



## Compactação de Valas com Acessório Acoplado: Uma nova abordagem para Obras de Saneamento

Bárbara Pereira de Araújo

Estudante, IF Goiano – Campus Trindade, Trindade, Brasil, barbara.araujo@estudante.ifgoiano.edu.br

Aleones José da Cruz Junior

Professor, IF Goiano – Campus Trindade, Trindade, Brasil, aleones.junior@ifgoiano.edu.br

Vinicius Otto Ritzamann Marzall

Professor, IF Goiano – Campus Trindade, Trindade, Brasil, vinicius.marzall@ifgoiano.edu.br

Daniel Magalhães da Cruz

Doutorando em Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre, Brasil,  
daniel.cruz@ufrgs.br

Douglas Alves de Sousa

Técnico de laboratório edificações, IF Goiano – Campus Trindade, Trindade, Brasil,  
douglas.sousa@ifgoiano.edu.br

**RESUMO:** A limitação no acesso ao saneamento básico no Brasil constitui um desafio significativo para o desenvolvimento urbano e ambiental. Este trabalho avalia uma solução tecnológica voltada à otimização do processo de compactação de valas escavadas para implantação de redes de esgoto, utilizando um implemento acoplado à retroescavadeira. A proposta busca substituir parcialmente o método destrutivo tradicional, permitindo a execução simultânea das etapas de escavação, assentamento e compactação. Foram conduzidos ensaios de campo para caracterização dos solos escavados e comparação entre os métodos tradicional e mecanizado. Os resultados indicam que o implemento apresentou desempenho compatível com os critérios técnicos exigidos, atingindo grau de compactação superior a 100% em 162 casos, principalmente em solos granulares e estabilizados. A aplicação da tecnologia demonstrou viabilidade técnica, com potencial para racionalizar os processos executivos em obras de saneamento e promover maior eficiência operacional.

**PALAVRAS-CHAVE:** Compactação de valas; Inovação tecnológica; Método destrutivo; Redes de esgoto; Eficiência geotécnica.

**ABSTRACT:** Limited access to basic sanitation in Brazil remains a significant challenge to urban and environmental development. This study evaluates a technological solution aimed at optimizing the compaction process of excavated trenches for the installation of sewer networks, using an implement attached to a backhoe loader. The proposed approach seeks to partially replace the traditional destructive method by enabling the simultaneous execution of excavation, pipe placement, and compaction stages. Field tests were conducted to characterize the excavated soils and compare the performance between traditional and mechanized methods. The results indicate that the attached implement met the required technical standards, achieving compaction degrees above 100% in 162 cases, particularly in granular and stabilized soils. The application of this technology demonstrated technical feasibility, with potential to streamline construction processes in sanitation projects and improve operational efficiency.

**KEYWORDS:** Trench compaction; Technological innovation; Destructive method; Sewer networks; Geotechnical efficiency.

### 1 INTRODUÇÃO

O acesso ao saneamento básico, garantido pela Lei nº 11.445/2007 (BRASIL, 2007), é essencial para a saúde pública, a qualidade de vida e a sustentabilidade urbana. Em consonância com esse princípio, o Objetivo de Desenvolvimento Sustentável nº 6 da Agenda 2030 da ONU propõe assegurar o acesso universal e equitativo à água potável e ao saneamento até 2030. No entanto, a realidade brasileira ainda é preocupante:



2 0 2 5

apenas 55,81% da população dispõe de rede de coleta de esgoto (ONU, 2021), o que evidencia a necessidade de ampliação e modernização das obras de infraestrutura sanitária.

A execução de obras de saneamento enfrenta desafios operacionais que comprometem sua eficiência e causam diversos transtornos urbanos, como ruídos, acúmulo de resíduos, interdições viárias prolongadas e riscos à segurança de trabalhadores e pedestres. Muitas dessas dificuldades decorrem da limitada evolução dos métodos construtivos utilizados nas últimas décadas, os quais ainda dependem, em grande parte, de processos manuais ou de etapas realizadas de forma sequencial e desconectada, como escavação, assentamento e compactação. A descontinuidade entre essas etapas prolonga o tempo de execução e aumenta a exposição das valas, favorecendo a infiltração de água, o colapso das paredes e a reexecução de trechos. Além disso, a dificuldade em garantir controle de qualidade em campo, especialmente quanto ao grau de compactação do solo de reaterro, compromete o desempenho geotécnico da obra e eleva os custos com manutenção corretiva. (DEZOTTI, 2008).

As redes coletores de esgoto podem ser implantadas por métodos destrutivos (MD) ou não destrutivos (MND), sendo o primeiro o mais utilizado no país. O MD, também chamado de método convencional, envolve a escavação da vala, assentamento dos tubos, reaterro com compactação e recomposição da pavimentação. Já os MND, que evitam a abertura de valas, são preferidos em áreas urbanas densas e com alta interferência de infraestrutura. A escolha entre os métodos depende de fatores como tipo de solo, profundidade, diâmetro dos tubos, interferências existentes e viabilidade econômica (PARENTE; SILVA, 2018). Embora amplamente adotado e viável em diversas condições, o método destrutivo apresenta potencial de aprimoramento, sobretudo com a incorporação de tecnologias que integram etapas do processo. Nesse contexto, acessórios acopláveis a retroescavadeiras — como compactadores e dispositivos de assentamento — têm se destacado por contribuir para maior precisão, agilidade e segurança na execução.

Diante desse contexto, este artigo apresenta uma análise comparativa entre o método tradicional de compactação de valas, conforme as diretrizes da NBR 17015 (ABNT, 2023), e uma alternativa mecanizada baseada no uso de um implemento acoplado à retroescavadeira. A motivação para esta análise reside na busca por soluções que otimizem a execução de obras de saneamento, reduzam os impactos urbanos e melhorem a eficiência da compactação. A investigação é baseada em dados reais provenientes de uma obra de implantação de rede de esgoto, fornecidos por uma empresa atuante no setor, o que confere aplicabilidade prática e relevância ao estudo.

## 2 REFERENCIAL TEÓRICO

A compactação do solo é uma etapa determinante em obras de infraestrutura subterrânea, influenciando diretamente a estabilidade, durabilidade e capacidade de suporte das estruturas enterradas. No caso de redes de esgoto, o adensamento adequado do solo no reaterro das valas contribui para minimizar recalques, infiltrações e deformações. Segundo Terzaghi e Peck (1987), esse processo melhora a resistência e rigidez do solo, tornando-o mais eficiente no suporte às cargas da estrutura e do tráfego.

Normas técnicas como a NBR 7182 (ABNT, 2025) estabelecem os critérios para ensaios de compactação em laboratório, com base nos métodos Proctor normal e modificado. Para o subleito, o DNIT (2010) recomenda um Grau de Compactação (GC) mínimo de 100%, enquanto para bases granulares são aceitos valores entre 95% e 100%.

Entretanto, o solo escavado nem sempre apresenta qualidade geotécnica adequada ao reaterro. Cardoso et al. (2010) e Machado et al. (2015) apontam que características como alta umidade, granulometria desuniforme ou presença de matéria orgânica exigem a substituição parcial ou total do material por solo de jazida, mais propício ao adensamento e controle de qualidade. A eficiência da compactação também depende do equipamento empregado. Em áreas urbanas confinadas, acessórios acopláveis a retroescavadeiras, como placas vibratórias, rolos vibratórios e ferramentas de assentamento, têm se destacado por integrarem etapas, reduzirem o tempo de execução e minimizarem os impactos urbanos (MACHADO et al., 2015; LOPES; FERNANDES, 2021).

Dentre esses acessórios, destacam-se os hoe-packs — compactadores hidráulicos acoplados ao braço da retroescavadeira — que operam com camadas de até 0,30 m, dispensam a presença de trabalhadores dentro da vala e aumentam a precisão e segurança da operação (INDECO, 2025). Há modelos compatíveis com escavadeiras de 2 a 22 toneladas e larguras de placa entre 0,20 m e 1,00 m.

Também se destacam os compactadores hidráulicos portáteis, que combinam peso estático e vibração de alta frequência, permitindo a compactação eficiente em espaços confinados e substituindo métodos manuais



2 0 2 5

mais desgastantes. Em solos coesivos, dispositivos com superfície corrugada, como o “pé-de-carneiro”, aumentam a eficiência do processo ao se adaptarem melhor ao perfil do solo (INDECO, 2025; DELTRACTOR, 2025). Já os equipamentos independentes, como rolos vibratórios rebocados ou autopropelidos, são mais indicados para valas largas e abertas. Operam com larguras entre 0,61 m e 1,22 m, compactando camadas de até 0,50 m, mas exigem condições específicas de inclinação, escoramento e espaço operacional (IOWA DOT, 2025; UFC, 2005).

Wang (2015) e Qiu et al. (2014) demonstraram que hoe-packs atingem mais de 100% do Proctor padrão em camadas de até 0,30 m, mas perdem eficiência em espessuras maiores. Por outro lado, compactadores independentes mostraram melhor desempenho em camadas mais espessas, desde que atendidas as exigências operacionais.

Assim, a escolha do equipamento deve considerar variáveis como geometria da vala, tipo de solo, profundidade, necessidade de escoramento e produtividade desejada. Compactadores acoplados oferecem maior flexibilidade em áreas restritas, enquanto os independentes são mais eficazes quando há espaço e condições adequadas para operação segura.

### 3 METODOLOGIA

A presente pesquisa caracteriza-se como um estudo de caso, com abordagem aplicada e natureza predominantemente quantitativa. A investigação foi desenvolvida com base em dados técnicos referentes a uma obra de saneamento em execução no município de Barcarena, no estado do Pará, iniciada em 2024. A escolha dessa obra deve-se às suas particularidades técnicas e operacionais, que a tornam representativa das condições frequentemente enfrentadas em intervenções urbanas de infraestrutura.

A metodologia adotada compreendeu a organização, tratamento e análise de registros técnicos previamente disponibilizados, os quais incluíam informações relacionadas à execução de valas, ao grau de compactação obtido em diferentes trechos e às características dos solos utilizados no reaterro. Esses dados possibilitaram uma avaliação comparativa entre dois métodos distintos aplicados em campo: (i) o método tradicional, baseado em compactadores manuais; e (ii) a alternativa mecanizada, com o uso de um acessório acoplado à retroescavadeira. Essa abordagem permitiu investigar, de forma prática e contextualizada, o desempenho técnico das soluções adotadas em diferentes condições operacionais.

A extensão total da rede de esgoto projetada para o município de Barcarena é de aproximadamente 230.000 metros lineares, dividida em duas sub-bacias: Barcarena Sede e Pioneiros. O prazo estimado para a execução completa da obra é de 18 meses. Contudo, para fins deste estudo, foi delimitado um recorte temporal de cinco meses, contemplando trechos executados em ambas as sub-bacias. A Figura 1 apresenta a localização geográfica dessas sub-bacias no contexto urbano de Barcarena, incluindo a orientação norte.

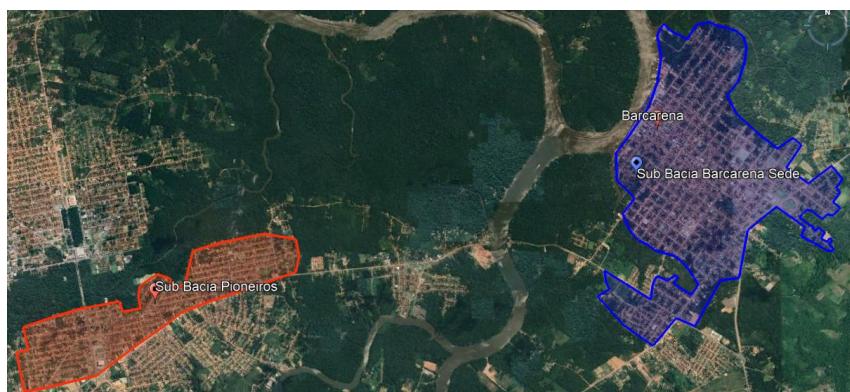


Figura 1. Delimitação espacial das sub-bacias Pioneiros (em vermelho) e Barcarena Sede (em azul) no município de Barcarena/PA. (adaptado Google Earth)

#### 3.1 Metodos de Execução do Reaterro

Nesta pesquisa, foram comparados dois métodos de reaterro e compactação utilizados em campo: o método tradicional e o método mecanizado com implemento acoplado à retroescavadeira.

No método tradicional, o reaterro foi realizado após o assentamento dos tubos, com aplicação de camadas de solo de até 0,20 m de espessura compactadas manualmente, utilizando sapos e placas vibratórias.



2 0 2 5

A operação exigiu a entrada de operários na vala (Figura 2), conforme condições determinadas pela profundidade e pelo tipo de escoramento. As larguras mínimas variaram entre 0,65 m e 1,65 m, para tubos de diâmetro nominal (DN) de 100 e 150 mm, conforme os critérios apresentados prescritos pela NBR 17015 (ABNT, 2023).



(a)



(b)

Figura 2. Reaterro e compactação pelo método tradicional: (a) compactação da base, e (b) reaterro e compactação do subleito.

No método alternativo, foi utilizado um implemento acoplado à retroescavadeira, composto por concha de 0,25 m, garra para assentamento, rolo compactador e adaptador de engate rápido. A escavação foi realizada com conchas estreitas, com largura inferior aos padrões comerciais, permitindo valas entre 0,35 m e 0,50 m. Nesse procedimento, o assentamento dos tubos e a compactação do solo foram feitos a partir do adaptador de engate rápido na retroescavadeira com o rolo compactador (Figura 3), sem a necessidade de operadores dentro da vala.

Ambos os métodos foram aplicados em trechos distintos da obra, em condições reais de campo, permitindo a comparação entre produtividade, desempenho técnico e segurança operacional.



Figura 3. Método alternativo: (a) concha estreita para escavação; (b) implemento compactador; (c) implemento acoplado a retroescavadeira; e (d) solo compactado com uso do implemento.

### 3.2 Caracterização dos Solos da Jazida e Controle de Execução do Reaterro

No total foram consideradas nove amostras de solos de três jazidas distintas a serem aplicadas para base e subleito, sendo as amostras 1 a 4 e 6 da 1<sup>a</sup> jazida, amostra 5 da 2<sup>a</sup> jazida, e amostras 8 e 9 da 3<sup>a</sup> jazida. A amostra 7 é uma mistura de 70% do material da 1<sup>a</sup> jazida com 30% da 2<sup>a</sup> jazida. As amostras foram coletadas e preparadas conforme NBR 6457 (ABNT, 2024), sendo a partir delas realizados ensaios para a caracterização física dos solos, como: granulometria por peneiramento conforme NBR 7181 (ABNT, 2016), Limite de Liquidez e Limite de Plasticidade, respectivamente, conforme NBR 6459 (ABNT, 2017) e NBR 7180 (ABNT, 2016). Também para cada amostra foi executado o ensaio de compactação conforme NBR 7182 (ABNT, 2016), sendo obtidas as curvas de compactação, determinando o ponto de massa específica seca



máxima e umidade ótima.

Os resultados dos ensaios de caracterização física e compactação constam resumidos na Tabela 2. Os percentuais mostrados para as frações do solo a partir dos resultados do ensaio de granulometria seguiram as dimensões de grãos definidas na NBR 6502 (ABNT, 2022). A classificação dos solos foi realizada com o Sistema Unificado de Classificação de Solos (SUCS), conforme definido por Casagrande (1948).

Tabela 2. Resultados dos ensaios de caracterização física do solos e de compactação.

Amostra	Classificação SUCS	Compactação		Granulometria por peneiramento			Limites de consistência		
		$\rho_{dmax}^*$ (kN/m³)	$w_{otm}^*$ (%)	Argila e Silte (%)	Areia (%)	Pedr. (%)	LL* (%)	LP* (%)	IP* (%)
1	SC c/ pedregulho	17,98	12,3	<25	27	48	38	14	24
2	SC c/ pedregulho	18,60	12,7	<20	24	56	37	13	24
3	SC c/ pedregulho	18,75	12,4	<21	23	56	34	12	22
4	SC c/ pedregulho	18,91	13,6	<25	29	46	39	14	25
5	SM	17,19	8,7	<15	85	0	-	NP*	NP*
6	SC c/ pedregulho	19,35	9,6	<23	36	41	33	11	22
7	SC c/ pedregulho	20,40	10,4	<24	43	33	-	-	-
8	GW	20,22	9,6	<5	16	79	-	NP*	NP*
9	GW-GM	20,31	8,9	<8	16	76	-	NP*	NP*

\* Legenda dos símbolos:  $\rho_{dmax}$  – massa específica aparente seca máxima;  $w_{otm}$  – teor de umidade ótimo; LL – Limite de Liquidez; LP – Limite de Plasticidade; IP – Índice de plasticidade; NP – Não Plástico

Para a determinação da massa específica aparente seca para os materiais de base foram realizados em campo os ensaios de massa específica aparente in situ pelo método do frasco de areia conforme NBR 7185 (ABNT, 2016), e para os materiais de subleito foram utilizados os resultados de massa específica in situ pelo método do cilindro de cravação conforme NBR 9813 (ABNT, 2016). O teor de umidade foi determinado em campo através do método da frigideira conforme NBR 16907 (ABNT, 2012).

#### 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A análise dos dados obtidos em campo entre agosto e dezembro de 2024 permitiu avaliar o desempenho de dois métodos distintos de compactação — tradicional e com implemento acoplado à retroescavadeira — considerando o Grau de Compactação (GC) alcançado em diferentes tipos de solo nas camadas de subleito e base. Os critérios de desempenho foram baseados na NBR 17015 (ABNT, 2023), que estabelece um GC mínimo de 95% como aceitável para o controle tecnológico.

Os ensaios foram agrupados conforme o tipo de solo, camada analisada e mês de execução. Para a camada de base, utilizou-se o ensaio de massa específica in situ por frasco de areia, totalizando 137 testes. Para o subleito, foram aplicados ensaios com cilindro de cravação, somando 25 medições. Os resultados médios mensais por tipo de solo encontram-se nas Tabelas 3 e 4.

Tabela 3. Resultados GC (%) médios pelo tipo de solo e mês de execução – Ensaio de massa específica in situ (frasco de areia) – Camada de Base

Mês	Método	Material	Qtd. Ensaios	Mín. GC (%)	Máx. GC (%)	Média GC (%)
Set/24	Tradicional	GW	33	97,95	104,17	102,02
Out/24	Implemento	GW	40	87,60	104,53	101,15
Nov/24	Implemento	GW	1	100,40	100,40	100,40
	Implemento	SC c/ pedregulho c/ 3% cimento	46	88,48	103,50	100,17
Dez/24	Implemento	SC c/ pedregulho c/ 3% cimento	17	100,40	101,30	100,79



Tabela 4. Resultados GC (%) médios por camada, tipo de solo e mês – Ensaio de massa específica in situ (cilindro de cravação) - Subleito

Mês	Método	Material	Qtd. Ensaios	Mín. GC (%)	Máx. GC (%)	Média GC (%)
Ago/24	Tradicional	SC c/ pedregulho	12	100,20	103,30	101,68
	Tradicional	SM	4	100,93	103,50	101,91
Set/24	Tradicional	SC c/ pedregulho	8	98,60	102,90	100,52
Nov/24	Implemento	SC c/ pedregulho	1	102,20	102,20	102,20

#### 4.1 Desempenho Mensal e por Método

Os tipos de solo mais utilizados foram GW (solo granulado bem graduado) e SC com pedregulho, com ou sem adição de cimento, representando cerca de 84,5% do total de ensaios. A Figura 4 apresenta a evolução do GC ao longo dos meses, destacando o método empregado em cada etapa da obra.

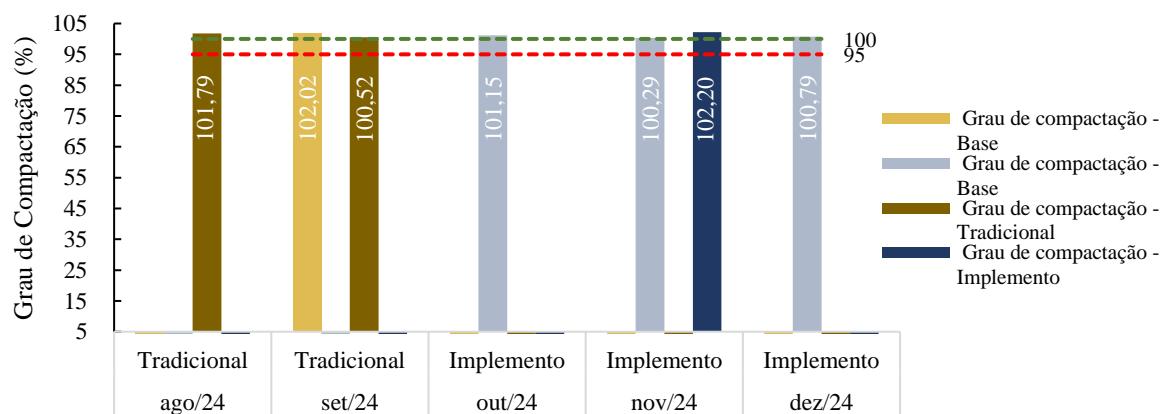


Figura 4. Grau de compactação por mês e método de execução

Observa-se que ambos os métodos foram eficazes em atender aos critérios normativos, com a maioria dos valores médios acima de 100%. No subleito, o método tradicional apresentou GC ligeiramente superior em alguns trechos, como nos solos SC com pedregulho. Já para a base, o método com implemento mostrou bom desempenho principalmente nos solos estabilizados com cimento.

Apesar de o método com implemento ter apresentado maior variação entre os resultados mínimo e máximo, os valores médios permaneceram satisfatórios. A Tabela 5 resume os dados consolidados por método.

Tabela 5. Comparativo Simplificado do Grau de Compactação por Método

Método	Média Geral GC (%)	GC Máx. (%)	GC Mín. (%)	Amplitude (%)	Desvio Padrão
Tradicional	101,78	104,17	97,95	6,22	± 1,7
Implemento	100,96	104,53	87,60	16,93	± 3,8

Embora o método tradicional tenha apresentado menor amplitude de variação, não se observaram diferenças significativas em termos de consistência entre os métodos, considerando o desvio padrão e a média geral.

A maior variabilidade nos resultados com o uso do implemento pode estar associada à fase inicial de implantação do novo processo, que envolveu ajustes operacionais da equipe, bem como variações na umidade natural dos solos e na heterogeneidade dos materiais reaproveitados.

#### 4.2 Comparativo por Tipo de Solo e Método

A Figura 5 apresenta a média do grau de compactação por tipo de solo, categorizada por método de execução.

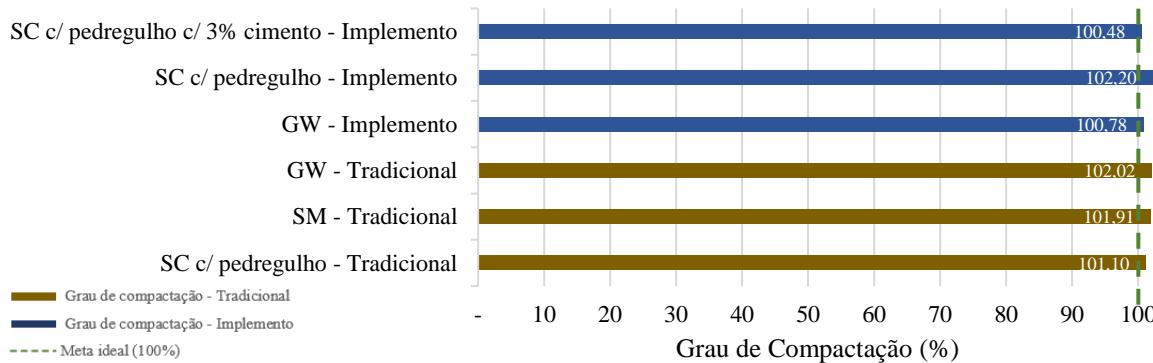


Figura 5. Comparativo de grau de compactação por tipo de solo e método utilizado

O solo GW apresentou os melhores resultados, com GC consistentemente acima de 100% em ambos os métodos. Já o SC com pedregulho e adição de 3% de cimento demonstrou desempenho estável, com média acima de 100%, destacando-se no uso com implemento acoplado, o que evidencia sua boa resposta à compactação mecanizada.

Ressalta-se, entretanto, que em alguns trechos pontuais os resultados mínimos de GC com o uso do implemento ficaram abaixo do valor de 95% estabelecido pela NBR 17015 (ABNT, 2023). Esses casos isolados podem estar associados à fase inicial de adaptação da equipe ao novo processo (curva de aprendizagem) e às variações naturais dos solos reaproveitados, sobretudo em condições de umidade menos favoráveis. Cabe destacar que tais ocorrências não comprometem a análise geral da viabilidade técnica, já que a maioria dos trechos apresentou desempenho dentro ou acima do exigido em norma.

#### 4 CONCLUSÃO

A presente pesquisa avaliou o desempenho de um acessório de compactação acoplado à retroescavadeira, comparativamente ao método tradicional, em reaterros de valas para redes de esgoto sob condições reais de obra. Os ensaios de campo, realizados em diferentes tipos de solo e camadas (sueleito e base), demonstraram que ambos os métodos atenderam aos requisitos da NBR 17015 (ABNT, 2023), com graus de compactação superiores a 100% em materiais como GW e SC com pedregulho estabilizado com cimento. O método tradicional apresentou menor dispersão nos resultados, enquanto o método mecanizado revelou desempenho satisfatório, especialmente em solos estabilizados, ainda que com maior variabilidade — atribuída à curva de aprendizagem da equipe e à heterogeneidade dos solos reaproveitados.

Dentro dos limites desta pesquisa, o uso de implementos acoplados mostrou-se uma alternativa viável à compactação em contextos urbanos. Ainda que tenham sido registrados valores mínimos pontuais abaixo do limite normativo, o desempenho global manteve-se satisfatório e em conformidade com as exigências técnicas. Importa salientar que a adoção desse método não implica necessariamente alcançar graus de compactação superiores aos obtidos com o processo convencional, mas sim assegurar a conformidade com os parâmetros de projeto, ao mesmo tempo em que proporciona benefícios operacionais. Recomenda-se a continuidade da pesquisa com foco na influência de variáveis operacionais, como o número de passadas, a umidade natural dos solos e a variabilidade longitudinal da compactação, bem como a aplicação da metodologia em obras com diferentes características geotécnicas e operacionais, visando ampliar a compreensão técnica sobre o uso de acessórios acoplados em reaterros.

Nesse sentido, a redução do tempo de execução, a menor necessidade de mão de obra direta dentro da vala e a consequente economia de custos por metro linear reforçam a aplicabilidade do implemento em obras de saneamento, sobretudo em ambientes urbanos.

#### AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Instituto Federal Goiano – Campus Trindade pelo suporte acadêmico prestado durante o desenvolvimento deste trabalho. Registramos, ainda, nosso reconhecimento à Construtora Central do Brasil (CCB) pela colaboração institucional, por meio da disponibilização dos dados utilizados na análise prática da proposta tecnológica apresentada.



## REFERÉNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2012). NBR 16907: Solo – Determinação do teor de umidade – Método da frigideira. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6457: Preparação de amostras de solo. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 6459: Solo – Determinação do limite de liquidez. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7180: Solo – Determinação do limite de plasticidade. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7181: Solo – Análise granulométrica. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7182: Ensaio de compactação – Método de ensaio. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 7185: Determinação da massa específica aparente in situ com frasco de areia. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2016). NBR 9813: Determinação da massa específica in situ com cilindro de cravação. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2022). NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia. Rio de Janeiro.
- ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (2023). NBR 17015: Execução de obras lineares para transporte de água e esgoto. Rio de Janeiro.
- Cardoso, R.; Machado, S. L.; Bastos, M. R. (2010). Compactação de solos: comparação entre o uso de solo natural e materiais selecionados para reaterro de valas. *Revista de Engenharia Civil*, 12(3), 45–56.
- Casagrande, A. (1948). Classification and identification of soils. *Transactions of the American Society of Civil Engineers*, 113(1), 901–930.
- DELTRACTOR (2025). Rolo compactador – Especificações. Disponível em: <https://www.deltractor.com.br/rolo-compactador>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Dezotti, M. C. (2008). Análise da utilização de métodos não destrutivos como alternativa para redução dos custos sociais gerados pela instalação, manutenção e substituição de infraestruturas urbanas subterrâneas. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Paulo, 231 p.
- DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transportes (2010). Norma DNIT 137/2010-ES: Pavimentação – Regularização do subleito – Especificação de serviço. Brasília.
- INDECO (2025). Compactadores – Série IHC e IHC R. Disponível em: <https://indeco.it/pt-pt/produtos/compactadores/>. Acesso em: 18 jun. 2025.
- Iowa Department of Transportation (2025). Section 3010 – Trench Excavation and Backfill. Disponível em: <https://iowadot.gov/erl/current/US/content/3010.htm>. Acesso em: 26 jun. 2025.
- Lopes, M. F.; Fernandes, E. M. (2021). Eficiência operacional na compactação de valas com equipamentos acoplados. *Revista Brasileira de Geotecnologia e Saneamento*, 9(2), 88–101.
- Machado, A. L.; Ferreira, R. C.; Dias, M. S. (2015). Desempenho de diferentes métodos de compactação em reaterro de valas de esgoto. *Cadernos de Engenharia Civil*, 7(1), 33–42.
- ONU – Organização das Nações Unidas (2021). Relatório Mundial das Nações Unidas sobre o Desenvolvimento dos Recursos Hídricos 2021: Valor da Água. Paris: UNESCO.
- Parente, J. F.; Silva, A. C. (2018). Métodos destrutivos e não destrutivos na implantação de redes de esgoto. *Revista Engenharia Urbana*, 11(2), 57–68.
- Qiu, T.; Xiao, M.; Wang, C. (2014). Evaluation of Hydraulic Plate Compactor. FHWA-PA-2014-008-PSU.
- Terzaghi, K.; Peck, R. B. (1987). Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd ed. New York: McGraw-Hill, 685 p.
- UFC – United Facilities Criteria (2005). UFC 3-220-01N – Soil Mechanics. United States Department of Defense.
- Wang, C. (2015). Effect of Hydraulic Plate Compactor and Lift Thickness on Utility Trench Backfill Compaction. Dissertação (Mestrado) – Pennsylvania State University.