESCALA	OBSERVAÇÕES
	ESTIMATIVAS		
1	PRE-IMPLANTAÇÃO		
1.1	ESTUDO DE VIABILIDADE		
	Estudo de viabilidade (téc., econ., legal e socioambi	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Busca de terrenos, av. téc. e docum., opções de cor	não considerado	assumido como não necessário
1.2	AQUISIÇÃO DO TERRENO		
	Aquisição do terreno (ou desapropriação)	fixo	assumido como não necessário, município cederia área própria
	Regularização da documentação (ass. especializada	fixo	Lei estadual 3408 de 28/12/2018 - provimento 20 CGJUS de 18/12/2024 (custo de escritura) + despachante
	Registro de imóveis (cartório)	fixo	Lei estadual 3408 de 28/12/2018 - provimento 20 CGJUS de 18/12/2024 (em função valor área)
	Impostos e taxas (ITBI)	fixo	taxa adotada (2%) (valor da área estimado com base no m² de área rural no tocanins 3,00/m²
1.3	PROJETO E LICENCIAMENTO		
	Levantamento planialtimétrico e cadastral	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Sondagens (a percussão)	fixo	preço por metro atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, (estimado 3 furos 15 metros cada)
	Ensaio geotécnicos e geofísicos	fixo	custo = 2 x sondagem
	Projeto básico (implantação, operação e encerrame	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Plano de trabalho, RAP ou EIA/RIMA	fixo	preço de mercado para projetos ambientais, consulta projeto ASPP, agosto 2025-TO
	Audiências públicas	não considerado	assumido como não necessário
1.4	IMPOSTOS E TAXAS		
	LP - Licença Prévia	fixo	calculado Lei estadual 1287/2001, decreto estadual 6687/2023, resolução coema 66/2015
	Licença do DEPRN (supressão de vegetação e reflor	fixo	calculado Lei estadual 1287/2001, decreto estadual 6687/2023, resolução coema 66/2015
	Outorga do DAEE (captação de água, esgotos, nas	fixo	calculado Lei estadual 1287/2001, decreto estadual 6687/2023, resolução coema 66/2015
2	IMPLANTAÇÃO		
2.1	INFRAESTRUTURA GERAL		
	Engenharia detalhada (projetos executivos)	não considerado	assumido como não necessário
	Mobilização e desmobilização de empreiteiros (eqto	parcial	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Implantação de canteiro	parcial	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Topografia e locações de implantação	fixo	SINAPI 94296 + SINAPI 101389 (Ref. 08/25 TO)
	Cercamento de área - externo	fixo	SINAPI 101194 (Ref. 08/25 TO)
	Cercamento de área - interno	fixo	SINAPI 101194 (Ref. 08/25 TO)
	Instalação de poços de monitoramento	fixo	cotação mercado
	Análises de água subterrânea e superficial (branco)	fixo	estimado
	Acesso externo (pavimentação primária)	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Acessos internos (pavimentação primária)	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Instalações de água (poço artesiano e rede)	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Instalações de esgoto (rede, ETE)	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Reservatório de água e incêndio	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala

	Instalações elétricas (linha externa, entrada e rede interna)	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Instalações de telefonia (cabo ou rádio)	não considerado	assumido como não necessário
	Estação meteorológica	não considerado	assumido como não necessário
2.2	CÉLULAS DE DISPOSIÇÃO		
	Terraplenagem		
	Limpeza da área de disposição (rasp, carreg, tran	fixo	área disposição + 10%, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Limpeza da área adicional (rasp, carreg, transp	fixo	50% da área adicional, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Movimentação de terra (escav, transp, espalh e at	fixo	50% da capacidade volumétrica - resíduos, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Drenagem sub-superficial de urgência		
	Sistema de impermeabilização	fixo	área da base + 10%, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Drenagem e poços de base	proporcional	estimado, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Controles de qualidade da obra e insumos (compac	parcial	estimado, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
2.3	SIST. DE TRATAMENTO DE LÍQUIDOS PERCOLADOS		
	Rede coletora	parcial	larg base x 2 x 1,1, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Estação elevatória	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Reservatório de acumulação (lagoa ou poço)	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
2.4	SIST. DE DRENAGEM DE AGUAS SUPERFICIAIS		
	Rede de captação	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Bacia de sedimentação	não considerado	assumido como não necessário
	Descidas em gabião	não considerado	assumido como não necessário
2.5	AREAS VERDES		
	Reflorestamento (no terreno ou fora dele)	fixo	assumido como não necessário
	Cortina vegetal (cerca viva ou cinturão verde)	parcial	perímetro do terreno x 10 m larg c/ 1 muda cada 2 m*, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Paisagismo	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Viveiro de mudas	não considerado	assumido como não necessário
2.6	INSTALAÇÕES DE APOIO		
	Portaria / portão / cancela	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Guarita de controle e balança rodoviária	fixo	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025
	Lavador de rodas com equipamentos	não considerado	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Sistema de vigilância e segurança patrimonial	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Galpão de manutenção c/ equipam. e ferramentas	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Galpão de apoio operacional / refeitório / vestiários	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Laboratório para análises expeditas c/ equipam.	não considerado	assumido como não necessário
	Escritórios c/ móveis, equipam. e utensílios	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Área de recreação e lazer	não considerado	assumido como não necessário
2.7	ADMINISTRAÇÃO		
	Gerenciamento e despesas internas com a implantação	parcial	porcentual do custo total de implantação
2.8	IMPOSTOS E TAXAS		
	LI - Licença de Instalação	fixo	calculado Lei estadual 1287/2001, decreto estadual 6687/2023, resolução coema 66/2015

	Taxa de compensação ambiental	não considerado	assumido como não necessário
	Outras contrapartidas	fixo	0,25% sobre valor otimizado da instalação
	Alvará de Funcionamento (prefeitura)	parcial	estimado, atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
3	OPERAÇÃO		
	Custo médio mensal		indicador (= total / 240 meses)
3.1	CELULAS DE DISPOSICAO (cont. de 2.2)		
	Terraplenagem		
	Limpeza da área de disposição (rasp, carreg, tran	fixo	área disposição + 10%, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Limpeza da área adicional (rasp, carreg, transp e	fixo	50% da área adicional, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Movimentação de terra (escav, transp, espalh e at	fixo	50% da capacidade volumétrica - resíduos, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Drenagem sub-superficial de urgência		
	Sistema de impermeabilização	parcial	área da base + 10%, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
	Drenagem e poços de base	proporcional	estimado, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Controles de qualidade da obra e insumos (compac	parcial	estimado, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
3.2	DISPOSICAO DE RESIDUOS		
	Sub-total mensal		
	Topografia e locações de ocupação	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Preparo de pistas e praças de descarga (eqtos, com	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Espalhamento e compactação (eqtos, combustível e	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Cobertura (escavação, transporte e espalhamento)	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
3.3	SIST. DE DRENAGEM DE PERCOLADOS E GASES		
	Drenos Intermediários (tubos de concreto ou PEAD	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Drenos Verticais (geotêxtil, brita, tubos de PEAD)	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Flare em inox	fixo	área disp x 0,0005 x 1,05 (1 / 2000 m*) sem reposição, atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025
3.4	TRATAMENTO DE PERCOLADOS		
	Sub-total mensal		
	Transporte e tratamento em ETE pública	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
3.5	SIST. DE DRENAGEM DE AGUAS SUPERFICIAIS		
	Rede de captação	parcial	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Bacia de sedimentação	não considerado	assumido como não necessário
	Descidas em gabião	não considerado	assumido como não necessário
3.6	AREAS VERDES		
	Plantio de grama - topo e taludes (grama em placas	fixo	(12 x no. camadas x larg média x 4), atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025
	Manutenção de áreas verdes (capina, amont , carga	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Manutenção de áreas verdes (capina, amont , carga	proporcional	atualizado pelo incc de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Área de disposição	fixo	(12 x no. camadas x larg média x 4), atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025
	Áreas adicionais	fixo	área adic x 0,5, atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025
3.7	MONITORAMENTO		
	Monitoramento ambiental e geotécnico	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
3.8	EQUIPE DE OPERAÇÃO		
	Sub-total mensal		
	Salários (equipe da frente de trabalho)		

	Encarregado geral	fixo	SINAPI 40818 (referência 08/2025 - TO)
	Líder	não considerado	assumido como não necessário
	Apontador de equipamentos	não considerado	assumido como não necessário
	Ajudante	fixo	SINAPI 41085 (referência 08/2025 - TO)
	Encargos sociais	fixo	incidência aproximada de 80%
3.9	ADMINISTRAÇÃO		
	Sub-total mensal		
	Controle operacional	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Manutenção	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Administração e comercial	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Despesas administrativas	proporcional	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	Atividades socioambientais	parcial	atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
3.10	IMPOSTOS E TAXAS		
	LO - Licença de Operação (renovação a cada 5 anos)	fixo	calculado Lei estadual 1287/2001, decreto estadual 6687/2023, resolução coema 66/2015
	TCFA do IBAMA	não considerado	assumido como não necessário
	AVCB (bombeiros - renovação a cada 2 anos)	proporcional	estimado, atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	IPTU ou ITR	fixo	0,2% do valor do terreno
	Outros impostos e taxas * Nestes itens a coluna QTDE contém valores	parcial	estimado, atualizado pelo igpm de maio/2009 a agosto/2025, com redução em função da escala
	CUSTO TOTAL DURANTE VIDA ÚTIL		

* Itens "fixos" mantêm custo original

* itens "proporcionais" são escalonados totalmente com base no porte

* itens "parciais" são compostos por 50% fixo + 50% escalonado