



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
CAMPUS TRINDADE
BACHAREL EM ENGENHARIA CIVIL

BÁRBARA PEREIRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA EXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE
ESGOTO COM A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA**

Trindade

2025

BÁRBARA PEREIRA DE ARAÚJO

**ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA EXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE
ESGOTO COM A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil do Instituto Federal Goiano Campus Trindade, como parte da exigência para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador(a): Dr. Vinícius Otto Marzall

Coorientador(a): Dr. Aleones José da Cruz Junior

Trindade

2025

**Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor, através do
Programa de Geração Automática do Sistema Integrado de Bibliotecas do IF Goiano - SIBi**

Araújo, Bárbara Pereira de
A663a ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA EXECUÇÃO DE
REDES COLETORAS DE ESGOTO COM A UTILIZAÇÃO
DE UMA NOVA TECNOLOGIA / Bárbara Pereira de Araújo.
Trindade 2025.

63f. il.

Orientador: Prof. Dr. Vinícius Otto Marzall.

Coorientador: Prof. Dr. Aleones José da Cruz Junior.

Monografia (Bacharel) - Instituto Federal Goiano, curso de
0820084 - Bacharelado em Engenharia Civil - Trindade (Campus
Trindade).

1. Saneamento básico. 2. Método Destrutivo. 3. Inovação
tecnológica. 4. Produtividade. 5. Custo unitário. I. Título.

TERMO DE CIÊNCIA E DE AUTORIZAÇÃO PARA DISPONIBILIZAR PRODUÇÕES TÉCNICO-CIENTÍFICAS NO REPOSITÓRIO INSTITUCIONAL DO IF GOIANO

Com base no disposto na Lei Federal nº 9.610, de 19 de fevereiro de 1998, AUTORIZO o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano a disponibilizar gratuitamente o documento em formato digital no Repositório Institucional do IF Goiano (RIIF Goiano), sem resarcimento de direitos autorais, conforme permissão assinada abaixo, para fins de leitura, download e impressão, a título de divulgação da produção técnico-científica no IF Goiano.

IDENTIFICAÇÃO DA PRODUÇÃO TÉCNICO-CIENTÍFICA

- | | |
|--|---|
| <input type="checkbox"/> Tese (doutorado) | <input type="checkbox"/> Artigo científico |
| <input type="checkbox"/> Dissertação (mestrado) | <input type="checkbox"/> Capítulo de livro |
| <input type="checkbox"/> Monografia (especialização) | <input type="checkbox"/> Livro |
| <input checked="" type="checkbox"/> TCC (graduação) | <input type="checkbox"/> Trabalho apresentado em evento |

Produto técnico e educacional - Tipo: Monografia

Nome completo do autor:

Bárbara Pereira de Araújo

Matrícula:

2021108200840209

Título do trabalho:

ANÁLISE TÉCNICO-ECONÔMICA DA EXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE
ESGOTO COM A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA

RESTRIÇÕES DE ACESSO AO DOCUMENTO

Documento confidencial: Não Sim, justifique:

Informe a data que poderá ser disponibilizado no RIIF Goiano: 12 /12 /2025

O documento está sujeito a registro de patente? Sim Não

O documento pode vir a ser publicado como livro? Sim Não

DECLARAÇÃO DE DISTRIBUIÇÃO NÃO-EXCLUSIVA

O(a) referido(a) autor(a) declara:

- Que o documento é seu trabalho original, detém os direitos autorais da produção técnico-científica e não infringe os direitos de qualquer outra pessoa ou entidade;
- Que obteve autorização de quaisquer materiais inclusos no documento do qual não detém os direitos de autoria, para conceder ao Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano os direitos requeridos e que este material cujos direitos autorais são de terceiros, estão claramente identificados e reconhecidos no texto ou conteúdo do documento entregue;
- Que cumpriu quaisquer obrigações exigidas por contrato ou acordo, caso o documento entregue seja baseado em trabalho financiado ou apoiado por outra instituição que não o Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia Goiano.

Trindade

12 /12 /2025

Local

Data

Bárbara P. de Araújo

Assinatura do autor e/ou detentor dos direitos autorais

Ciente e de acordo:

Assinatura do(a) orientador(a) 

Documento assinado digitalmente

VINICIUS OTTO DE AGUIAR RITZMANN MARZALI

Data: 27/01/2026 10:04:46-0300

Verifique em <https://validar.iti.gov.br>



Ata nº 64/2025 - CE-TRI/GE-TRI/CMPTRI/IFGOIANO

ATA DE DEFESA DO TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

Ao dia dez do mês de dezembro de 2025, com início às 17 horas, na presença da Banca Examinadora (exercida de forma virtual) presidida pelo Prof. **Vinícius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall** e composta pelos avaliadores:

1. Eng. Esp. **Thatiely Sousa Fortunato**
2. Prof. Msc. **Geraldo Pereira da Silva Júnior**

A aluna **Bárbara Pereira de Araújo** apresentou o Trabalho de Conclusão de Curso intitulado: **ANÁLISE TÉCNICO ECONÔMICA DA EXECUÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO COM A UTILIZAÇÃO DE UMA NOVA TECNOLOGIA** como requisito curricular indispensável para a obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil pelo Instituto Federal Goiano Campus Trindade.

A Banca Examinadora deliberou e decidiu pela **APROVAÇÃO** do referido trabalho, divulgando o resultado formalmente à aluna e demais presentes e eu, na qualidade de Presidente da Banca, lavrei a presente ata que será assinada por mim, pelos demais examinadores e pela aluna.

Trindade-GO, 10 de dezembro de 2025.

Presidente da Banca Examinadora - Vinicius Otto de Aguiar Ritzmann Marzall

Avaliador 01 – Thatiely Sousa Fortunato

Avaliador 02 – Geraldo Pereira da Silva Júnior

Aluna – Bárbara Pereira de Araújo

Documento assinado eletronicamente por:

- **Vinicio Otto de Aguiar Ritzmann Marzall, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 16/12/2025 11:37:44.
- **Bárbara Pereira de Araújo, 2021108200840209 - Discente**, em 16/12/2025 11:42:58.
- **Thatiely Sousa Fortunato, Thatiely Sousa Fortunato - 214205 - Engenheiro civil - Campus Trindade (10651417001301)**, em 16/12/2025 12:20:32.
- **Geraldo Pereira da Silva Junior, PROFESSOR ENS BASICO TECN TECNOLOGICO**, em 17/12/2025 17:11:52.

Este documento foi emitido pelo SUAP em 16/12/2025. Para comprovar sua autenticidade, faça a leitura do QRCode ao lado ou acesse <https://suap.ifgoiano.edu.br/autenticar-documento/> e forneça os dados abaixo:

Código Verificador: 775227

Código de Autenticação: 9aa1dff266



INSTITUTO FEDERAL GOIANO
Campus Trindade
Av. Wilton Monteiro da Rocha, S/N, Setor Cristina II, TRINDADE / GO, CEP 75389-269
(62) 3506-8000

Este trabalho é em homenagem a Maximiano, meu avô. Através das histórias e da profunda admiração de meu pai, pude conhecer o melhor pedreiro e o homem que lançou as fundações para o meu interesse na construção. Ele é, de forma indireta, o ponto de partida para a minha carreira na Engenharia

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, por ter me concedido força e resiliência, e aos meus pais, por serem o meu alicerce inabalável e por me darem apoio total e irrestrito para a realização de todos os meus sonhos. A conquista deste trabalho é uma vitória que divido com vocês.

Um agradecimento especial aos meus orientadores, Professor Doutor Vinícius Otto Marzall e Professor Doutor Aleones José da Cruz Junior. Sou profundamente grata pela orientação precisa, por me desafiarem a enxergar além das minhas próprias capacidades e por elevarem o nível desta pesquisa. Acreditar no meu potencial fez toda a diferença em minha jornada.

Por fim, agradeço à CCB – Construtora Central do Brasil, cujo apoio e a disponibilização de dados relevantes foram essenciais para garantir a base prática e a profundidade da análise deste trabalho.

RESUMO

O Saneamento Básico é uma infraestrutura essencial e um direito fundamental, mas enfrenta o desafio de cumprir as metas de universalização de 90% de coleta e tratamento de esgoto até 2033, estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020) demandando maior eficiência operacional e racionalização de recursos em obras. Este trabalho propôs uma análise técnico-econômica do Método Destrutivo (MD) tradicional e o Método Destrutivo com Implemento (MDI), uma nova tecnologia que incorpora acessórios à retroescavadeira para otimizar as etapas de escavação e compactação. O estudo de caso, de natureza quantitativa, utilizou dados reais de campo na execução uma rede coletora de esgoto em Barcarena, Pará. Em termos técnicos, o MDI demonstrou um ganho de Produtividade Média (P_m) de 16,44% em relação ao *baseline* do MD (73,18 m/dia), impulsionado pela capacidade do implemento de padronizar a largura da vala, resultando em uma redução média de 12,17% no Volume Unitário de Escavação (V_{unit}). Adicionalmente, a tecnologia aprimora a segurança operacional ao eliminar a necessidade de o trabalhador adentrar o espaço confinado em profundidades superiores a 1,25 m. Economicamente, os ganhos técnicos traduziram-se em uma redução de 8,8% no Custo Unitário (R\$/m) consolidado, que passou de R\$ 266,41/m (MD) para R\$ 242,96/m (MDI), confirmando que a otimização da execução é crucial para a viabilidade econômico-financeira do implemento. Conclui-se que o MDI configura uma inovação incremental de alto valor agregado, capaz de acelerar as metas de universalização e fortalecer a eficiência dos investimentos em saneamento básico no contexto nacional.

Palavras-chave: Saneamento básico; Método Destrutivo; Inovação tecnológica; Produtividade; Custo unitário; Redes coletoras de esgoto.

ABSTRACT

Basic Sanitation, recognized as essential infrastructure for the realization of fundamental rights to health and human dignity, faces the challenge of meeting the universalization goals of 90% sewage collection and treatment by 2033, established by the New Legal Framework for Sanitation (Law No. 14,026/2020), which demands greater operational efficiency and rationalization of resources in infrastructure works. This study proposed a technical-economic analysis comparing the traditional Destructive Method (DM) with the Destructive Method with Implement (DMI), a new technology that incorporates accessories into the backhoe to optimize the excavation and compaction stages. The quantitative case study used real field data from the execution of a sewage collection network in the municipality of Barcarena, Pará. Technically, the DMI demonstrated a gain in Average Productivity (P_m) of 16.44% compared to the DM baseline (73.18 m/day), driven by the implement's ability to standardize the trench width, resulting in an average 12.17% reduction in Unit Excavation Volume (V_{unit}). Additionally, the technology enhances operational safety by eliminating the need for workers to enter the confined space at depths exceeding 1.25 m. Economically, the technical gains translated into an 8.8% reduction in the consolidated Unit Cost (R\$/m), which decreased from R\$ 266.41/m (DM) to R\$ 242.96/m (DMI), confirming that execution optimization is crucial for the implement's economic and financial viability. It is concluded that DMI constitutes a high-value-added incremental innovation, capable of accelerating universalization goals and strengthening the efficiency of basic sanitation investments in the national context.

Keywords: Basic sanitation; Destructive Method; Technological innovation; Productivity; Unit cost; Sewage collection networks.

LISTA DE FIGURAS

Figuras

- Figura 1 — Evolução da extensão da rede de esgoto (2010–2023) 23
- Figura 2 — Relação entre investimento total e extensão da rede (2010–2023) 23
- Figura 3 — Divisão dos métodos construtivos 24
- Figura 4 — Aplicação do DN 150 nas fórmulas dos autores. 26
- Figura 5 — Etapas de execução de rede coletor de esgoto sanitário 28
- Figura 6 — Demarcação espacial das sub-bacias Pioneiros e Barcarena Sede. 32
- Figura 7 — Período de análise 33
- Figura 8 — Critérios de seleção 34
- Figura 9 — Fluxograma das etapas metodológicas 34
- Figura 10 — Desempenho consolidado da produtividade média por método 41
- Figura 11 — Variação percentual da produtividade mensal em relação a outubro/24 42
- Figura 12 — Variação da Profundidade e Largura Média das Valas (Out/24 - Mar/25) 43
- Figura 13 — Relação entre produtividade, profundidade e largura média (m) 44
- Figura 14 — Projeção do Impacto da Eficiência Operacional do MDI em Escala Nacional 45
- Figura 15 — Custo Unitário mensal do MDI comparado ao MD 46
- Figura 16 — Composições comparativas (MD x MDI) 47
- Figura 17 — Evolução física-financeira (receita/custo) x Produtividade (m) 48

LISTA DE QUADROS

Quadros

Quadro 1 — Implemento acopláveis e respectivas funções 30

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 — Indicadores por localidade 23

Tabela 2 — Fórmulas para determinação da largura da vala. 26

Tabela 3 — Largura da vala para obra de esgoto 27

Tabela 5 — Custos Indiretos 38

Tabela 6 — Custo unitário de redes coletoras de esgoto (valores originais e atualizados) 39

Tabela 7 — Produção total em metros lineares por mês e por equipe 40

Tabela 8 — Produtividade média das equipes pelo MD e MDI 41

Tabela 9 — Volume unitário de escavação (*V_{unit}*) e redução volumétrica 43

Tabela 10 — Custo unitário consolidado (MD x MDI) 46

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AF	Arquivo de Referência (códigos do SINAPI)
BDI	Benefícios e Despesas Indiretas
BIM	Building Information Modeling (Modelagem da Informação da Construção)
CAEMA	Companhia de Saneamento Ambiental do Maranhão
CAGEPA	Companhia de Água e Esgotos da Paraíba
CBUQ	Concreto Betuminoso Usinado a Quente
CHP	Custo Horário Produtivo
CIPP	Cured-in-Place Pipe
DN	Diâmetro Nominal
Eop	Eficiência Operacional
FGV	Fundação Getúlio Vargas
GPR	Ground Penetrating Radar (Radar de Penetração no Solo)
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
INCC-M	Índice Nacional de Custo da Construção - Mercado
MD	Método Destrutivo (Método Tradicional)
MDI	Método Destrutivo com Implemento
MND	Método Não Destrutivo
NBR	Norma Brasileira
ODS	Objetivo de Desenvolvimento Sustentável
ONU	Organização das Nações Unidas
PEAD	Polietileno de Alta Densidade
Pm	Produtividade Média
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PVC	Policloreto de Vinila
PV	Poço de Visita
R/C	Coeficiente Receita/Custo
SANEAGO	Saneamento de Goiás S/A
SINAPI	Sistema Nacional de Pesquisa de Custos e Índices da Construção Civil
STJ	Superior Tribunal de Justiça
Vunit	Volume Unitário de Escavação

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	17
2.	OBJETIVOS	19
2.1	OBJETIVO GERAL	19
2.2	OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	19
3.	JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA	20
4.	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	21
4.1	HISTÓRICO DE INFRAESTRUTURAS URBANAS DE SANEAMENTO	21
4.2	PANORAMA BRASILEIRO INFRAESTRUTURAS URBANAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	22
4.3	MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE INFRAESTRUTURA URBANA DE COLETA DE ESGOTOS SANITÁRIOS	24
4.4	MÉTODOS DESTRUTIVOS PARA INSTALAÇÃO DE REDES DE ESGOTO SANITÁRIO.....	25
4.5	INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICÁVEIS AO MÉTODO DESTRUTIVO.....	29
4.6	DESCRIPÇÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA AO MD	30
5.	METODOLOGIA	32
5.1	DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DOS DADOS	32
5.1.1	Delimitação E Período De Análise	32
5.1.2	Fluxo Metodológico.....	34
5.2	DESCRIPÇÃO DOS MÉTODOS E PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO.....	35
5.2.1	Indicadores técnicos	35
5.2.2	Indicadores econômicos	36
6.	RESULTADOS	40
6.1	PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA OPERACIONAL	40
6.2	GANHOS CONSOLIDADOS E EVOLUÇÃO PERCENTUAL	41
6.3	ANÁLISE DIMENSIONAL.....	42
6.4	RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE, PROFUNDIDADE E LARGURA	44
6.5	PROJEÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E POTENCIAL DE DESEMPENHO NACIONAL	45
6.6	ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA.....	46
6.7	RELAÇÃO FÍSICO-FINANCEIRA (RECEITA/CUSTO)	47
7.	CONCLUSÃO	49

REFERÊNCIAS	50
APÊNDICE A — PLANILHA ORÇAMENTÁRIA MD E APLICAÇÃO PARA O MÊS DE OUTUBRO/24	56
APÊNDICE B – PLANILHA ORÇAMENTÁRIA MDI E APLICAÇÃO DE NOVEMBRO/24 A MARÇO/25.....	58
APÊNDICE C – COMPOSIÇÃO DE CUSTOS DOS ITENS QUE FORAM ALTERADOS PARA O MDI.....	60

1. INTRODUÇÃO

O Saneamento Básico estabelece uma conexão direta com a normatividade dos Direitos Fundamentais previstos na Constituição Federal de 1988. Embora não esteja listado explicitamente no texto constitucional, a sua implementação é reconhecida como infraestrutura essencial e requisito mínimo para a concretização dos direitos sociais à saúde e à dignidade humana (STJ, REsp 1.366.331/RS). Essa vinculação se evidencia na efetivação do princípio da dignidade da pessoa humana (BRASIL, 1988, Art. 1º, III), e do direito social à saúde (BRASIL, 1988, Art. 6º), visto que o acesso universal à água potável e ao esgotamento sanitário constitui a medida preventiva mais eficaz no âmbito da saúde pública.

Neste contexto, a Lei nº 11.445 (BRASIL, 2007), conhecida como Marco Legal do Saneamento Básico, estabelece as diretrizes nacionais para o setor. Essa legislação foi atualizada pela Lei nº 14.026, que definiu metas de universalização, e segundo as quais, até 31 de dezembro de 2033, 99% da população brasileira deverá ter acesso à água potável e 90% à coleta e tratamento de esgoto (BRASIL, 2020).

Essas metas estão alinhadas à Agenda 2030 da Organização das Nações Unidas (ONU), especialmente ao Objetivo de Desenvolvimento Sustentável (ODS) nº6, que busca assegurar a disponibilidade e gestão sustentável da água e do saneamento para todos. No Brasil, entretanto, o último levantamento, feito em 2021, apresentou que apenas 55,81% da população possui acesso aos sistemas de esgotamento sanitário (ONU, 2021). Esse cenário revela a necessidade de ampliar e qualificar as obras de infraestrutura sanitária, promovendo maior eficiência e racionalização de recursos.

Atualmente, a ausência de planejamento urbano adequado se apresenta como um desafio à expansão dos sistemas de saneamento. Embora seja legalmente exigido pelo Marco Legal, cerca de 28,6% dos municípios brasileiros ainda não apresentavam o Plano Municipal de Saneamento Básico (PMSB) como instrumento específico em 2023 (IBGE, 2024). A falta desse planejamento prévio resulta em sucessivas intervenções e escavações em áreas urbanas consolidadas, gerando impactos negativos à população, como ruído, poeira e interdições viárias (MAGALHÃES, 2025).

A execução das redes coletoras de esgoto, sobretudo em vias urbanas já consolidadas, acarreta transtornos persistentes devido à lenta evolução tecnológica dos métodos destrutivos tradicionais (FONSECA; SARMENTO; PAULA, 2014; DEZOTTI, 2008). As redes de esgoto podem ser executadas por Métodos Destrutivos (MD) ou Não Destrutivos (MND). O MD, ou método tradicional, envolve a retirada do pavimento e a abertura de valas para a instalação,

seguido pelo reaterro e recomposição da superfície. O MND, por sua vez, utiliza técnicas que dispensam a abertura de valas, preservando a superfície por meio de perfuração horizontal do subsolo (SILVA, 2020).

A escolha do método depende de diversos fatores, como o tipo de solo, a profundidade, o diâmetro nominal, o nível de interferência de outras infraestruturas, a viabilidade financeira (PARENTE E SILVA, 2018), além da topografia, do planejamento urbano, do volume de esgoto e da declividade da tubulação (ITO, 2023).

O Método Destrutivo (MD) é o processo mais difundido na implantação de redes de esgoto, mas sua eficiência operacional pode ser otimizada por meio de tecnologias aplicadas antes e durante a execução. As inovações relacionadas ao MD buscam otimizar processos e racionalizar recursos, englobando soluções como o mapeamento e a precisão do Radar de Penetração no Solo (*Ground Penetrating Radar – GPR*) para identificação de interferências. Além disso, a execução da obra tem sido aprimorada com o desenvolvimento de implementos que promovem ganhos na compactação e escavação. Destacam-se as placas vibratórias acopladas a escavadeiras hidráulicas e os implementos acoplados à retroescavadeira, que utilizam ferramentas específicas para a compactação em valas estreitas. Este último visa diretamente a redução da largura da escavação e o alcance do Grau de Compactação (GC), estabelecido na norma NBR 17015 (GC $\geq 100\%$). Tais avanços tecnológicos são cruciais para impulsionar a infraestrutura de saneamento no contexto nacional.

Com base nesse cenário e na necessidade de aprimorar os processos, este trabalho propõe comparar o Método Destrutivo tradicional, conforme norma NBR 17015 (ABNT, 2023), com um Método Destrutivo com Implemento. Sendo este, caracterizado pela incorporação de acessórios que modificam as etapas de escavação e compactação de valas, buscando analisar as diferenças em produtividade, redução de recursos e aderência aos requisitos normativos.

2. OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

Realizar uma análise técnico-econômica da execução de redes coletoras de esgoto em um estudo de caso, comparando a execução pelo método destrutivo tradicional com uma nova tecnologia aplicada às etapas de escavação e compactação.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Revisar e consolidar as técnicas de execução de redes coletoras pelo MD, fundamentando-se em normas vigentes e referências especializadas.
- Identificar os requisitos normativos específicos que regem as etapas de escavação, reaterro e compactação no processo executivo.
- Descrever e comparar as etapas de execução do Método Destrutivo Tradicional e do Método Destrutivo com implemento, detalhando as modificações introduzidas por ele.
- Quantificar a diferença de produtividade (tempo de execução) e a variação nos custos diretos proporcionadas pela solução aprimorada em relação ao MD.

3. JUSTIFICATIVA E RELEVÂNCIA

A implantação de redes coletoras de esgoto no Brasil enfrenta desafios que vão além do déficit de cobertura: envolve custos elevados, limitações técnicas e repetidas intervenções urbanas que reduzem a eficiência das obras. Um dos principais problemas identificados na literatura é a falta de informações técnicas adequadas nos projetos, o que gera retrabalhos, atrasos e aumento de custos (FERREIRA, 2013). Esse cenário impacta diretamente o desempenho do Método Destrutivo, ainda amplamente utilizado em obras de saneamento.

Apesar da relevância prática desse método, existe uma lacuna significativa de estudos técnico-experimentais que avaliem tecnologias capazes de aprimorá-lo, sobretudo aquelas relacionadas ao uso de implementos acoplados à retroescavadeira. Poucas pesquisas abordam seus efeitos reais sobre produtividade, redução da largura da vala e eficiência da compactação em comparação ao MD convencional. Assim, investigar essa tecnologia contribui para suprir uma ausência de dados técnicos confiáveis no contexto brasileiro.

O objeto deste estudo é o implemento acoplado à retroescavadeira, uma solução recentemente introduzida no mercado e ainda pouco documentada na literatura técnico-científica. Sua aplicação promete otimizar as etapas de escavação e compactação no Método Destrutivo (MD), mas carece de análises que comprovem seu desempenho em condições reais de obra. A relevância científica deste trabalho reside justamente nessa lacuna: há escassez de dados experimentais e estudos comparativos que quantifiquem ganhos de produtividade, variações de custos diretos e aderência aos requisitos normativos.

Do ponto de vista social e ambiental, a modernização proposta também se justifica. Ao quantificar a potencial redução no tempo de execução das valas, o estudo oferece subsídios para minimizar os transtornos urbanos — como interdições viárias, ruído excessivo e poeira — que são inerentes ao MD. Essa busca por maior eficiência operacional concilia os objetivos da Engenharia Civil com a sustentabilidade das intervenções.

Portanto, ao oferecer dados técnicos comparativos sobre o uso de implementos no MD, esta pesquisa contribui para decisões mais fundamentadas, fomentando eficiência operacional e racionalização de recursos em obras de saneamento.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A presente revisão bibliográfica foi elaborada de forma sequencial, sistemática e coesa, com o propósito de fundamentar teoricamente a análise comparativa. Inicialmente, contextualiza-se o saneamento básico no contexto constitucional brasileiro e em indicadores de cobertura, seguido pela diferenciação entre os métodos construtivos de redes de esgoto, priorizando o Método Destrutivo. O referencial teórico aprofunda-se, então, na análise dos critérios normativos da NBR 17015 (ABNT, 2023), confrontando-os com a literatura especializada. Por fim, são empregadas as inovações tecnológicas aplicáveis ao MD, com o intuito de estabelecer a base técnica para a avaliação da produtividade e da racionalização de recursos desenvolvida neste trabalho.

4.1 HISTÓRICO DE INFRAESTRUTURAS URBANAS DE SANEAMENTO

As infraestruturas urbanas de saneamento remontam à Antiguidade, com evidências de sistemas de drenagem superficial nos impérios Babilônico e Mesopotâmico (c. 4000–2500 a.C.). O desenvolvimento de sistemas de esgoto e drenagem bem-organizados ocorreu a partir de aproximadamente 3000 a.C., por civilizações pioneiras como a minoica (Creta) e a harappiana (Vale do Indo) (DE FEO *et al.*, 2014). Esses povos introduziram conceitos de engenharia urbana, utilizando canais de pedra e tubos de terracota para a condução de águas residuais e pluviais. Destaca-se o palácio de Cnossos (minoico), que possuía o primeiro sistema conhecido de banheiro com descarga d'água conectado a redes subterrâneas (DE FEO *et al.*, 2014), e os egípcios, pioneiros no uso de tubos de cobre e de argila para transporte de esgoto (DE FEO *et al.*, 2014). Posteriormente, civilizações como a romana aperfeiçoaram essas técnicas, expandindo a escala das obras (ex: Cloaca Maxima), mas o progresso estagnou significativamente durante o período medieval (DE FEO *et al.*, 2014; MURTHA *et al.*, 2015).

Somente a partir do século XIX, especialmente após 1850, o saneamento urbano ressurgiu como prioridade em resposta às epidemias de cólera e outras doenças de veiculação hídrica. A constatação da relação direta entre esgoto não tratado e contaminação das fontes de água potável impulsionou grandes avanços técnicos, promovendo a coleta, o transporte e o tratamento dos efluentes antes de seu descarte (DE FEO *et al.*, 2014; MURTHA *et al.*, 2015).

No Brasil, as primeiras iniciativas de saneamento refletiram a influência europeia, concentrando-se em grandes centros urbanos. Durante o século XX, políticas públicas como o Plano Nacional de Saneamento (PLANASA), na década de 1970, buscaram expandir os serviços de água e esgoto no país (MARQUES; LIMA, 2012). Mais recentemente, a

promulgação da Lei nº 11.445, de 2007 (BRASIL, 2007), estabeleceu diretrizes nacionais, e o Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026, de 2020 (BRASIL, 2020)) reforçou o compromisso com a universalização do acesso aos serviços até 2033 (VILARINHO; COUTO, 2023).

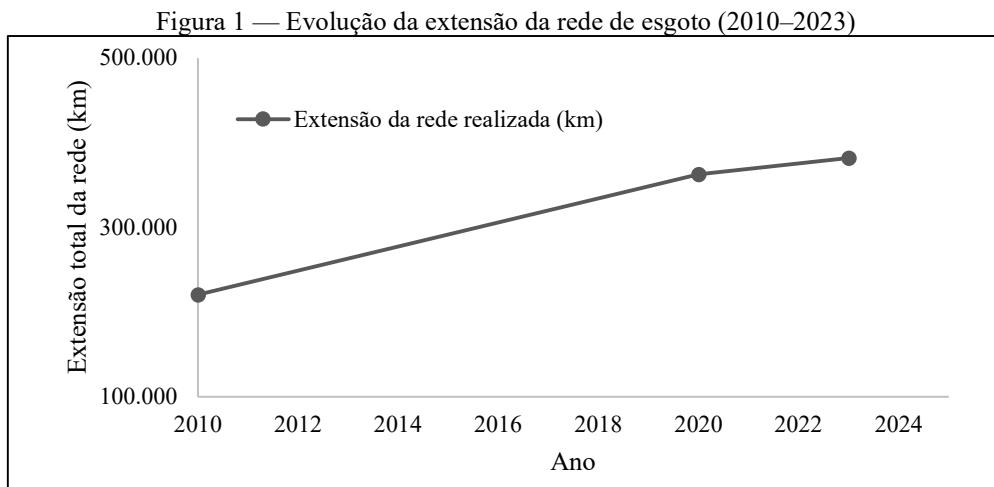
4.2 PANORAMA BRASILEIRO INFRAESTRUTURAS URBANAS DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

O saneamento básico no Brasil ainda apresenta desigualdades expressivas entre as regiões, refletindo diretamente no bem-estar da população e no desenvolvimento urbano. Conforme dados do Instituto Trata Brasil (2023), 40,30% da população brasileira não possui acesso à rede de esgoto, enquanto aproximadamente 34,1 milhões de pessoas não têm acesso à água tratada. Essa realidade evidencia o desafio da universalização dos serviços e a necessidade de políticas públicas mais eficazes.

Para enfrentar esse cenário, foi instituído o Marco Legal do Saneamento Básico, a Lei nº 14.026, de 2020 (BRASIL, 2020), que atualizou o marco regulatório anterior, a Lei nº 11.445, de 2007 (BRASIL, 2007). O novo marco visa modernizar e expandir os serviços de saneamento, estabelecendo metas ambiciosas: até 2033, 99% da população deve ter acesso à água potável e 90% à coleta e tratamento de esgoto. Entre as principais diretrizes, destacam-se:

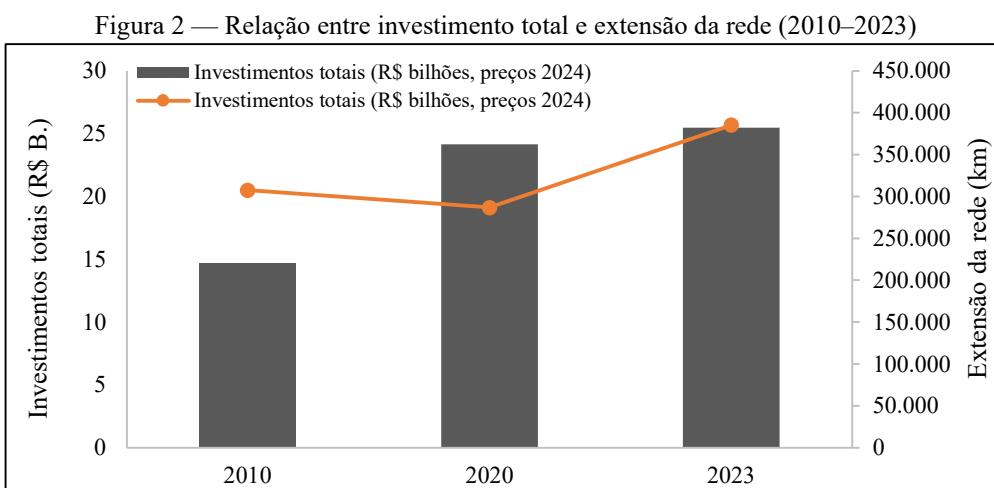
- a universalização do atendimento;
- a ampliação da participação da iniciativa privada, por meio de licitações públicas, promovendo competitividade e eficiência;
- e a regionalização da prestação dos serviços, permitindo que municípios com menor capacidade técnica e financeira integrem-se a blocos regionais.

Entretanto, a análise dos indicadores macroeconômicos do saneamento evidencia que o desafio nacional não se limita apenas ao montante de investimentos, mas também à eficiência na sua aplicação. Dados consolidados entre 2010 e 2023 demonstram que, embora o custo total dos serviços de saneamento tenha aumentado aproximadamente 127%, a extensão física das redes cresceu apenas 73,4%, revelando uma disparidade significativa entre dispêndio financeiro e expansão da infraestrutura. A Figura 1 apresenta a evolução da extensão da rede de esgoto no período analisado, evidenciando crescimento progressivo, porém insuficiente frente ao ritmo de elevação dos custos.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Adicionalmente, a Figura 2 reforça esse diagnóstico ao indicar que, mesmo com um aumento de 34,3% nos investimentos entre 2020 e 2023, a ampliação física da rede foi de apenas 5,4%, o que demonstra entraves na capacidade do setor em transformar recursos financeiros em expansão territorial efetiva.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As disparidades regionais intensificam ainda mais esse cenário. A Tabela 1 apresenta a proporção da população sem acesso à água tratada e à coleta de esgoto por região, evidenciando contrastes marcantes, sobretudo nas regiões Norte e Nordeste.

Tabela 1 — Indicadores por localidade

Região	População sem acesso à água (%)	População sem coleta de esgoto (%)
Norte	39,10	77,20
Nordeste	25,90	66,20
Sudeste	9,50	19,20
Sul	12,40	48,50
Centro-Oeste	11,70	33,50
Brasil	16,90	40,30

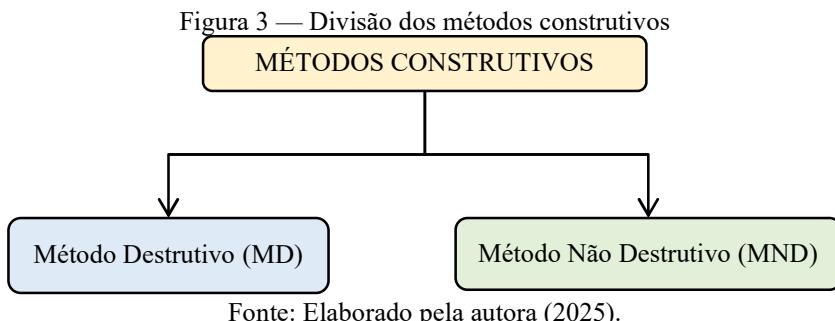
Fonte: Trata Brasil (2023).

Esse conjunto de evidências apresenta outro problema do saneamento brasileiro que vai além da insuficiência de investimentos, sobretudo na limitação da eficiência operacional na execução das obras. Tal realidade reforça a necessidade de estratégias voltadas à otimização dos processos executivos, por meio da adoção de tecnologias que promovam maior produtividade e redução do custo unitário por metro linear.

Nesse contexto, tecnologias como o Método Destruutivo com Implemento (MDI) configuram-se como alternativas técnicas relevantes, ao propor ganhos de eficiência operacional capazes de potencializar a conversão entre investimento e expansão da malha de esgotamento sanitário, contribuindo de forma indireta, porém consistente, para o avanço das metas de universalização estabelecidas pelo Novo Marco Legal do Saneamento.

4.3 MÉTODOS DE EXECUÇÃO DE INFRAESTRUTURA URBANA DE COLETA DE ESGOTOS SANITÁRIOS

Os métodos construtivos para escavação de redes coletoras de esgoto podem ser classificados em dois grandes grupos: o Método Destruutivo (MD), também chamado de Tradicional (DEZOTTI, 2008), conforme representado na Figura 3.



O MD consiste na abertura de valas ao longo da extensão definida em projeto, seguida do assentamento das tubulações sobre um berço de material granular, reaterro e compactação, e, quando necessário, recomposição da superfície do pavimento (CORAL; STEINER, 2020). Esse método permanece amplamente utilizado devido à sua confiabilidade, padronização normativa e facilidade de execução, sobretudo em obras de saneamento básico de pequeno e médio porte (SIMÕES *et al.*, 2023). No entanto, apresenta limitações relacionadas à geração de resíduos, interferência no tráfego urbano e impactos ambientais e sociais decorrentes da escavação aberta (DEZOTTI, 2008; FERREIRA, 2013).

Em contrapartida, os métodos não destrutivos (MND) têm ganhado espaço nas últimas décadas, impulsionados pela necessidade de reduzir os impactos das obras em áreas urbanas consolidadas. As principais inovações no campo das infraestruturas subterrâneas estão

associadas justamente ao desenvolvimento de técnicas de reabilitação e substituição de tubulações sem escavação, como o microtunelamento, a perfuração direcional horizontal e o revestimento interno com cura in loco (*Cured-in-Place Pipe - CIPP*) (MA *et al.*, 2025). Tais métodos permitem a execução de redes com menor interferência sobre a superfície, maior eficiência e redução do tempo de obra (ABRATT, [s.d.]).

Entretanto, o uso de tecnologias não destrutivas ainda enfrenta barreiras no Brasil, sobretudo em função do custo inicial elevado, da carência de equipamentos especializados e da necessidade de mão de obra capacitada e treinada. Assim, o método destrutivo continua sendo predominante, especialmente em projetos públicos de saneamento, nos quais o custo inicial da implantação tende a ser o fator decisivo (FERREIRA, 2013; DEZOTTI, 2008).

Portanto, enquanto o MND representa um avanço tecnológico de caráter estrutural e conceitual, o aprimoramento do MD por meio da incorporação de equipamentos e técnicas mecanizadas constitui uma inovação incremental, mais acessível e aplicável à realidade das obras de saneamento brasileiras.

4.4 MÉTODOS DESTRUTIVOS PARA INSTALAÇÃO DE REDES DE ESGOTO SANITÁRIO

Os métodos destrutivos para a instalação de redes coletoras de esgoto envolvem a escavação direta do solo, uma técnica que, embora seja padronizada, gera impacto significativo no entorno da obra, especialmente quando realizada com larguras elevadas.

Este tópico está dividido entre os critérios normativos para a definição da largura das valas, conforme norma vigente, e as fórmulas apresentadas na literatura técnica, desenvolvidas para este fim, que abordam critérios no diâmetro da tubulação e na largura mínima. Na sequência, detalham-se as etapas de execução previstas pela norma, desde a escavação até a compactação e recomposição do pavimento.

A definição correta da geometria da vala é o ponto de partida para garantir eficiência e segurança da escavação, na qual a largura depende da profundidade, do diâmetro da tubulação, do tipo de escoramento e do tipo de solo (FERREIRA, 2013). O aumento da largura em função da profundidade impacta diretamente outros fatores, como o aumento de material de reaterro; aumento do material de reposição do pavimento; utilização de equipamentos robustos ou conchas de maior capacidade.

A largura da vala (Bd) é um parâmetro essencial para a escavação de redes coletoras de esgoto, influenciando diretamente a estabilidade da escavação, no espaço disponível para instalação e inspeção do tubo e na escolha de técnicas de escoramento. A definição dessa largura

deve considerar o diâmetro da tubulação (Di), o tipo de solo, o método de escoramento adotado e a profundidade da vala.

➤ Critérios da Literatura

Diversas fórmulas empíricas são utilizadas na literatura técnica para estimar a largura mínima da vala (Bd) com base no diâmetro da tubulação (Di). Dessa forma a Tabela 2 agrupa as fórmulas apresentadas por diferentes autores (MENDONÇA, 1987 apud SOARES, 2010). Tais expressões consideram margens laterais que possibilitem a acomodação do trabalhador e a operação de ferramentas ou compactadores, oferecendo uma margem de segurança durante a execução.

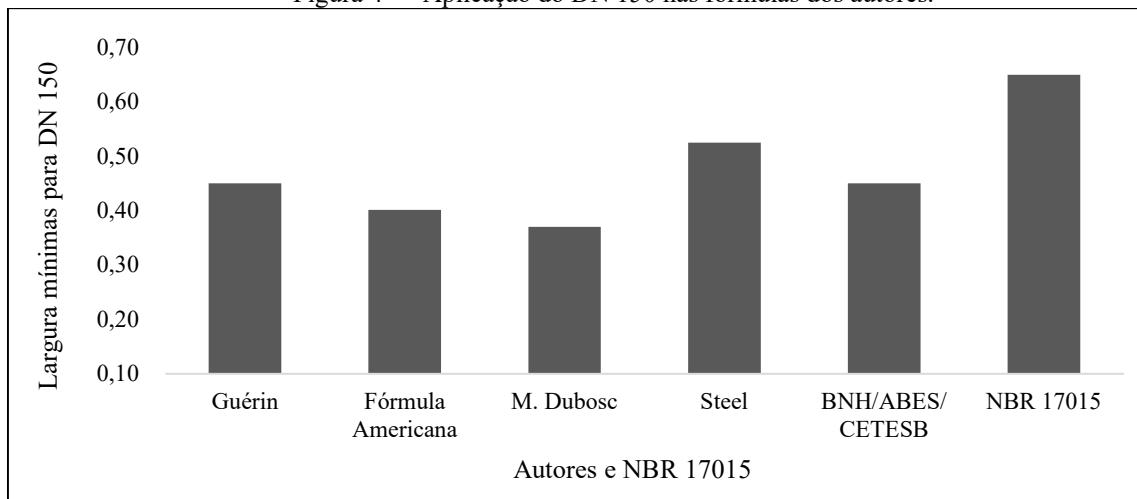
Tabela 2 — Fórmulas para determinação da largura da vala.

Autores	Fórmulas
Guérin	$Bd = Di + 2 * (0,15m \text{ ou } 0,30m)$
Fórmula Americana	$Bd = 1,34 Di + 0,20m$
M. Dubosc	$Bd = 1,40 Di + 0,16m$
Steel	$Bd = 1,50 Di + 0,30m$
BNH/ABES/CETESB	$Bd = Di + 0,30m$

Fonte: Mendonça (1987) apud Soares (2004).

Para fins de exemplificação, ao adotar um DN 150, é possível identificar a variação de largura dentre os autores através da Figura 4, incluindo a largura mínima da norma considerando DN entre 100 e 150 e profundidade até 2 metros.

Figura 4 — Aplicação do DN 150 nas fórmulas dos autores.



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

➤ Critérios Normativos

A norma NBR 17015 (ABNT, 2023), apresenta em seu Anexo B a Tabela B.1, que estabelece larguras mínimas para valas de esgoto em função do diâmetro nominal (DN) e da profundidade da vala (h), variando também conforme o tipo de escoramento utilizado.

A norma especifica valores de largura de valas para diâmetros de tubos de 100 a 1000 mm, sendo os diâmetros de 100 e 150 mm os mais utilizados. Assim, a Tabela 3 apresenta a relação da largura em função do diâmetro (DN 100 e 150), da cota de corte e das condições de escavação.

Tabela 3 — Largura da vala para obra de esgoto

Diâmetro Nominal (DN) [mm]	Cota de corte (h) [m]	Largura da vala em função do tipo de escoramento e cota de corte [m]		
		Pontaletes	Contínuo/Descontínuo	Especial
100 e 150	0 ≤ h ≤ 2	0,65	0,65	0,75
	2 ≤ h ≤ 4	0,75	0,85	1,05
	4 ≤ h ≤ 6	0,85	1,05	1,35
	6 ≤ h ≤ 8	0,95	1,25	1,65

Fonte: Adaptado de NBR 17015 (2023).

Ao comparar os critérios normativos com os valores estimados pelas fórmulas da literatura, observa-se que:

- As fórmulas empíricas geralmente resultam em valores menores ou equivalentes aos limites normativos, especialmente para valas rasas.
- A norma apresenta valores mais conservadores, em função da profundidade e do tipo de escoramento, priorizando a segurança e a viabilidade construtiva.

A norma vigente define os critérios para obras lineares destinadas ao transporte de água bruta, tratada, esgoto sanitário e drenagem urbana, abrangendo a utilização de tubos rígidos, semirrígidos e flexíveis. A partir dessa normatização, as etapas de execução de redes coletoras de esgoto, essenciais para o método destrutivo (MD), são estabelecidas em detalhe.

I. Locação e nivelamento: Demarcação do eixo da rede no terreno, indicando PV's (poço de visita), largura e profundidade das valas. Deve-se conferir as cotas a cada 20 cm antes do assentamento da tubulação.

II. Locação complementar: Aplica-se quando há interferências não previstas em projeto. Específicas critérios distintos para valas no leito carroçável e no passeio, priorizando segurança, legislação e viabilidade técnica.

III. Remoção de pavimentação: A largura mínima de remoção deve respeitar acréscimos de 0,15 m para ruas e 0,10 m para passeios, para cada lado. Pavimentos articulados com

reaproveitamento devem ser removidos com ferramentas manuais para evitar danos e armazenados em local adequado para reutilização.

IV. Escavação de valas, poços e cavas: A escavação deve considerar o tipo de solo e a profundidade prevista. Para profundidades acima de 1,25 m, o escoramento é obrigatório.

V. Escoramento: Deve seguir projeto específico e respeitar características do solo e profundidade. Existe diferentes tipos, como pontaleteamento, escoramento contínuo, metálico, entre outros.

VI. Esgotamento: Em casos de lençol freático, é necessário prever sistema de drenagem adequado. E não havendo especificação no projeto, deve ser utilizado o conjunto motor bomba para esgotamento do tipo autoescorvante ou submersa.

VII. Assentamento: Executado de jusante para montante, após preparo do fundo da vala conforme projeto. O preparo pode envolver substituição de solo ou regularização com material granular, especialmente em solos instáveis ou escavações em rocha.

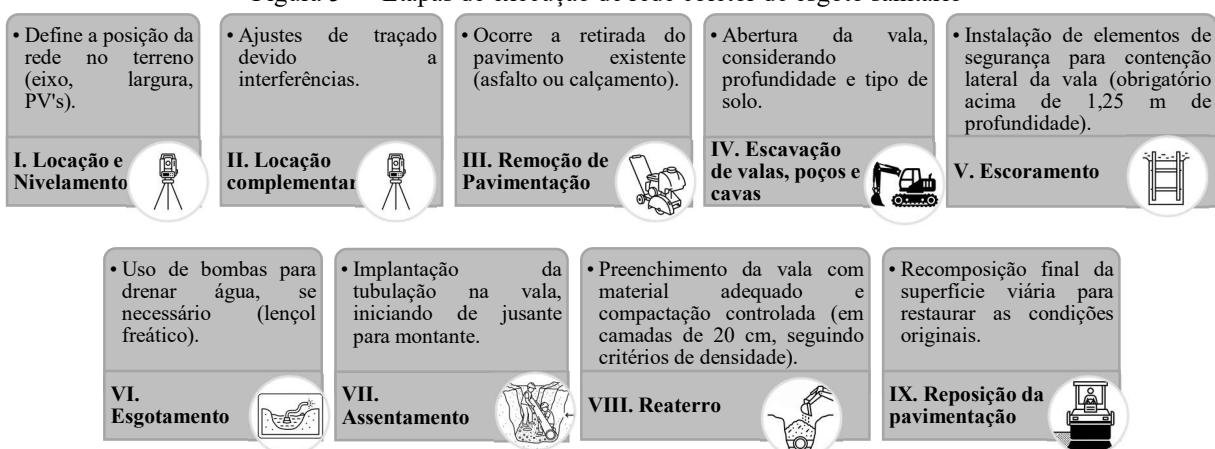
VIII. Reaterro: Pode utilizar material da própria escavação ou importado, desde que isento de impurezas. A compactação deve ser feita a cada 20 cm, de forma manual ou mecânica, desde que atenda os critérios para cada tipo solo:

- Areia: compacidade relativa > 70% (NBR 12051);
- Solo: grau de compactação > 95% (Proctor normal – NBR 7182:2025);
- BGS: densidade aparente compactada > 100% da medida em laboratório.

IX. Reposição da pavimentação: Deve iniciar logo após a finalização do reaterro compactado, garantindo que a recomposição seja equivalente à original.

Com o intuito de facilitar a compreensão do fluxo das atividades descritas, a Figura 5 apresenta de forma esquemática as principais etapas de execução de uma rede coletora de esgoto sanitário, conforme estabelecido pela NBR 17015 (ABNT, 2023).

Figura 5 — Etapas de execução de rede coletor de esgoto sanitário



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

4.5 INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICÁVEIS AO MÉTODO DESTRUTIVO

A construção civil, especialmente no setor de saneamento básico, tem incorporado inovações tecnológicas de forma gradual. Esse ritmo lento de modernização não se deve apenas à complexidade técnica, mas também à cultura consolidada de redução de custos imediatos e à ausência de políticas públicas estruturadas voltadas à pesquisa e desenvolvimento e inovação. Consequentemente, a baixa taxa de inovação mantém os processos produtivos caros e ineficientes (COSTA, 2012).

No que diz respeito às inovações aplicadas ao MD, os avanços mais relevantes estão na área de materiais e digitalização, que influenciam indiretamente o processo de abertura de valas. No campo dos materiais, há avanços com a substituição de tubos cerâmicos e de concreto por policloreto de vinila (PVC) e polietileno de alta densidade (PEAD). Esses materiais são mais leves e flexíveis, o que facilita o assentamento na vala aberta, gerando ganhos de produtividade superiores a 70% e reduzindo a demanda por mão de obra e equipamentos pesados (PICPLAST, 2022).

Além disso, ferramentas digitais como a Modelagem da Informação da Construção (*Building Information Modeling – BIM*) contribuem para maior precisão no planejamento e execução de redes pelo MD. O BIM permite simulações que otimizam o traçado da rede, previnem interferências no subsolo (reduzindo retrabalho na vala) e aprimoram o planejamento de recursos e a manutenção ao longo da vida útil das obras (CITYFINA, 2024). O uso de drones também se aplica ao MD, sendo eficaz no monitoramento de valas abertas para fins de segurança e fiscalização. Estudos indicam que essa tecnologia pode diminuir os custos em até 25% e elevar a produtividade em cerca de 30%, além de reduzir o risco de acidentes de trabalho até 50% (RS ENGENHARIA, 2023).

A evolução do maquinário empregado diretamente na execução do MD tem sido limitada, uma vez que os principais equipamentos – como retroescavadeiras, pás carregadeiras e compactadores – apresentam baixa incorporação de avanços tecnológico. A valetadeira mecânica, mencionada por Dezotti (2008) como a última inovação relevante no maquinário voltado à escavação linear, evidencia a escassez de incentivos ao desenvolvimento e à adaptação de tecnologias mais modernas e sustentáveis.

Neste contexto, observa-se o surgimento de soluções especializadas voltadas à melhoria da eficiência operacional. Um exemplo é o implemento multifuncional denominado “kits completos para saneamento básico”, desenvolvido pela AMD METALÚRGICA ([s.d.]), projetado para acoplamento em retroescavadeiras. O equipamento busca otimizar as etapas de

escavação, assentamento e reaterro do MD, configurando uma abordagem que, neste trabalho, será tratada como Método Destrutivo com implemento - MDI.

Portanto, observa-se que, enquanto as inovações em materiais e planejamento digital influenciam o MD, a aplicação de novas tecnologias nos equipamentos centrais da escavação e compactação ainda é incipiente. Enfrentar esses entraves exige políticas públicas mais eficazes, programas de fomento à inovação e uma mudança de mentalidade dos gestores públicos e privados, visando a superação das barreiras culturais, gerenciais e econômicas que limitam a modernização do MD (CUNHA, 2017).

4.6 DESCRIÇÃO DA INOVAÇÃO TECNOLÓGICA IMPLEMENTADA AO MD

A inovação tecnológica que fundamenta o estudo de caso consiste em um implemento projetado para otimizar diversas etapas da execução de valas destinadas ao assentamento de redes coletoras de esgoto. É um conjunto de ferramentas e dispositivos que, acoplados à retroescavadeira, maximizam sua eficiência operacional.

Os componentes foram projetados para permitir trocas rápidas entre ferramentas, ampliando a versatilidade operacional da máquina e buscando maior produtividade, precisão e segurança durante a execução. O detalhamento dessas peças e suas respectivas funções no processo executivo são apresentados no Quadro 1.

Quadro 1 — Implemento acopláveis e respectivas funções

Descrição do Item	Imagen	Etapa de Aplicação
Concha 250 mm (65 litros) com dispositivo de extração de terra		Utilizada na etapa de escavação da vala
Adaptador para conchas JD, NH, JCB e Randon, compatível com engate rápido		Permite o uso da concha atual e de novos dispositivos no sistema de troca rápida

Descrição do Item	Imagen	Etapa de Aplicação
Garra niveladora de tubos (Kit 3X) para diâmetros de 100 a 200 mm		Utilizada no assentamento mecânico da tubulação
Rolo compactador acoplável (250 mm)		Projetado para a compactação mecânica do reaterro da vala.

Fonte: Elaborado pela autora com base em AMD METALÚRGICA ([s.d.]).

Um dos diferenciais da tecnologia está no emprego de uma concha com largura de 250 mm (capacidade aproximada de 65 litros), em comparação às usuais de 300 mm ou mais (capacidades maiores que 79 litros). Essa redução resulta em valas mais estreitas, proporcionando:

- Menor volume de escavação e reaterro;
- Redução do consumo de insumos (brita, areia e material de reposição do pavimento);
- Diminuição do tempo de execução por metro linear.

O uso de ferramentas como a garra niveladora e o rolo compactador acoplável também permite que as etapas de assentamento da tubulação e compactação do solo sejam realizadas mecanicamente, sem a necessidade de acesso direto do operário à vala. Essa característica representa um avanço significativo em segurança do trabalho, reduzindo a exposição a riscos e aumentando a padronização do processo executivo.

Entretanto, a aplicação dessa tecnologia requer condições adequadas de solo. Em terrenos de baixa resistência ou alta umidade, pode haver comprometimento da estabilidade da escavação, o que intensifica a necessidade de verificação e controle do grau de compactação, exigindo substituição de material e atenção rigorosa aos critérios estabelecidos pela NBR 17015 (ABNT, 2023).

5. METODOLOGIA

Este trabalho adota uma abordagem metodológica baseada em pesquisa aplicada, de natureza quantitativa e comparativa, utilizando dados reais obtidos em campo. Com o intuito de avaliar a viabilidade técnico-econômica do MD em relação ao MDI.

5.1 DEFINIÇÃO E DELIMITAÇÃO DOS DADOS

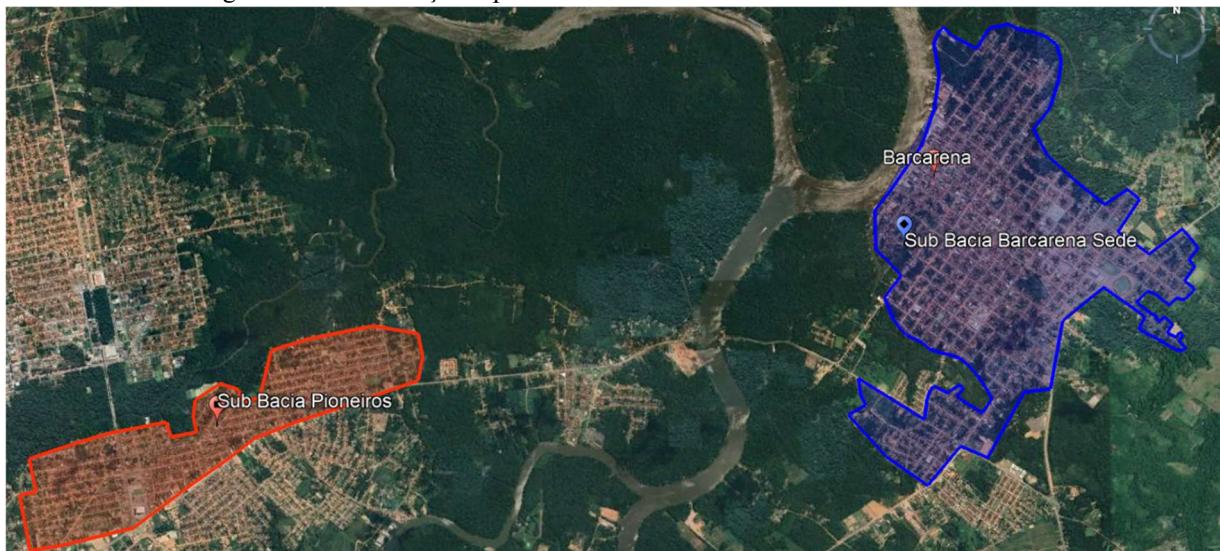
Esta subseção estabelece o escopo geográfico, temporal e operacional da pesquisa, detalhando o fluxo de obtenção e análise dos dados para garantir a transparência e a validade da comparação.

5.1.1 Delimitação e Período de Análise

O estudo de caso foi conduzido a partir de dados da execução obtidos em uma obra de rede coletora de esgoto no município de Barcarena, Pará, localizado na Região Metropolitana de Belém.

A seleção se deu pelas condições de contorno como: via asfaltada, topografia plana e solo estável, que permitiram a comparação direta entre os métodos de execução sob condições operacionais similares. Especificamente nas áreas das sub-bacias de Pioneiros (em vermelho) e Barcarena Sede (em azul), conforme ilustrado na Figura 6.

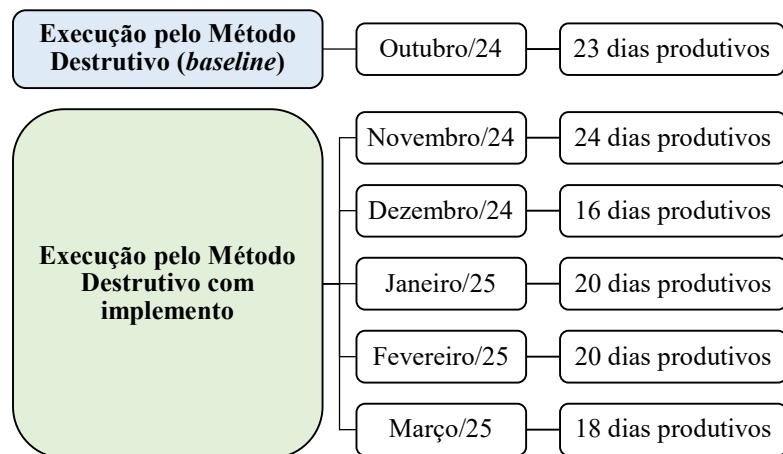
Figura 6 — Demarcação espacial das sub-bacias Pioneiros e Barcarena Sede.



Fonte: Adaptado de *Google Earth* (2025).

A análise temporal abrangeu seis meses consecutivos de execução da rede, conforme detalhado na Figura 7. O período considerado incluiu a execução pelo Método Destruutivo (MD), e o período subsequente com o Método Destruutivo com Implemento (MDI).

Figura 7 — Período de análise



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O mês de outubro/24 estabeleceu o período de referência — baseline — para todos os parâmetros comparativos do estudo. Para garantir a uniformidade da comparação, a coluna "Dias Produtivos", apresentada na Figura 7, exclui os domingos e os dias em que as atividades foram suspensas devido à precipitação pluviométrica.

A extensão da coleta durante os cinco meses subsequentes com o MDI teve o propósito metodológico de incorporar a curva de aprendizado da nova tecnologia e amortecer as variações de fatores externos (como a logística), resultando em uma média mais representativa de sua eficiência final.

➤ Critérios de Uniformização e Exclusão:

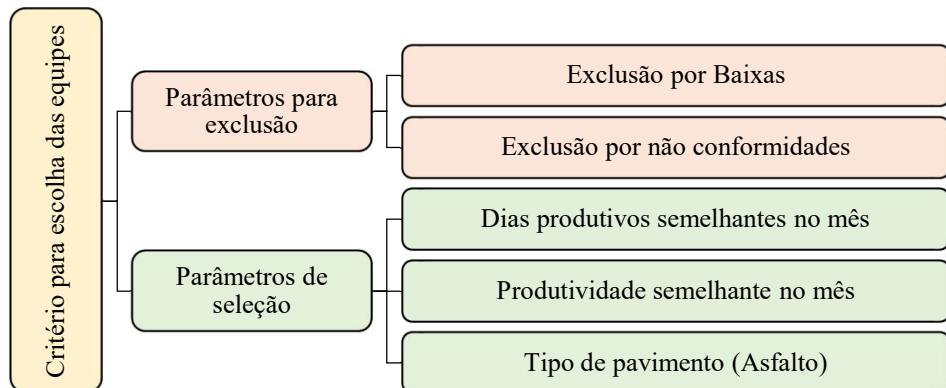
Toda a análise depende da comparabilidade entre o Método Destruutivo Tradicional (MD) e o Método Destruutivo com Implemento (MDI). Para isso, a produção bruta foi submetida a critérios de uniformização e exclusão que visam eliminar distorções e garantir que os resultados reflitam a eficiência operacional pura de cada método.

Estes critérios estão definidos na Figura 8 e abrangem:

- Parâmetros para Exclusão: Incluem a Exclusão por Baixas (períodos de folga remunerada) e a Exclusão por Não Conformidades (desvios dos parâmetros de seleção, como não atingir a produtividade ou o número mínimo de dias trabalhados).

- Parâmetros de Seleção: As equipes selecionadas devem atender a requisitos mínimos, como apresentar dias produtivos e produtividade semelhantes no mês, e operar no mesmo tipo de pavimento (Asfalto), que é o fator de controle técnico para o estudo.

Figura 8 — Critérios de seleção



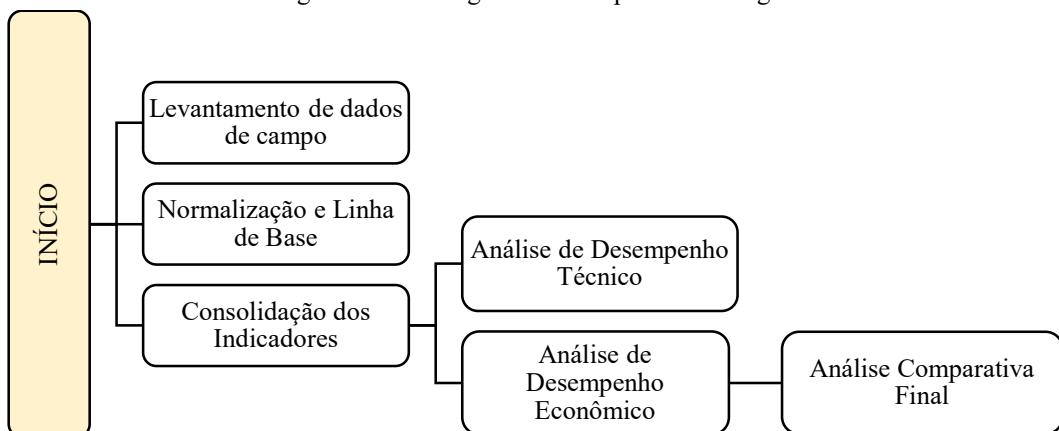
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As variações na composição e desmobilização das equipes ao longo do período refletem as condições operacionais reais de campo, incluindo fatores como ajustes de cronograma, disponibilidade de equipamentos e características do solo. Esses fatores impactaram diretamente a extensão executada em cada mês e, após a aplicação dos critérios acima, os dados serão utilizados na interpretação dos resultados.

5.1.2 Fluxo Metodológico

A metodologia foi implementada seguindo etapas sequenciais, conforme delineado no fluxograma da Figura 9.

Figura 9 — Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O fluxo de trabalho inicia-se com o levantamento dos dados primários da obra e segue para a normalização da linha de base do Método Destrutivo (MD) tradicional. Posteriormente, o processo culmina na análise comparativa de desempenho técnico e econômico dos métodos, cujos detalhes são apresentados nas subseções seguintes.

5.2 DESCRIÇÃO DOS MÉTODOS E PARÂMETROS DE COMPARAÇÃO

Esta subseção detalha a formulação e cálculo dos indicadores técnicos e econômicos utilizados para a avaliação comparativa entre o MD e o MDI.

Os dados de campo foram obtidos a partir dos registros de produção, medições de execução e relatórios de acompanhamento da empresa executora.

Os valores econômicos setoriais, por sua vez, foram obtidos em fontes oficiais, incluindo o Painel Saneamento Brasil (2025).

5.2.1 Indicadores técnicos

A análise técnica comparativa dos métodos foi estruturada com base nos seguintes três parâmetros principais, detalhados a seguir: produtividade média (P_m) eficiência operacional (E_{op}) e volume unitário de escavação (Vunit).

➤ Produtividade média (P_m)

Este indicador expressa o ritmo médio de execução da obra por dia de trabalho. É fundamental para comparar o desempenho de diferentes métodos de instalação para uma mesma rede, representado pela equação 1.

$$P_m = \frac{L_{total}}{D} \quad (1)$$

Onde:

- P_m : Produtividade média (m/dia);
- L_{total} : Comprimento total da rede executada no período analisado (m);
- D: Número de dias produtivos de execução da obra (dias).

➤ Eficiência operacional (E_{op}):

Este indicador expressa o ganho percentual de produtividade proporcionado pelo Método Destrutivo com Implemento (MDI) em relação ao Método Destrutivo Tradicional (MD), quantificando o potencial de aprimoramento da tecnologia, conforme retratado pela equação 2.

$$E_{op}(\%) = \left(\frac{P_{m,MDI} - P_{m,MD}}{P_{m,MD}} \right) \times 100 \quad (2)$$

Onde:

- E_{op} : Eficiência operacional (ganho percentual de produtividade - %);
- $P_{m,MDI}$: Produtividade média do Método Destrutivo com Implemento (m/dia);
- $P_{m,MD}$: Produtividade média do Método Destrutivo Tradicional (m/dia).
- Volume unitário de escavação (V_{unit}):

O volume unitário de escavação é utilizado para calcular o volume de material escavado por metro linear de vala. É crucial para dimensionar o descarte (bota-fora) e o reaterro, impactando diretamente nos custos logísticos e de transporte, como apresentado pela equação 3.

$$V_{unit} = P \times L \quad (3)$$

Onde:

- V_{unit} : Volume unitário de escavação (m^3/m);
- P: Profundidade média da vala (m);
- L: Largura média da vala (m).

5.2.2 Indicadores econômicos

A análise econômica deste estudo não se restringiu aos custos unitários levantados em campo. Também foi desenvolvido um exercício de projeção para estimar o Potencial de Desempenho do MDI no contexto das metas de universalização.

Para essa projeção, utilizou-se o ganho de Produtividade Média (Pm) obtido no estudo de caso de Barcarena-PA como parâmetro hipotético. O objetivo foi estimar qual seria a extensão adicional de rede que poderia ser implantada nacionalmente caso esse nível de produtividade fosse aplicado ao histórico de extensão do país.

O cálculo considerou a Extensão Total de Rede de Esgoto existente em 2023 (381.939,71 km), conforme apresentado na seção Panorama brasileiro de infraestruturas urbanas de esgotamento sanitário. A projeção assume investimento proporcional constante, resultando na formulação representada pela equação 4.

$$\text{Extensão Adicional Projetada} = \text{Extensão total (2023)} \times \text{Ganho de Pm} \quad (4)$$

Esse procedimento possui caráter exclusivamente ilustrativo e visa demonstrar como ganhos de produtividade podem influenciar a capacidade nacional de conversão de investimento em expansão territorial, sem se configurar como previsão ou resultado efetivo da pesquisa.

➤ Atualização dos Valores Monetários

Os custos unitários obtidos na literatura foram originalmente publicados em diferentes períodos e, portanto, foram atualizados monetariamente para março de 2025, de modo a garantir a comparabilidade dos valores no período de análise (outubro/2024 a março/2025).

A atualização foi realizada com base no Índice Nacional de Custo da Construção (INCC-M), calculado pela Fundação Getúlio Vargas (FGV) e amplamente utilizado em contratos e análises de obras civis no Brasil.

De acordo com o Sinduscon-PR (2025), o INCC acumulado em 12 meses até outubro de 2025 foi de 7,18%, enquanto no mesmo período de 2024 foi de 5,72%.

Para efeitos de padronização, os valores foram trazidos a preços de março de 2025, data que representa o encerramento do período de observação deste estudo.

➤ Metodologia de atualização

A atualização foi realizada segundo a metodologia recomendada pela Fundação Getulio Vargas (FGV, 2024) e pela Caixa Econômica Federal (2020), utilizando a equação 5.

$$C_t = C_0 \times \left(1 + \frac{I_{ac}}{100}\right) \quad (5)$$

Onde:

- C_t = custo atualizado na data t (R\$/m);
- C_0 = custo na data-base da fonte (R\$/m);
- I_{ac} = variação acumulada do INCC-M entre a data-base e a data de atualização (%).

Quando o acumulado do índice não estava disponível de forma direta, aplicou-se o método composto com base nas variações mensais do INCC-M (IBGE, 2023), traduzido pela equação 6.

$$C_t = C_0 \times \prod_{m=1}^n (1 + r_m) \quad (6)$$

Onde:

- C_t = custo atualizado na data t (R\$/m);
- C_0 = custo na data-base da fonte (R\$/m);
- r_m representa a variação percentual no mês m (%).

➤ Custos Unitários de Redes Coletoras de Esgoto pelo MD

A estimativa dos custos unitários de execução para os métodos MD (Método Destrutivo Tradicional) e MDI (Método Destrutivo com Implemento) foi centralizada na composição de custos própria. Esta abordagem foi desenvolvida para representar as condições particulares do estudo de caso, fornecendo a base mais realista para a análise comparativa de custo.

A composição foi elaborada utilizando a plataforma SEOBRA (Sistema de Análise e Elaboração de Orçamentos de Obras), que incorpora bancos de dados referenciais de custos de órgãos públicos (CAEMA, SMOP INFRA, SANEAGO, DESOP e SINAPI).

O desenvolvimento da composição própria se fez necessário para incorporar condições operacionais específicas do estudo de caso que não estavam integralmente contempladas nas referências bibliográficas padrão:

- Inclusão de Retroescavadeira: Ajuste na composição de serviços de escavação e reaterro para incluir uma retroescavadeira. Esta alteração reflete a otimização do processo e ajusta de forma precisa os custos de mão de obra e equipamentos.
- Custo Horário do Implemento: Adição do custo horário do implemento específico à planilha do MDI, calculado a partir de um valor de aquisição de R\$ 35.000,00, com depreciação projetada em 36 meses.

Para a validação externa e contextualização das estimativas próprias, foram utilizadas referências de custos da literatura (Pacheco et al., 2015) e equações paramétricas (Cobrape/Engecorps, 2014).

Todos os valores de referência e as composições próprias foram ajustados para a mesma data-base de Março de 2025, utilizando o Fator INCC acumulado (série histórica FGV, 2025) para garantir a paridade na comparação.

A determinação dos custos indiretos utilizou os parâmetros definidos na Tabela 4, resultando em um BDI (Benefícios e Despesas Indiretas) de 27,92%:

Tabela 4 — Custos Indiretos

Item	Percentual
Risco	2%
Administração central	4%
Lucro	10%
Impostos	11,92%
Total BDI	27,92%

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Os valores finais da composição de custos própria para o diâmetro nominal (DN) de 150 mm resultaram para o MD R\$ 266,41/m; e para o MDI: R\$ 242,96/m. Estes valores ajustados

e as referências de validação estão consolidados na Tabela 5. O detalhamento completo das composições e planilhas orçamentárias se encontra nos Apêndices A, B e C.

Tabela 5 — Custo unitário de redes coletoras de esgoto (valores originais e atualizados)

Fonte	Ano - base	DN (mm)	Custo original (R\$/m)	Fator INCC aplicado	Custo atualizado (R\$/m –mar-25)
Pacheco <i>et al.</i> (2015)	2011	150	137,97 ²	2,4994 ¹	344,85
Cobrape/Engecorps (2014)	2011	150	177,45 ³	2,4994 ¹	443,51
Composição própria (MD) ⁴	2025	150	-	-	266,41
Composição própria média (MDI) ⁴	2025	150	-	-	242,96

¹ Fator calculado a partir do INCC acumulado entre jan/2011 e mar/2025, conforme série histórica FGV (2025).

³ Valor estimado pela equação $y = 0,6248 \times x^{1,1274}$, para DN = 150 mm.

⁴ Composição própria, no apêndice A, B e C.

Fonte: Elaborada pela autora (2025).

➤ Coeficiente Receita/Custo

O Coeficiente Receita/Custo (R/C) foi adotado como indicador de desempenho econômico, refletindo a eficiência financeira do processo construtivo. Este coeficiente permite avaliar o retorno econômico por unidade de custo investido.

O coeficiente é determinado pela razão entre a Receita e o Custo total da execução, conforme equação 7.

$$\frac{R}{C} = \frac{\text{Receita Valor (Valor do Contrato/m)}}{\text{Custo Total de Execução (Direto + Indireto)}} \quad (7)$$

Onde:

- R: Receita – Valor atribuído ao serviço executado em cada mês, utilizando o valor pago no contrato licitado.
- C: Custo – Soma das despesas associadas à execução (mão de obra, materiais, locação de máquinas, combustível e custos indiretos).
- Custo da Inovação: Nos meses com o MDI, o custo de locação/depreciação do implemento foi incorporado ao Custo (C).

A determinação do R/C para cada método (MD vs. MDI) permite uma avaliação objetiva do desempenho econômico global da obra, demonstrando como o ganho de produtividade técnica se traduz em eficiência financeira.

Dessa forma, o R/C foi o indicador selecionado para demonstrar o impacto da variação da produtividade (P) em relação ao custo unitário por metro executado. A comparação entre o R/C do MD e do MDI permitirá verificar se a elevação da produtividade média (Pm) com o implemento se traduz em um resultado econômico superior para a empresa, servindo como a principal métrica para a análise financeira deste estudo.

6. RESULTADOS

Os resultados obtidos no estudo de caso são apresentados de forma comparativa entre o método destrutivo tradicional (MD), executado em outubro de 2024, e o método destrutivo com implemento (MDI), aplicado entre novembro de 2024 e março de 2025. Para facilitar a interpretação, os subitens seguintes (6.1 a 6.7) foram organizados conforme os eixos de análise definidos na metodologia.

6.1 PRODUTIVIDADE E EFICIÊNCIA OPERACIONAL

A análise dos resultados tem como base a extensão total da rede coletora executada, apresentada na Tabela 6, expressa em metros lineares por mês e por equipe. Estes dados constituem a fonte primário para o cálculo dos indicadores de produtividade e desempenho.

Tabela 6 — Produção total em metros lineares por mês e por equipe

Descrição	Und	Out/24	Nov/24	Dez/24	Jan/25	Fev/25	Mar/25
Equipe A	m	1.601,90	2.525,10	1.025,40	Baixa ^a	1.783,51	1.540,57
Equipe B	m	1.379,10	2.175,50	1.004,50	1.528,20	1.205,53	1.038,90
Equipe C	m	1.198,00	970,70 ^b	525,00	1.239,00	1.605,50	1.141,50
Equipe D	m	1.249,08	2.053,65	878,40	1.005,79	-	-
Equipe E	m	Baixa ^a	711,50 ^b	467,00 ^b	1.303,10	Baixa ^a	1.149,10
Equipe F	m	-	-	344,50 ^b	489,60 ^b	1.417,70	891,00 ^b
Equipe G	m	592,20 ^b	1.068,50	-	-	-	-

^a Representa que na equipe, parte ou todos os integrantes estavam de folga remunerada, não sendo considerado na análise.

^b Equipe não atende aos critérios de seleção, então não sendo considerado na análise.

- Equipe não existia ou foi desmobilizada.

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Conforme os critérios metodológicos definidos, foram desconsiderados os períodos em que as equipes não atenderam aos parâmetros de representatividade e continuidade operacional, identificados na tabela pelas letras (a) e (b).

A performance do MDI é evidenciada pela variação percentual da produtividade média diária (P_m), que foi calculada a partir dos dados consolidados da Tabela 6. Esta tabela apresenta as flutuações de desempenho em relação ao *baseline* (Outubro/24). Após a normalização dos dados da Tabela 7.

Tabela 7 — Produtividade média das equipes pelo MD e MDI

Descrição	Und	Out/24	Nov/24	Dez/24	Jan/25	Fev/25	Mar/25
Produtividade	m	73,18	82,43	65,74	105,01	85,60	87,27
Produção total	m	5.428,08	7.822,75	3.433,30	5.073,09	6.012,24	4.870,07

* Reduzindo a 4 equipes analisadas por mês.

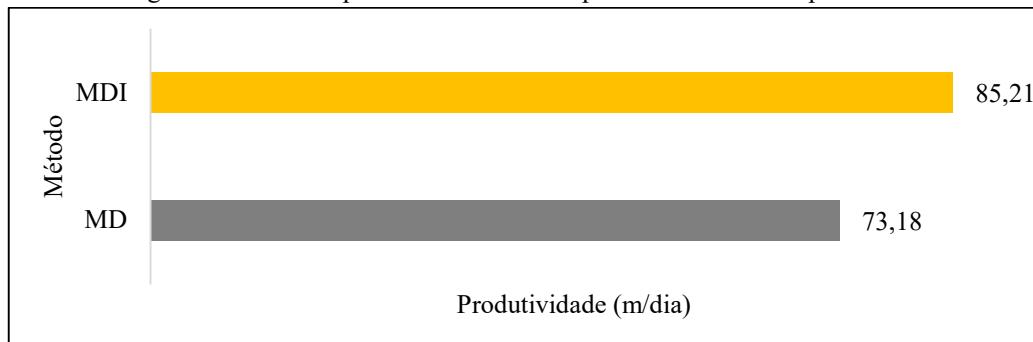
Fonte: Dados de campo (2025). Elaboração da autora (2025).

A produtividade média consolidada do MD foi de 73,18 m/dia. Pelo MDI, a Produtividade Média ($P_{m,MDI}$) para os cinco meses subsequentes atingiu 85,21 m/dia, representando um ganho de eficiência operacional (E_{op}) de 16,44% em relação ao MD.

A produtividade de dezembro (65,74 m/dia) apresentou uma queda de 10,2% em relação ao *baseline* do MD, sendo o ponto mais baixo da série. Esta queda é atribuída principalmente à redução do ritmo de trabalho devido ao período de festividades de final de ano e à concentração de chuvas na região, fatores que impactam as condições do solo e exigem maior tempo nas etapas de esgotamento e reaterro.

A comparação entre os métodos é ilustrada na Figura 10, que compara a Produtividade Média do MD com Produtividade média de todos os meses do MDI.

Figura 10 — Desempenho consolidado da produtividade média por método



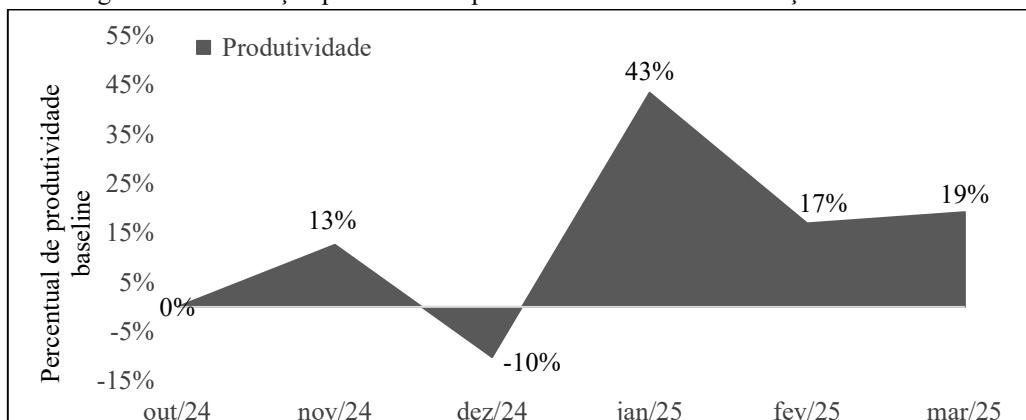
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

As diferenças observadas entre os métodos refletem o efeito da variação operacional e da configuração dos recursos produtivos ao longo dos meses analisados. Esses aspectos serão detalhados nos indicadores complementares apresentados nas seções seguintes.

6.2 GANHOS CONSOLIDADOS E EVOLUÇÃO PERCENTUAL

O desempenho do Método Destruutivo com Implemento (MDI), em comparação com o Método Destruutivo tradicional (MD), é demonstrado na Figura 11, que ilustra a evolução dos ganhos de produtividade e a curva de aprendizado da tecnologia.

Figura 11 — Variação percentual da produtividade mensal em relação a outubro/24



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A análise conjunta da Tabela 7 e Figura 11 permitem inferir o padrão de adoção e adaptação ao implemento.

O primeiro mês com o implemento (novembro/24) registrou um E_{op} de 13% na produtividade diária em relação ao *baseline*. Este resultado indica um ganho imediato decorrente da fase inicial de aprendizado.

Em contrapartida, dezembro/24 apresentou valor mais baixo da série (65,74 m/dia), correspondendo a uma queda de 10% em relação ao *baseline*. Sendo um reflexo da união de fatores adversos: (1) A redução dos dias produtivos devido ao recesso de fim de ano, que afeta a logística e o fluxo contínuo da obra, e (2) A intensificação das chuvas, que exige maior tempo nas etapas de esgotamento e compactação da vala, penalizando o desempenho do MD.

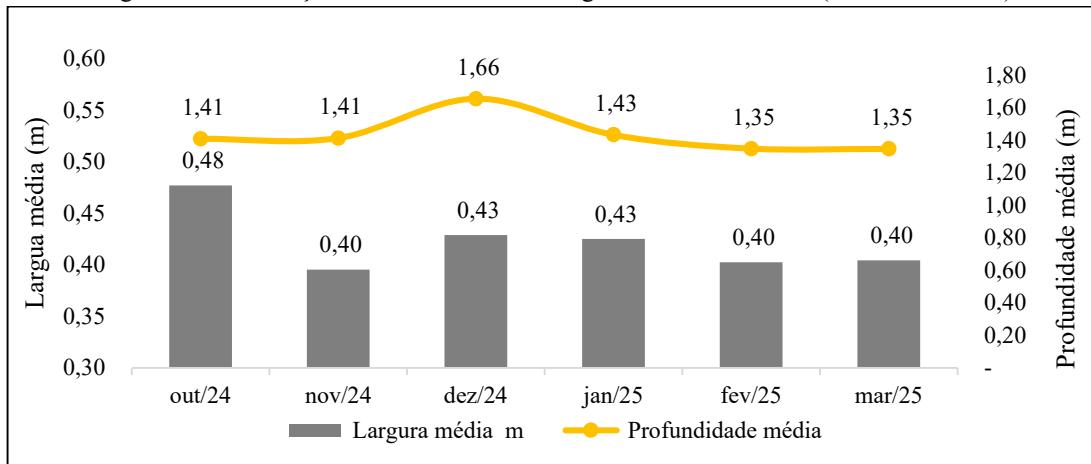
O desempenho máximo foi alcançado em janeiro/25, com P_m de 105,01 m/dia e E_{op} de 43 %. Este pico é o maior indicador de que a curva de aprendizado foi superada, e a equipe atingiu o pleno domínio da operação.

Nos meses subsequentes, a produtividade manteve-se em trajetória crescente (17% em Fev/25 e 19% em Mar/25). Este acréscimo contínuo confirma que o MDI proporcionou um desempenho consistente e superior ao método convencional, mesmo após a normalização das condições climáticas e operacionais.

6.3 ANÁLISE DIMENSIONAL

O desempenho dimensional da abertura de vala é um indicador técnico fundamental, pois define o volume de escavação e, consequentemente, o consumo de insumos da obra. A Figura 12 apresenta a variação mensal dos dois parâmetros dimensionais monitorados: a profundidade média ($P_{prof.}$) e a largura média (L) das valas.

Figura 12 — Variação da Profundidade e Largura Média das Valas (Out/24 - Mar/25)



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 12 evidencia o impacto da inovação na estabilidade dimensional. A profundidade (Prof.) definida em projeto, variou entre 1,35 m e 1,66 m ao longo do período, sendo definida por fatores topográficos que independem da perícia ou capacidade técnica das equipes.

Já a largura média (L), variável diretamente influenciada pelo método de execução de abertura, reduziu-se de 0,48 m (MD) para valores estáveis entre 0,40 m e 0,43 m com o uso do MDI, com uma média de 0,41 m no período.

O efeito dessa redução é mensurado pelo Volume Unitário de Escavação (V_{unit}), que representa a seção da vala por metro linear (m^3/m). A Tabela 8 sintetiza os resultados, demonstrando uma redução média de 12,17% no volume escavado com o MDI em relação ao *baseline* (outubro/24).

Tabela 8 — Volume unitário de escavação (V_{unit}) e redução volumétrica

Mês	Largura média (L) [m]	Prof. Média (P) [m]	V_{unit} (m^3/m)	Redução Vol. em relação a Out/24
Out/24 (MD)	0,48	1,41	0,677	-
Nov/24 (MDI)	0,40	1,41	0,564	16,70%
Dez/24 (MDI)	0,43	1,66	0,714	-5,46%
Jan/25 (MDI)	0,43	1,43	0,615	9,16%
Fev/25 (MDI)	0,40	1,35	0,540	20,24%
Mar/25 (MDI)	0,40	1,35	0,540	20,24%

Fonte: Elaborado pela autora (2025).

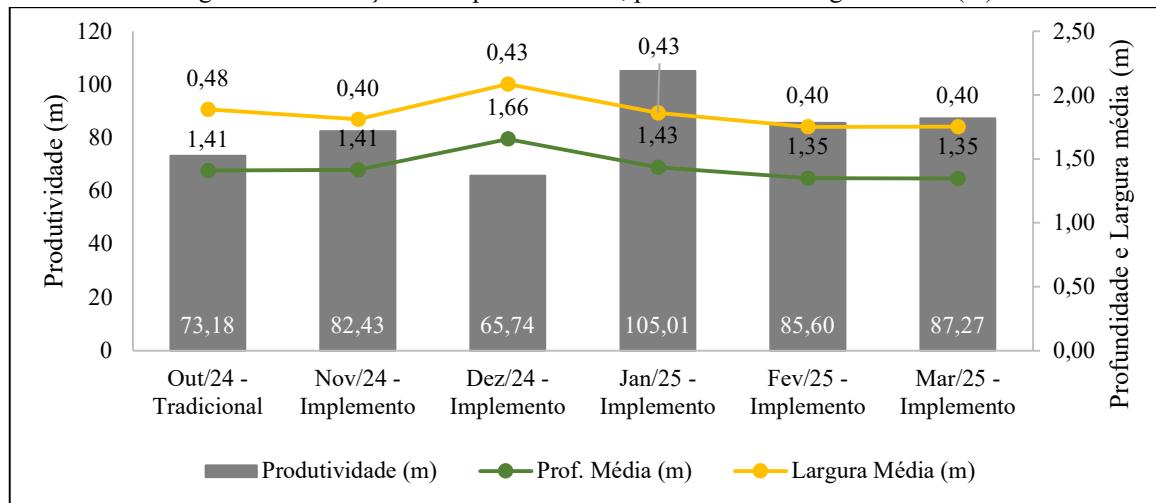
O desempenho dimensional do MDI demonstrou um controle efetivo sobre a largura média da vala (L), mantida em 0,41 m. Este valor é consistentemente inferior às larguras mínimas teóricas estipuladas pela literatura técnica (e.g., 0,46 m a 0,525 m para DN 150),

validando o diferencial técnico do implemento. Ao mecanizar a compactação e eliminar a necessidade de permanência do trabalhador no interior da vala, o MDI permite a redução da largura para além das margens laterais tradicionais, resultando em economia volumétrica e aprimoramento da segurança, conforme o critério normativo. Embora essa padronização da largura garanta a redução média do Volume Unitário de Escavação (Vunit), ela é limitada pela profundidade (P). Isso foi evidenciado em dezembro/24, quando a maior profundidade média (1,66 m) resultou em uma redução volumétrica negativa (-5,46 %), comprovando que a profundidade, sendo uma determinação de projeto, atua como um fator limitante para o ganho volumétrico total.

6.4 RELAÇÃO ENTRE PRODUTIVIDADE, PROFUNDIDADE E LARGURA

Para avaliar a influência das características geométricas da vala no desempenho operacional, a Figura 13 ilustra a correlação entre a produtividade média mensal (P_m) e as dimensões da vala (profundidade e largura).

Figura 13 — Relação entre produtividade, profundidade e largura média (m)



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A Figura 13 apresenta a possibilidade de uma correlação inversa entre a profundidade a produtividade: meses com maior profundidade apresentaram menor P_m . Esse comportamento possui sentido lógico e reforça que a profundidade — determinada em projeto — influencia diretamente o tempo de escavação e a complexidade das operações.

A largura média, por sua vez, manteve-se com média de 0,41 m durante o uso do implemento, o que está diretamente relacionado à redução média de 12,17% no Vunit.

O principal fator que viabiliza essa padronização da largura e permite a redução do Vunit é a característica operacional do implemento. Ao permitir que a compactação seja realizada de

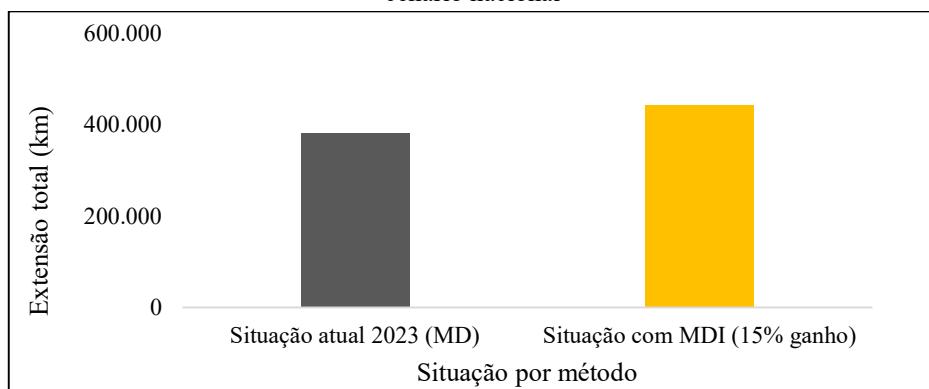
forma mecanizada e externa, o MDI elimina a necessidade de presença do trabalhador dentro da vala. Dessa forma, as execuções em profundidades superiores a 1,25 m não exigem o aumento da largura da vala para escoramento de segurança, conforme estabelecido pela norma vigente. Isso garante que o ganho de produtividade do MDI não seja penalizado pelo aumento da largura.

6.5 PROJEÇÃO DA EFICIÊNCIA OPERACIONAL E POTENCIAL DE DESEMPENHO NACIONAL

A ineficiência observada na conversão de investimento em expansão física confere relevância aos ganhos de produtividade obtidos pelo Método Destruutivo com Implemento (MDI) no estudo de caso.

O potencial de desempenho desse ganho é ilustrado na Figura 14, que projeta a extração da Eficiência Operacional (E_{op}) de 16,44% do MDI para o cenário nacional. O cálculo, conforme metodologia (Seção 5.2.2), baseou-se na aplicação desse percentual sobre a extensão total da rede de esgoto existente no país.

Figura 14 — Projeção do Potencial de Contribuição Adicional de Rede com Eficiência Operacional do MDI no cenário nacional



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A projeção demonstra um potencial de ampliação de aproximadamente 57 mil km de rede adicional no país. Este valor representa a extensão que poderia ter sido construída a mais no período analisado (2010–2023), caso o ganho de produtividade do MDI fosse aplicado sem acréscimo proporcional no custo total dos serviços.

Este resultado sugere que a melhoria da execução de obras é um mecanismo direto para fortalecer a eficiência dos investimentos e acelerar a universalização dos serviços de esgotamento sanitário até 2033, conforme estabelecido pelo Novo Marco Legal do Saneamento (Lei nº 14.026/2020). A capacidade de reduzir o Custo Unitário por Metro Linear (Cunit),

demonstrada pelo MDI, atua como um fator de competitividade essencial para o cumprimento das metas nacionais.

6.6 ANÁLISE ECONÔMICA COMPARATIVA

Com base nas composições apresentadas na Seção 5.2.1.2, foram consolidados os custos unitários de implantação de redes coletoras de esgoto para os dois métodos avaliados: o Método Destruutivo (MD) e o Método Destruutivo com Implemento (MDI). A Tabela 9 apresenta os custos unitários consolidados para ambos os métodos.

Tabela 9 — Custo unitário consolidado (MD x MDI)

Método	Custo Unitário (R\$/m)
Método Destruutivo (MD)	266,41
Método Destruutivo com Implemento (MDI)	242,96

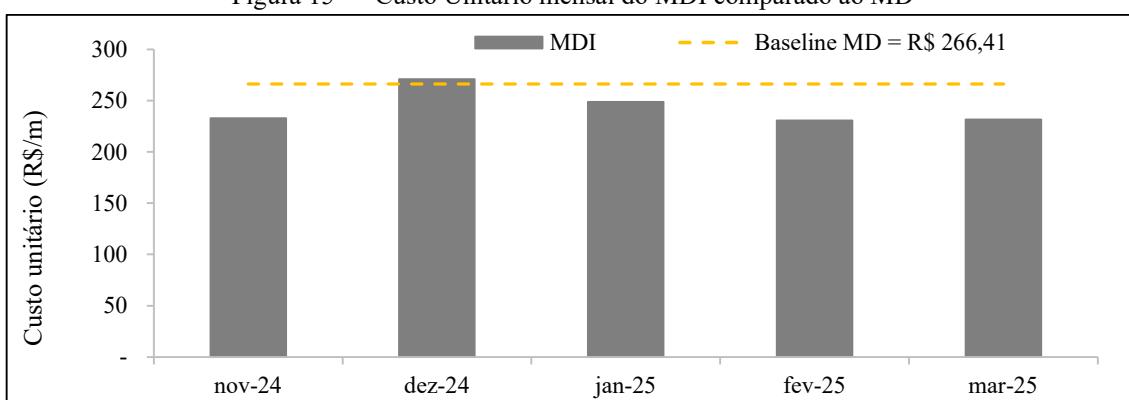
Fonte: Elaborado pela autora (2025).

O MDI apresentou uma redução de 8,8% no custo unitário por metro linear em relação ao MD. Essa diferença resulta da interação entre variáveis operacionais e geométricas observadas durante a execução, principalmente pela redução média de 12,17% do volume escavado, decorrente do melhor controle da largura da vala, e pelo aumento da produtividade, que reduziu o tempo de execução por metro linear em 16,44% que impacta diretamente o resultado global da obra.

Ainda que o implemento acoplado gere um custo horário maior para a retroescavadeira (Apêndice C), esse acréscimo é compensado pelo aumento da produtividade e pela menor quantidade de serviço gerada por metro executado. Assim, a avaliação econômica não deve considerar apenas o preço das composições isoladas, mas o ciclo executivo como um todo.

Para ilustrar esse comportamento, a Figura 15 apresenta a evolução do custo unitário mensal do MDI entre novembro/2024 e março/2025, comparado ao valor consolidado do MD.

Figura 15 — Custo Unitário mensal do MDI comparado ao MD

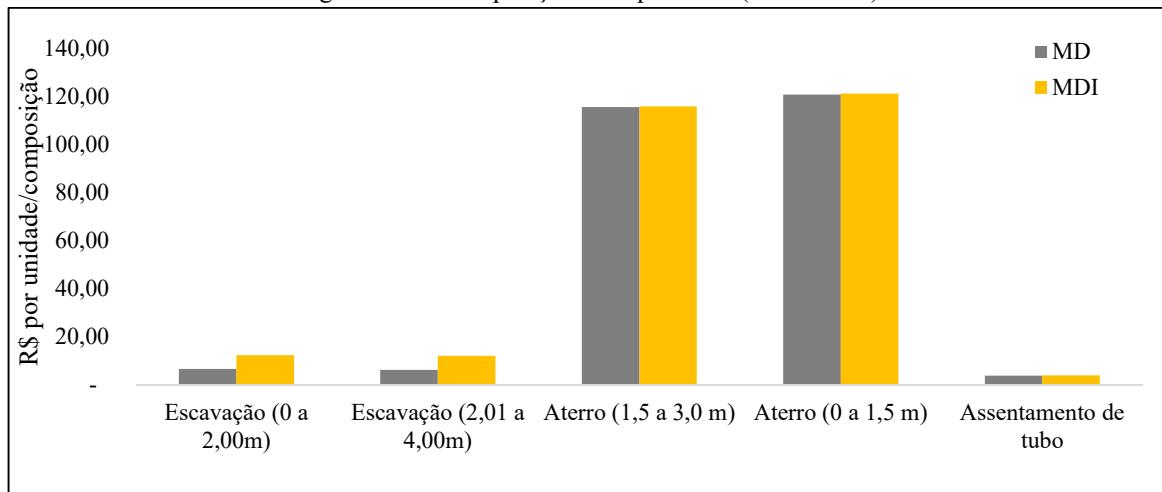


Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A análise mostra que, mesmo com variações mensais, o MDI manteve desempenho econômico superior ao MD na maior parte do período. O custo mais elevado observado em dezembro/24 (R\$ 270,79/m) decorreu do menor número de dias produtivos, o que reduziu a diluição dos custos fixos de mão de obra e equipamentos, enquanto o consumo de materiais permaneceu semelhante.

A Figura 16 apresenta a comparação das composições alteradas entre os métodos.

Figura 16 — Composições comparativas (MD x MDI)



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

Essas composições evidenciam que, embora alguns itens do MDI tenham preço unitário maior — principalmente os relativos à escavação — o custo final por metro é reduzido em função do menor volume escavado e do maior rendimento do equipamento. Assim, mesmo com itens mais caros, o custo total do metro executado diminui.

Quando comparados aos dados mensais de produtividade e custos (Apêndices A e B), observa-se que o desempenho econômico do MDI decorre sobretudo do melhor controle geométrico da vala e do aumento de produtividade da equipe. Esse conjunto de fatores resulta em um R/C médio superior e contribui para a redução do custo final por metro de rede implantada.

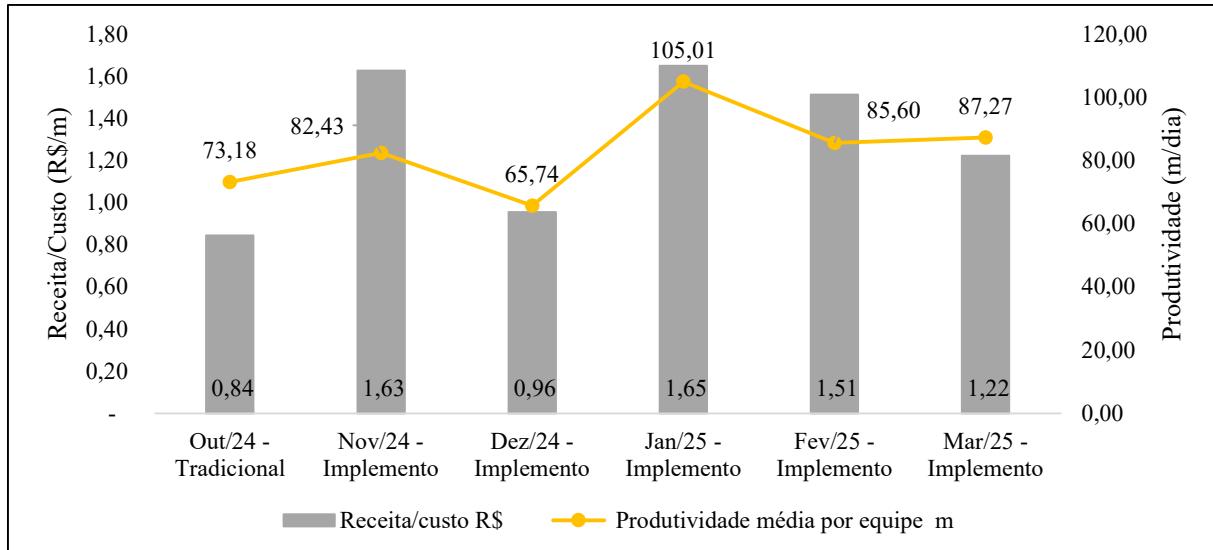
6.7 RELAÇÃO FÍSICO-FINANCEIRA (RECEITA/CUSTO)

A evolução da relação Receita/Custo (R/C), definida na Seção 5.3.2 como o indicador de desempenho econômico, é apresentada na Figura 17, que demonstra a correlação direta com a produtividade média mensal (Pm).

Esse comportamento reforça a importância da eficiência operacional não apenas no aspecto técnico, mas também econômico, uma vez que a elevação da produtividade reduz o

custo unitário por metro de rede executada, gerando impacto positivo para a empresa e para o contratante público ou privado.

Figura 17 — Evolução física-financeira (receita/custo) x Produtividade (m)



Fonte: Elaborado pela autora (2025).

A análise da Figura 17 demonstra que a relação R/C acompanhou diretamente as variações de produtividade. Em meses de maior desempenho (Pm), como em Janeiro/25, a relação financeira foi mais favorável, atingindo $R/C = 1,65$. Em contraste, no período de menor produção (Dezembro/24), a relação R/C caiu para 0,96. Essa redução é associada ao menor número de dias produtivos no mês, enquanto os custos de equipamentos e mão de obra foram equiparados aos meses anteriores, resultando em variação apenas no consumo de materiais.

Este comportamento evidencia que há uma relação entre o desempenho técnico do método — expressado pela produtividade — e seus resultados econômicos. O aumento da Pm reduz o custo unitário por metro executado, elevando o valor do R/C médio. A capacidade do MDI de alcançar, de forma consistente, valores de R/C superiores a 1,0 demonstra que a produtividade é o principal fator que sustenta sua viabilidade econômico-financeira, produzindo um impacto positivo no custo final para a empresa.

7. CONCLUSÃO

Este estudo teve como finalidade comparar o método destrutivo tradicional (MD) e o método destrutivo com implemento (MDI) na execução de redes coletoras de esgoto, analisando seu desempenho técnico e econômico a partir de seis meses de dados reais. A investigação permitiu identificar diferenças consistentes entre os métodos, relacionadas principalmente à produtividade, ao controle geométrico da vala e aos custos associados ao ciclo executivo.

Os resultados técnicos mostraram que o MDI apresentou produtividade média 16,44% superior ao MD e proporcionou maior regularidade na abertura das valas, reduzindo sua largura média de 0,48 m para 0,41 m. Essa redução gerou um decréscimo de 12,17% no volume unitário de escavação e favoreceu o atendimento à NBR 17015/2023, uma vez que a compactação mecanizada dispensa a permanência do trabalhador dentro da vala. Embora a análise de riscos ocupacionais não seja o escopo principal deste estudo, observa-se que essa característica configura uma importante contribuição para a segurança do trabalho, sugerindo-se que futuras pesquisas quantifiquem a redução de riscos de acidentes decorrente dessa mecanização. Esses aspectos indicam que o método interfere diretamente no ritmo de execução e na qualidade geométrica das etapas subsequentes.

Na análise econômica, observou-se que o MDI resultou em um custo unitário consolidado 8,8% inferior ao MD, passando de R\$ 266,41/m para R\$ 242,96/m. Embora o custo horário do equipamento seja maior devido ao acessório acoplado, os ganhos de produtividade, a redução do volume escavado e o menor consumo de horas-máquina compensaram esse acréscimo. A relação Receita/Custo (R/C) apresentou variação coerente com o desempenho mensal, sugerindo que a eficiência produtiva influenciou diretamente o custo final da execução.

Diante desses achados, conclui-se que o método empregado impacta de forma significativa os resultados da obra, tanto do ponto de vista técnico quanto econômico. Contudo, as conclusões se limitam às condições específicas deste estudo — características do solo local, profundidades médias, equipe utilizada e contexto operacional. Para ampliar a abrangência dos resultados, recomenda-se a realização de pesquisas em diferentes cenários geotécnicos, assim como estudos que incorporem análises de ciclo de vida e avaliação de impactos sociais e ambientais decorrentes das diferenças entre os métodos.

REFERÊNCIAS

AMD METALÚRGICA. **AMD Metalúrgica: máquinas e implementos.** [S. l.]: AMD Metalúrgica, [s. d.]. Disponível em: <https://amdmetalurgica.com.br/>. Acesso em: 2 nov. 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS E INSPEÇÃO. **Diretrizes dos métodos não destrutivos.** São Paulo, 2007. Disponível em:<https://www.abratt.org.br/institucional/>. Acesso em: 28 maio 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12051:** Solo – determinação do índice de vazios mínimo de solos não coesivos. Rio de Janeiro: ABNT, 1991.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17015:** Execução de obras lineares para transporte de água bruta e tratada, esgoto sanitário e drenagem urbana. 2. ed. Rio de Janeiro: ABNT, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7182:** Solo – ensaio de compactação. Rio de Janeiro: ABNT, 2025.

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 5 out. 1988.

BRASIL. **Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007. Estabelece diretrizes nacionais para o saneamento básico.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 8 jan. 2007.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020. Atualiza o marco legal do saneamento básico e altera as Leis nº 9.984/2000, nº 10.768/2003, nº 11.107/2005 e nº 11.445/2007.** Diário Oficial da União, Brasília, DF, 15 jul. 2020.

BRASIL. Superior Tribunal de Justiça. Recurso Especial nº 1.366.331/RS. Rel. Min. Humberto Martins, 2^a Turma, 5 mar. 2013.

CITYFINA. **Inovações industriais na construção civil e gestão de água: um futuro sustentável.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://cityfina.com/inovacoes-industriais-na-construcao-civil-e-gestao-de-agua-um-futuro-sustentavel/>. Acesso em: 28 maio 2025.

COBRAPE/ENGECORPS. **Equações paramétricas para estimativa de custo unitário de redes coletoras de esgoto.** [S.l.: s.n.], 2014.

CORAL, D. B.; STEINER, L. R. **Comparativo entre perfuração direcional horizontal (mnd) x método destrutivo (vala), para implantação de rede de gás natural urbana.** Estudo de caso. 2020. Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2015.

COSTA, B. S. **Universalização do saneamento básico: utopia ou realidade - a efetivação do capital social na política pública do saneamento básico.** Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

CRÉDITO DE LOGÍSTICA REVERSA. **O que é o Pacto Global da ONU.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.creditodelogisticareversa.com.br/post/o-que-e-o-pacto-global-dona>. Acesso em: 4 maio 2025.

CUNHA, B. Q. **Uma análise da construção da agenda de inovação no setor público a partir de experiências internacionais precursoras.** In: CAVALCANTE, P. *et al.* (Org.). Inovação no setor público: teoria, tendências e casos no Brasil. Brasília: Ipea, 2017.

DE FEO, G. *et al.* **The historical development of sewers worldwide.** Sustainability, v. 6, n. 6, p. 3936–3974, 2014.

DEZOTTI, M. C. **Análise da utilização de métodos não destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas.** 2008. 231 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2008.

DIÁRIO DO NORDESTE. **Novas obras de saneamento no Ceará têm drones e robôs.** [S. l.], 2024. Disponível em:

<https://diariodonordeste.verdesmares.com.br/opiniao/columnistas/victor-ximenes/novas-obras-de-saneamento-no-ceara-tem-drones-e-robos-1.3378298>. Acesso em: 28 maio 2025.

EOS SYSTEMS. **Brazil Water Week 2022.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://eossystems.com.br/blog/brazil-water-week-2022/>. Acesso em: 28 maio 2025.

EOS SYSTEMS. **Falta de saneamento básico: um parceiro invisível.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://eossystems.com.br/blog/falta-de-saneamento-basico-parceiro/>. Acesso em: 28 maio 2025.

EOS SYSTEMS. **Marco do saneamento básico.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://eossystems.com.br/saneamento-basico/marco-do-saneamento-basico/>. Acesso em: 28 maio 2025.

EOS SYSTEMS. **Ranking do saneamento básico.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://eossystems.com.br/sem-categoria/ranking-saneamento-basico/>. Acesso em: 28 maio 2025.

FONSECA, L. R. P.; SARMENTO, J. F.; PAULA, C. F. M. **Metodologia para avaliação de desempenho na gestão de projetos de redes de água e esgoto.** 2014. 159 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2014.

GOMES, J. S. S.; SOUSA, A. K. **Sistema de esgotamento sanitário em áreas de expansão urbana de Fortaleza - Ceará.** 2019. 136 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2019.

IBGE. **Pesquisa de Informações Básicas Municipais (MUNIC) 2023: Suplemento de Saneamento.** Rio de Janeiro: IBGE, 2024.

ITO, A. H. **Otimização no traçado e dimensionamento de redes coletoras de esgoto sanitário.** 2023. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2023.

MA, J. **Discussão sobre as tecnologias construtivas na reabilitação de redes urbanas de abastecimento e drenagem.** GSP Science and Engineering, v. 2, n. 2, p. 81–85, mar. 2025.

MAGALHÃES, J. V. S. **Impacto financeiro da incompatibilidade entre projetos de pavimentação asfáltica urbana e serviços de manutenção de água e esgoto.** 2025. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Campus de Crateús, Universidade Federal do Ceará, Crateús, 2025.

MARQUES, D. H. F.; LIMA, S. C. R. B. de. **Evolução e perspectivas do abastecimento de água e do esgotamento sanitário no Brasil.** Textos para Discussão – CEPAL/IPEA, 2012. Disponível em: <https://repositorio.cepal.org/handle/11362/37744>. Acesso em: 28 maio 2025.

MENDONÇA, S. R. *et al.* **Projeto e construção de redes de esgotos.** Rio de Janeiro: Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES; Companhia de Água e Esgotos da Paraíba – CAGEPA, 1987.

MURTHA, N. A. *et al.* **Uma perspectiva histórica das primeiras políticas públicas de saneamento e de recursos hídricos no Brasil.** Ambiente & Sociedade, São Paulo, v. 18, n. 3, p. 193–210, 2015. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/asoc/a/3tP56QFRgxQCX84J9zW9cpC/>. Acesso em: 28 maio 2025.

NUVOLARI, A. **Esgoto sanitário: coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola.** 2. ed., rev., atual. e ampl. São Paulo: Blucher, 2011.

ONU. **Pacto Global Rede Brasil – Movimento +Água.** Disponível em: <https://www.pactoglobal.org.br/painelmovmaisagua/>. Acesso em: 4 maio 2025.

PAINEL SANEAMENTO BRASIL. **Compare localidades.** Disponível em: <https://www.painelsaneamento.org.br/localidade/compare>. Acesso em: 28 maio 2025.

PARENTE, D. C.; SILVA, R. R. **Comparativo financeiro entre o método destrutivo e não destrutivo de execução de ramais de ligação de água em Palmas – TO.** Revista Liberato, [S. l.], v. 17, n. 28, p. 157–176, 2018. Disponível em: <http://191.232.52.91/index.php/revista/article/view/537>. Acesso em: 28 maio 2025.

PAULA, F. É. de O. **Controle do cronograma de obra: um estudo de caso.** 2021. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Campina Grande, Centro de Ciências e Tecnologia Agroalimentar, Unidade Acadêmica de Ciências e Tecnologia Ambiental, Pombal, PB, 2021.

PACHECO, R. P. et al. **Estimativas de custos visando orientar a tomada de decisão na implantação de redes, coletores e elevatórias.** Revista Brasileira de Recursos Hídricos, v. 20, n. 1, p. 73–81, 2015.

PACHECO, R. P. **Análise de custos na implantação de sistemas de esgoto.** Dissertação (Mestrado) — UFES, 2011.

PICPLAST. **PEAD e PVC são os principais materiais utilizados na construção de redes para saneamento básico no Brasil.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://www.picplast.com.br/detalhe-noticia/pead-e-pvc-sao-os-principais-materiais-utilizados-na-construcao-de-redes-para-saneamento-basico-no-brasil>. Acesso em: 28 maio 2025.

RS ENGENHARIA. **O uso de drones no monitoramento de obras.** [S. l.], [s. d.]. Disponível em: <https://rsengenhariaprojetos.com.br/o-uso-de-drones-no-monitoramento-de-obras/>. Acesso em: 28 maio 2025.

SILVA, R. Â. da. **Comparativo de custo de ligações de água pelos métodos destrutivo e não destrutivo.** Palmas: CEULP, 2020.

SINDUSCON-PR. INCC-DI FGV 310. [S.1.]: SINDUSCON-PR, 2025. Disponível em: <https://sindusconpr.com.br/incc-di-fgv-310-p>. Acesso em: 12 novembro 2025.

SIMÕES, R. P. et al. **Análise comparativa de métodos de execução de redes coletores de esgoto.** In: Soluções inovadoras em engenharia sanitária e ambiental. 2023.

SOARES, J. M. **Importância do traçado no custo de construção da rede coletora.** Belém: UFPA, 2004.

VILARINHO, C. M. R.; COUTO, E. de A. do. **Saneamento básico e regulação no Brasil: desvendando o passado para moldar o futuro.** Revista Digital de Direito Administrativo, v. 10, n. 2, p. 233–257, 2023.

APÊNDICE A — Planilha orçamentária MD e Aplicação para o Mês de Outubro/24

Item	Código	Descrição	Fonte	Un	Preço Unit. (R\$)	Qtd	Total (R\$)
LOCAÇÃO E CADASTRO							
1	040107	LOCAÇÃO DE REDE COLETORA DE ESGOTOS DE SISTEMA CONVENCIONAL	CAEMA	M	4,29	5.428,08	23.286,46
2	1512	CADASTRO TÉCNICO DE REDES DE ESGOTO	SANEAGO	M	1,05	5.428,08	5.699,48
MOVIMENTAÇÃO DE TERRA							
3	PAV-082	CORTE DE PAVIMENTO ASFÁLTICO COM COMPRESSOR E MARTELETE	SMOP INFRA	M3	185,96	103,58	19.261,24
4	050237	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS - ESGOTO - EM SOLO DE 1ª CAT. EXECUTADA ENTRE AS PROFUNDIDADES DE 0 A 2,00m	CAEMA	M3	6,61	2.189,72	14.474,06
5	050240	ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS - ESGOTO - EM SOLO DE 1ª CAT. EXECUTADA ENTRE AS PROFUNDIDADES DE 2,01 A 4,00m	CAEMA	M3	6,26	-	-
6	184	ESCAVAÇÃO MECANIZADA (COM ESCAVADEIRA HIDRÁULICA) EM VALAS COM MATERIAL DE 2ª CATEGORIA - PROFUNDIDADE ATÉ 2,0 M	SANEAGO	M3	6,51	1.459,81	9.503,39
7	02.02.05	ATERRO EM CAMADAS DE 20,00CM UMEDECIDAS E FORTEMENTE APILOADAS COM AQUISIÇÃO DE TERRA	DEOSP	M3	59,38	517,89	30.752,11
8	94341	ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³/POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM AREIA PARA ATERRO. AF_08/2023	SINAPI	M3	115,69	3.131,65	362.300,39
9	94339	ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³/POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM AREIA PARA ATERRO. AF_08/2023	SINAPI	M3	120,95	-	-
10	505212	BOTA FORA ENTULHO (CARGA E DESCARGA/ MOM.TRANSPORTE 3KM./ SEM ESPALHAMENTO)	CAEMA	M3	5,22	103,58	540,67
11	050501	EXECUÇÃO DE ENVOLTÓRIA OU BERÇO DE SILTE ARENOSO EM VALAS, INCLUINDO LANÇAMENTO, ESPALHAMENTO E COMPACTAÇÃO COM SOQUETE MANUAL, COM	CAEMA	M3	97,66	906,30	88.509,43
REFORÇO DE VALAS							
12	211	COMPACTAÇÃO MANUAL FUNDO DE VALAS COM MAÇO=10 KG PARA REDE DE ESGOTO	SANEAGO	M2	5,86	129,47	758,70
13	104482	ESGOTAMENTO DE VALA COM BOMBA SUBMERSÍVEL. AF_12/2022	SINAPI	H	31,16	6,17	192,20
14	90740	ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC CORRUGADO DE DUPLA PAREDE PARA REDE COLETORA DE ESGOTO, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_01/2021	SINAPI	M	3,80	5.428,08	20.626,70
ELEMENTOS PARA REDE COLETORA DE ESGOTO							
15	1729	MONTAGEM DE TIL RADIAL DN 150	SANEAGO	UN	90,70	14,00	1.269,80
16	1601	POÇO DE VISITA EM ANÉIS DE CONCRETO DIÂMETROS 60 CM (CHAMINÉ) E 120 CM (BALÃO), INCLUINDO ANELTAMPÃO DE CONCRETO, PROFUNDIDADE = 2,0 M	SANEAGO	UN	2.579,02	54,00	139.267,08

Item	Código	Descrição	Fonte	Un	Preço Unit. (R\$)	Qtd	Total (R\$)
17	1602	POÇO DE VISITA EM ANÉIS DE CONCRETO DIÂMETROS 60 CM (CHAMINÉ) E 120 CM (BALÃO), INCLUINDO ANEL/TAMPÃO DE CONCRETO, PROFUNDIDADE = 3,0 M	SANEAGO	UN	3.095,42	-	-
18	1731	PROTEÇÃO PARA TIL (COM FORNECIMENTO DE ANEL/TAMPÃO)	SANEAGO	UN	395,09	54,00	21.334,86
19	49493	CARGA MANUAL DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE DE CAP. 10 M ³	SANEAGO	M3	18,68	9.161,38	171.134,50
20	1421	LIMPEZA DO CORTE, COLOCAÇÃO E COMPACTAÇÃO CASCALHO, IMPRIMAÇÃO E COLOCAÇÃO DE CAPA ASFÁLTICA(CBUQ) - EXCLUSIVE MATERIAL DE EMPRÉSTIMO PARA BASE	SANEAGO	M2	82,98	2.589,43	214.871,19
21	010125	BANHEIRO QUÍMICO COM 03 LIMEZAS SEMANAIS (ALUGUEL)	CAEMA	MÊS	428,72	1,00	428,72
22	020319	LIMPEZA DE RUAS APÓS EXECUÇÃO DE OBRAS EM S.A.A.'s E S.E.S.'s	CAEMA	M	1,15	5.428,08	6.242,29
							TOTAL 1.130.453,30
							TOTAL COM BDI 1.446.075,86
							CUSTO UNITÁRIO 266,41

APÊNDICE B – Planilha Orçamentária MDI e Aplicação de Novembro/24 a Março/25

Item	Código	Descrição	Fonte	Und	Preço unitário R\$	Novembro/24		Dezembro/24		Janeiro/25		Fevereiro/25		Março/25	
						Qtd	Total	Qtd	Total	Qtd	Total	Qtd	Total	Qtd	Total
15	1729	MONTAGEM DE TIL RADIAL DN 150	SANEAGO	UN	90,70	20,00	1.814,00	9,00	816,30	13,00	1.179,10	15,00	1.360,50	12,00	1.088,40
16	1601	POÇO DE VISITA EM ANÉIS DE CONCRETO DIÂMETROS 60 CM (CHAMINÉ) E 120 CM (BALÃO), INCLUINDO ANEL/TAMPÃO DE CONCRETO, PROFUNDIDADE = 2,0 M	SANEAGO	UN	2.579,02	78,00	201.163,56	34,00	87.686,68	51,00	131.530,02	60,00	154.741,20	49,00	126.371,98
17	1602	POÇO DE VISITA EM ANÉIS DE CONCRETO DIÂMETROS 60 CM (CHAMINÉ) E 120 CM (BALÃO), INCLUINDO ANEL/TAMPÃO DE CONCRETO, PROFUNDIDADE = 3,0 M	SANEAGO	UN	3.095,42	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
18	1731	PROTEÇÃO PARA TIL (COM FORNECIMENTO DE ANEL/TAMPÃO)	SANEAGO	UN	395,09	78,00	30.817,02	34,00	13.433,06	51,00	20.149,59	60,00	23.705,40	49,00	19.359,41
19	49493	CARGA MANUAL DE ENTULHO EM CAMINHÃO BASCULANTE DE CAP. 10 M ³	SANEAGO	M3	18,68	10.917,33	204.944,44	6.062,33	113.244,35	7.761,48	144.984,48	8.222,02	153.587,28	6.683,08	124.840,02
20	1421	LIMPEZA DO CORTE, COLOCAÇÃO E COMPACTAÇÃO CASCALHO, IMPRIMAÇÃO E COLOCAÇÃO DE CAPA ASFÁLTICA(CBUQ) - EXCLUSIVE MATERIAL DE EMPRÉSTIMO PARA BASE	SANEAGO	M2	82,98	3.091,89	256.564,83	1.472,94	122.224,16	2.157,55	179.033,48	2.420,44	200.848,04	1.969,18	163.402,89
21	010125	BANHEIRO QUÍMICO COM 03 LIMEZAS SEMANAIS (ALUGUEL)	CAEMA	MÊS	428,72	1,00	428,72	1,00	428,72	1,00	428,72	1,00	428,72	1,00	428,72
22	020319	LIMPEZA DE RUAS APÓS EXECUÇÃO DE OBRAS EM S.A.A.'s E S.E.S.'s	CAEMA	M	1,15	7.822,75	8.996,16	3.433,30	3.948,30	5.076,09	5.837,50	6.012,24	6.914,08	4.870,07	5.600,58
TOTAL							1.424.257,03		726.797,80		987.325,59		1.084.062,03		881.905,87
TOTAL COM BDI							1.821.909,59		929.719,75		1.262.986,90		1.386.732,15		1.128.133,99
CUSTO UNITÁRIO							232,90		270,79		248,81		230,65		231,65

APÊNDICE C – Composição de Custos dos itens que foram alterados para o MDI

4. 050237 ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS - ESGOTO - EM SOLO DE 1ª CAT. EXECUTADA ENTRE AS PROFUNDIDADES DE 0 A 2,00m (M3)							MD		MDI		
Equipamento			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total	
H020000574	Retroescavadeira case 580, sobre pneus h,79 cv,c=0,382 m3		CAEMA	H	0,080	72,08	5,77	0,160	72,08	11,53	
1.0	IMPLEMENTO		COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	CHP				0,033	5,52	0,18	
							Total Equipamento:	5,77	TOTAL Equipamento:	11,53	
Mão De Obra			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total	
B010000097	Servente		CAEMA	H	0,080	10,48	0,84	0,080	10,48	0,84	
							Total Mão de Obra:	0,84	Total Mão de Obra:	0,84	
							VALOR:	6,61	VALOR TOTAL:	12,37	

5. 050240 ESCAVAÇÃO MECANIZADA DE VALAS - ESGOTO - EM SOLO DE 1ª CAT. EXECUTADA ENTRE AS PROFUNDIDADES DE 2,01 A 4,00m (M3)							MD		MDI		
Equipamento			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total	
H020000575	Retroescavadeira poclain sobre pneus ly-2p,100cv,c=0,573 m3		CAEMA	H	0,060	93,78	5,63	0,120	93,78	11,25	
1.0	IMPLEMENTO		COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	CHP				0,040	5,52	0,22	
							Total Equipamento:	5,63	Total Equipamento:	11,25	
Mão De Obra			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total	
B010000097	Servente		CAEMA	H	0,060	10,48	0,63	0,060	10,48	0,63	
							Total Mão de Obra:	0,63	Total Mão de Obra:	0,63	
							VALOR:	6,26	VALOR TOTAL:	11,88	

8. 94341 ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M³/POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE DE 1,5 A 3,0 M, COM AREIA PARA ATERRO. AF 08/2023 (M3)							MD		MDI		
Equipamento			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total	
903	CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 15.935 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,8 M, POTÊNCIA 230 CV, INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA - CHI DIURNO. AF_06/2014		SINAPI	CHI	0,001	74,85	0,04	0,001	74,85	0,04	
5901	CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 15.935 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,8 M, POTÊNCIA 230 CV, INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA - CHP DIURNO. AF_06/2014		SINAPI	CHP	0,005	318,43	1,71	0,005	318,43	1,71	
91533	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA 4 TEMPOS, POTÊNCIA 4 CV - CHP DIURNO. AF 08/2015		SINAPI	CHP	0,129	31,04	3,98	0,129	31,04	3,98	

5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF 06/2014	SINAPI	CHI	0,032	61,26	1,96	0,032	61,26	1,96
5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF 06/2014	SINAPI	CHP	0,022	144,62	3,21	0,022	144,62	3,21
1.0	IMPLEMENTO	COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	CHP	-	-	-	0,050	5,52	0,28
					Total Equipamento:	10,90	Total Equipamento:	11,18	
Material			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário
368	AREIA PARA ATERRO - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	SINAPI	M3	1,389	75,00	104,16	1,389	75,00	104,16
					Total Material:	104,16	Total Material:	104,16	
Mão de Obra			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,030	20,92	0,63	0,030	20,92	0,63
					Total Mão de Obra:	0,63	Total Mão de Obra:	0,63	
					VALOR:	115,69	VALOR TOTAL:	115,97	

9. 94339 ATERRO MECANIZADO DE VALA COM RETROESCAVADEIRA (CAPACIDADE DA CAÇAMBA DA RETRO: 0,26 M ³ /POTÊNCIA: 88 HP), LARGURA ATÉ 1,5 M, PROFUNDIDADE ATÉ 1,5 M, COM AREIA PARA ATERRO. AF_08/2023 (M3)					MD		MDI			
Equipamento			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total
5903	CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 15.935 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,8 M, POTÊNCIA 230 CV, INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA - CHI DIURNO. AF 06/2014	SINAPI	CHI	0,001	74,85	0,04	0,001	74,85	0,04	
5901	CAMINHÃO PIPA 10.000 L TRUCADO, PESO BRUTO TOTAL 23.000 KG, CARGA ÚTIL MÁXIMA 15.935 KG, DISTÂNCIA ENTRE EIXOS 4,8 M, POTÊNCIA 230 CV, INCLUSIVE TANQUE DE AÇO PARA TRANSPORTE DE ÁGUA - CHP DIURNO. AF 06/2014	SINAPI	CHP	0,005	318,43	1,71	0,005	318,43	1,71	
91533	COMPACTADOR DE SOLOS DE PERCUSSÃO (SOQUETE) COM MOTOR A GASOLINA 4 TEMPOS, POTÊNCIA 4 CV - CHP DIURNO. AF 08/2015	SINAPI	CHP	0,163	31,04	5,07	0,163	31,04	5,07	
5679	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MAX. 4,37 M - CHI DIURNO. AF 06/2014	SINAPI	CHI	0,055	61,26	3,37	0,055	61,26	3,37	
5678	RETROESCAVADEIRA SOBRE RODAS COM CARREGADEIRA, TRAÇÃO 4X4, POTÊNCIA LÍQ. 88 HP, CAÇAMBA CARREG. CAP. MÍN. 1 M3, CAÇAMBA RETRO CAP. 0,26 M3, PESO OPERACIONAL MÍN. 6.674 KG, PROFUNDIDADE ESCAVAÇÃO MÁX. 4,37 M - CHP DIURNO. AF 06/2014	SINAPI	CHP	0,038	144,62	5,52	0,038	144,62	5,52	
1.0	IMPLEMENTO	COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	CHP				0,060	5,52	0,33	
					Total Equipamento:	15,71	Total Equipamento:	16,04		
Material			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total
368	AREIA PARA ATERRO - POSTO JAZIDA/FORNECEDOR (RETIRADO NA JAZIDA, SEM TRANSPORTE)	SINAPI	M3	1,389	75,00	104,16	1,389	75,00	104,16	
					Total Material:	104,16	Total Material:	104,16		

Mão de Obra		Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,052	20,92	1,08	0,052	20,92	1,08
					Total Mão de Obra:	1,08	Total Mão de Obra:	1,08	
					VALOR:	120,95	VALOR TOTAL:	121,28	

14. 90740 ASSENTAMENTO DE TUBO DE PVC CORRUGADO DE DUPLA PAREDE PARA REDE COLETORA DE ESGOTO, DN 150 MM, JUNTA ELÁSTICA (NÃO INCLUI FORNECIMENTO). AF_01/2021 (M)					MD			MDI		
Equipamento			Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Coeficiente	Preço Unitário	Total
1.0	IMPLEMENTO		COMPOSIÇÃO PRÓPRIA	CHP				0,040	5,52	0,22
					Total Equipamento:			Total Equipamento:	0,22	
Mão de Obra					Fonte	Unid	Coeficiente	Preço Unitário	Total	Total
88246	ASSENTADOR DE TUBOS COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,099	17,44	1,73	0,099	17,44	1,73	
88316	SERVENTE COM ENCARGOS COMPLEMENTARES	SINAPI	H	0,099	20,92	2,07	0,099	20,92	2,07	
					Total Mão de Obra:	3,80	Total Mão de Obra:	3,80		
					VALOR:	3,80	VALOR TOTAL:	4,02		