



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL



JOÃO VITOR MORGADO FRANCISCO DE PAULA

**IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO - MÉTODO  
DESTRUTIVO VERSUS MÉTODO NÃO DESTRUTIVO: ESTUDO DE CASO  
DE UMA OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM JACAREPAGUÁ – RJ.**

Macaé

2021

JOÃO VITOR MORGADO FRANCISCO DE PAULA

IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO - MÉTODO  
DESTRUTIVO VERSUS MÉTODO NÃO DESTRUTIVO: ESTUDO DE CASO DE  
UMA OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM JACAREPAGUÁ – RJ.

Trabalho de Conclusão de Curso de  
graduação submetida à Universidade  
Federal do Rio de Janeiro – Campus  
Macaé como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de  
bacharel em Engenharia Civil.

Orientador:

Prof. Gustavo Vaz de Mello Guimarães

Macaé

2021

## CIP - Catalogação na Publicação

DD  
278i

De Paula, João Vitor Morgado Francisco  
IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO - MÉTODO  
DESTRUTIVO VERSUS MÉTODO NÃO DESTRUTIVO: ESTUDO DE  
CASO DE UMA OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM  
JACAREPAGUÁ - RJ. / João Vitor Morgado Francisco De  
Paula. -- Rio de Janeiro, 2021.  
148 f.

Orientador: Gustavo Vaz de Mello Guimarães.  
Trabalho de conclusão de curso (graduação) -  
Universidade Federal do Rio de Janeiro, Campus  
Macaé Professor Aloisio Teixeira, Bacharel em  
Engenharia Civil, 2021.

1. Implantação de redes subterrâneas.. 2. Método  
Destrutivo. 3. Método Não Destrutivo. 4. Custo  
Social. 5. Rede Coletora de Esgoto. I. Guimarães,  
Gustavo Vaz de Mello , orient. II. Título.

JOÃO VITOR MORGADO FRANCISCO DE PAULA

IMPLANTAÇÃO DE REDES COLETORAS DE ESGOTO - MÉTODO  
DESTRUTIVO VERSUS MÉTODO NÃO DESTRUTIVO: ESTUDO DE CASO DE  
UMA OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM JACAREPAGUÁ – RJ.

Trabalho de Conclusão de Curso de  
graduação submetida à Universidade  
Federal do Rio de Janeiro – Campus  
Macaé como parte dos requisitos  
necessários à obtenção do grau de  
bacharel em Engenharia Civil.

Aprovado em Macaé, 13 de agosto de 2021.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Gustavo Vaz de Mello Guimarães, D.Sc. (UFRJ/Macaé)

---

Prof. Beatriz Rodhen Becker, M.Sc. (UFRJ/Macaé)

---

Prof. Lucas Marques Pires da Silva, Mestrando (UFRJ/Macaé)

Este trabalho é dedicado aos meus avós  
que lutaram até o final pela minha  
graduação como engenheiro.

## AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer, primeiramente, a Deus. Pelo dom da minha vida, pela vida dos meus familiares e entes queridos. Por me conceder saúde, determinação e resiliência ao longo de toda essa trajetória. Que meus sonhos façam parte de seus planos.

Aos meus familiares, em especial, meus pais Fábio e Tatiana, aos meus irmãos Luiz e Anitta, meus avós Deise e José, De Paula e Lurdes, a minha falecida avó Léa, aos meus tios e tias, primos e primas, ao meu padrinho Vitor Marcelo e minhas madrinhas, Delminda e Cândida, sem vocês eu não conseguiria chegar até o fim.

Agradeço também, a minha namorada Mariana Miguez, por todo amor, carinho e companheirismo. Pelo suporte que me proporcionou em Macaé, pela paciência e conselhos nos momentos difíceis, e que sempre me fez lembrar dos meus verdadeiros objetivos. À toda sua família, em especial, aos meus sogros Mario e Rosana, ao cunhado Rodrigo, por terem me recebido maravilhosamente bem em seus lares e me tornarem parte dessa família.

Aos amigos que fiz durante a graduação e aos amigos do Colégio Luis de Camões, que se tornaram essenciais para meu crescimento pessoal e profissional.

A todos os professores que contribuíram para minha formação acadêmica e pessoal, ensinando valores intangíveis como ética, cidadania, respeito e tolerância, em especial ao meu orientador, Gustavo Vaz de Mello Guimarães, pelo tempo que dedicou para sanar minhas dúvidas e pelo empenho em guiar a trajetória de elaboração deste trabalho.

Aos amigos engenheiros, em especial, André Braga e Jefferson, que me concederam a oportunidade de iniciar a carreira de trabalho e tiveram a responsabilidade de me supervisionar durante o período de estágio. Agradeço também pelos valores e ensinamentos transmitidos, levá-los-ei ao longo de toda minha carreira.

“Se você não sabe onde quer ir, qualquer  
caminho serve.”

**Lewis Carroll**

## RESUMO

O presente trabalho busca apresentar soluções para o problema de implantação de rede coletora de esgoto em grandes centros urbanos, onde o espaço é reduzido para as práticas executivas tradicionais. A utilização do método destrutivo provoca interdições no trânsito, gera ruído, emissão de material particulado, além de oferecer maior risco à segurança dos trabalhadores, veículos e pedestres que circulam pelo local. Esses são alguns dos fatores que incentivaram o avanço tecnológico a desenvolver metodologias não destrutivas que apresentam menor impacto social e ambiental. Hoje em dia, já existe uma ampla variedade de técnicas não destrutivas presentes no mercado. Neste contexto, o presente trabalho busca apresentar os métodos de escavação para implantação de redes subterrâneas disponíveis e analisar, no estudo de caso deste trabalho, uma obra no bairro de Jacarepaguá, cidade do Rio de Janeiro, promovendo a aplicação de critérios de escolha para saber qual a solução construtiva mais adequada a ser empregada em um trecho considerado crítico, da implantação de uma nova rede coletora de esgoto.

**Palavras-chave:** Implantação de redes subterrâneas. Rede Coletora de Esgoto. Método destrutivo. Método não destrutivo.



## **ABSTRACT**

This research shows possible solutions for installation of sewage collection in large urban centers, where some traditional activities are restricted because of the high density population and structures. The use of the traditional destructive method can cause: traffic jams, noises, large amounts of trash and safety risks for the workers, vehicles and pedestrians. These are some of the factors that have encouraged technological advances to develop trenchless technologies with less social and environmental impact. Nowadays, a wide variety of trenchless techniques can already be found. In this context, the present work seeks to present the excavation methods for the implementation of available underground networks. As well as analysis of the real case of installation of a sewage collection network in Jacarepagua, Rio de Janeiro, a huge urban center in Brazil. Indeed, the application of criterias to choose the right technology to be considered as a solution for the case study.

**Key words:** Sewage Collection Network. Traditional techniques. Trenchless techniques.

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1.1: Panorama do Esgotamento Sanitário no Brasil em 2019.
- Figura 1.2: Comparativo entre indicadores de Esgoto em macrorregiões brasileiras.
- Figura 1.3: Comparativo entre indicadores de Esgoto de municípios brasileiros.
- Figura 2.1: Exemplo de sistema predial.
- Figura 2.2: Exemplo de Sistema de Esgotamento Sanitário por gravidade.
- Figura 2.3: Exemplos Sistema de esgotamento com estação elevatória.
- Figura 2.4: Exemplos de tubo de concreto.
- Figura 2.5: Exemplos de tubo de concreto utilizado em métodos não destrutivos.
- Figura 2.6: Exemplos de tubo de PVC PBA.
- Figura 2.7: Exemplos de armazenagem correta para tubos de PVC.
- Figura 2.8: Tubo de PEAD Liso e Corrugado para obras de saneamento.
- Figura 3.1: Exemplos de interferências ocorridas em escavações.
- Figura 3.2: Equipamentos tradicionais utilizados em escavações manuais.
- Figura 3.3: As valadoras em ação durante a execução de valas a céu aberto.
- Figura 3.4: Retroescavadeira sendo utilizada para abertura de vala.
- Figura 3.5: Escavadeiras hidráulicas.
- Figura 3.6: Drag-line.
- Figura 3.7: Aplicações dos MNDs.
- Figura 3.8: Utilização de GPRs.
- Figura 3.9: Exemplo de aplicação de GPR em uma obra realizada no estado de Santa Catarina.
- Figura 3.10: Implantação de rede subterrânea pelo método MND de perfuração por percussão.
- Figura 3.11: Detalhes da execução de uma perfuração por percussão.
- Figura 3.12: Escavação de poços de visita, perfuratriz a percussão e rede instalada.
- Figura 3.13: Esquema de uma perfuração por cravação de tubo com extremidade aberta e detalhes da execução de uma perfuração por cravação à percussão.
- Figura 3.14: Sequência executiva de tubo guia para instalação de nova rede sobre uma rodovia.
- Figura 3.15: Perfuração por cravação de tubo com extremidade aberta com o sistema de rosca sem fim.
- Figura 3.16: Redes de esgoto com tubos DN150 e DN200 instaladas com perfuração por cravação no Rio Grande do Norte.
- Figura 3.17: Equipamento para execução de HDD.
- Figura 3.18: Etapas de execução do HDD: (i) execução do furo piloto, (ii) alargador e tubulação final.
- Figura 3.19: Perfuratrizes utilizadas na execução do mini, midi e maxi HDD.
- Figura 3.20: Detalhe da tubulação, perfuração com auxílio do fluido estabilizador, verificação da profundidade através do rastreador e máquina de mini-HDD.
- Figura 3.21: Principais “shields” utilizados na escavação pelo “pipejacking”.
- Figura 3.22: Principais máquinas utilizadas para o processo de escavação pelo “pipejacking”.
- Figura 3.23: Aplicação do “pipejacking” em Obra de Saneamento no município do Rio de Janeiro.
- Figura 3.24: Processo instalação de tubulação a partir de escavação com micro-túnel.
- Figura 3.25: Cabeça de corte e segundo segmento de um MTBM.
- Figura 3.26: Micro-túnel e sistema de controle a laser durante a escavação.
- Figura 3.27: Interdição de via em obra executada pelo método destrutivo.

Figura 3.28: Intervenção em trecho realizado em MND.

Figura 3.29: Diferença da geração de resíduos entre o MD e o MND.

Figura 3.30: Comparação entre MD e MND com relação à segurança do trabalho.

Figura 4.1: Detalhe da localização da obra de implantação da rede de esgotamento sanitário no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro.

Figura 4.2: Detalhe das estações do BRT na região perto da implantação da rede coletora de esgotos e visão desde uma das pistas da Avenida Abelardo Bueno em um cruzamento muito importante na via.

Figura 4.3: Mapa de localização do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e estações de monitoramento da Lagoa de Marapendi.

Figura 4.4: (a) tubo de PVC de diâmetro 250 mm e (b) tubo de concreto armado, diâmetro de 400mm.

Figura 4.5: Traçado da rede de esgoto da obra estudada, no bairro de Jacarepaguá.

Figura 4.7: Execução de uma das sondagens a percussão na Rua Francisco de Paula, Jacarepaguá.

Figura 4.8: Localização das sondagens de reconhecimento.

Figura 4.9: Levantamento planialtimétrico em uma das calçadas da Avenida Embaixador Abelardo Bueno, bairro de Jacarepaguá.

Figura 4.10: Exemplo de Ordem de Serviço emitida para o trecho entre PV EX002 e PV019 executado na Av. Abelardo Bueno.

Figura 4.11: (a) Cones e placas de sinalização de trânsito de veículos e (b) barreira de bloqueio ao trânsito de pedestre aplicada na Av. Abelardo Bueno.

Figura 4.12: Locação de vala para assentamento de tubulação em trecho da Av. Abelardo Bueno esquina com rua Francisco de Paula.

Figura 4.13: Ilustração do método das cruzetas.

Figura 4.15: Montagem e funcionamento do sistema de ponteiras filtrantes em obra de esgotamento sanitário.

Figura 4.16: Seção-tipo e diretrizes para abertura de vala especificada em projeto.

Figura 4.17: Remoção de pavimentação asfáltica em trecho executado na Av. Abelardo Bueno.

Figura 4.18: Disposição dos equipamentos para escavação de vala.

Figura 4.19: Escavação de vala com retroescavadeira em intervenções na rua Francisco de Paula e Av. Abelardo Bueno.

Figura 4.20: Detalhe construtivo para escoramento apresentado no projeto executivo.

Figura 4.21: Escoramentos aplicados na obra de implantação de rede coletora de esgoto em Jacarepaguá.

Figura 4.22: Aplicação do método de cruzetamento para regularização do fundo da vala.

Figura 4.23: Detalhe construtivo para execução de embasamento.

Figura 4.24: Execução de embasamento para tubulação em PVC.

Figura 4.25: Assentamento de tubulação em PVC e concreto armado na execução de rede coletora de esgoto.

Figura 4.26: Detalhe construtivo para execução de Poço de Visita.

Figura 4.27: Execução de Poço de Visita em rede coletora na Av. Abelardo Bueno.

Figura 4.28: Reaterro de vala.

Figura 4.29: Compactação manual e mecânica em reaterro com pó de pedra.

Figura 4.30: Recomposição do pavimento asfáltico em trecho de rede executado em pista.

Figura 4.31: Recomposição de passeio em trechos executados em diferentes superfícies.

Figura 4.32: Recorte do trecho crítico apresentado no projeto executivo.

Figura 4.33: Detalhe de localização do trecho crítico.

Figura 4.34: Exemplos de interferências encontradas na Av. Emb. Abelardo Bueno.

Figura 4.35: Configuração da obra utilizando (a) método destrutivo (b) método não destrutivo (HDD).

Figura 4.36: Orçamento para execução de rede de esgoto sanitário pelo método de abertura de vala (DN 250 e 300).

Figura 4.37: Orçamento para execução de rede de esgoto sanitário pelo Método não Destrutivo - HDD (DE 280 e 355).

## LISTA DE TABELAS

- Tabela 2.1: Exemplos de tubos rígidos e flexíveis.
- Tabela 3.1: Proposta de “checklist” para início das obras.
- Tabela 3.2: Principais vantagens e desvantagens da cravação dinâmica de tubos.
- Tabela 3.3: Principais características das três categorias de HDD.
- Tabela 3.4: Relação recomendada entre diâmetros do tubo da rede e do alargamento da perfuração.
- Tabela 3.5: Taxas esperadas para as 3 categorias de HDD.
- Tabela 3.6: Vantagens versus desvantagens do HDD.
- Tabela 3.7: Vantagens e desvantagens do “pipejacking”.
- Tabela 3.8: Vantagens e desvantagens dos micro-túneis.
- Tabela 3.9: Sugestão de critério de escolha entre MD e MND.
- Tabela 3.10: Critério prático de escolha entre MNDs adaptado de Gomes de Moraes (2018).
- Tabela 3.11: Novo critério de escolha entre MNDs, adaptado de Gomes de Moraes (2018).
- Tabela 4.1: Resumo do projeto com ênfase na parte de execução das valas para assentamento da tubulação.
- Tabela 4.2: Resumo do projeto com ênfase na localização e características dos PVs.
- Tabela 4.3: Estudo comparativo entre larguras de vala recomendadas.
- Tabela 4.4: Aplicação do critério prático de escolha entre MD versus MND para a obra de esgotamento sanitário em Jacarepaguá.
- Tabela 4.5: Aplicação do critério prático de escolha entre MNDs para o trecho crítico da obra de esgotamento sanitário em Jacarepaguá.
- Tabela 4.6: Resumo dos custos diretos de construção para ambos os métodos construtivos.
- Tabela 4.7: Orçamento para execução da rede coletora de esgoto no trecho crítico pelo Método Destrutivo (DN 250 e 300).
- Tabela 4.8: Orçamento para execução da rede coletora de esgoto no trecho crítico pelo Método Destrutivo (DN 280 e 355).
- Tabela 4.9: Orçamento para execução do trecho crítico.
- Tabela 4.10: Custo Social para execução do trecho crítico.
- Tabela 4.11: Resultado dos custos para implantação da rede coletora no trecho crítico.

## **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1.1: Comparativo entre indicadores de Esgoto em macrorregiões brasileiras.  
Gráfico 1.2: Comparativo entre indicadores de Esgoto de municípios brasileiros.

## LISTA DE ABREVIATURAS

Bibliot. – Biblioteconomia

Inform. - Informática

Art. – Artigo

Av. – Avenida

Emb. – Embaixador

Est. – Estrada

Cel. - Coronel

P. – Página

## LISTA DE SIGLAS

ABRATT – Associação Brasileira de Tecnologia Não Destrutivas

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

AMN - Associação Mercosul de Normalização

ANA – Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico

CEDAE – Companhia Estadual de Águas e Esgotos

CLJ – Complexo Lagunar de Jacarepaguá

COPANT - Comissão Panamericana de Normas Técnicas

DE – Diâmetro Externo

DEFOFO – Diâmetro Equivalente ao Ferro Fundido

DN – Diâmetro Nominal

DNIT – Departamento Nacional de Infraestrutura de Transporte

EEE – Estação Elevatória de Esgoto

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

GPR – Ground Penetrating Radar

HDD - Horizontal Directional Drilling

IEC - International Electrotechnical Commission

ISO - International Organization for Standardization

ISTT – The International Society for Trenchless Technology

JE – Junta Elástica

JEI – Junta Elástica Integrada

MD - Método Destrutivo

MDR – Ministério do Desenvolvimento Regional

MND - Método Não Destrutivo

MNDI - Método Não Destrutivo de Implantação



MNDR - Método Não Destrutivo de Renovação

MTBM - microtunnel boring machine

NA – Nível d'Água

NBR – Norma Técnica Brasileira

NR – Norma Regulamentadora

PBA – Ponta Bolsa e Anel de borracha

PE – Polietileno

PEAD – Polietileno de Alta Densidade

PNSB – Plano Nacional de Saneamento Básico

PV – Poço de Visita

PVC – Policloreto de Polivinila

RCE – Rede Coletora de Esgoto

RRNN – Referência de Nivelamento

SNS – Secretaria Nacional de Saneamento

SNIS – Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento

TBM - Tunnel Boring Machine

TV – Televisão

VCA – Vala a Céu Aberto

## LISTA DE SÍMBOLOS

m - metros

mm - milímetros

km - quilômetros

cm – centímetro

hp – horse-power

L – litros

m – metros

m<sup>3</sup> - metro cúbico

mm – milímetros

MPa – megapascal

n<sup>o</sup> - número

km – quilômetros

kg – quilogramas

kPa - quilopascal

s - segundos

## SUMÁRIO

<b>1</b>	<b>INTRODUÇÃO .....</b>	<b>20</b>
1.1	CONSIDERAÇÕES INICIAIS	20
1.2	MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO	21
1.3	PREVISÕES FUTURAS: MARCO LEGAL DO SANEAMENTO	
2020	25	
1.4	OBJETIVOS	27
1.4.1	Objetivo Geral	27
1.4.2	Objetivos Específicos	27
1.5	ESTRUTURA DO TRABALHO	27
<b>2</b>	<b>DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES</b>	
	<b>SUBTERRÂNEAS.....</b>	<b>29</b>
2.1	INTRODUÇÃO	29
2.2	PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA REDE COLETORA DE	
ESGOTO (RCE)		30
2.3	MATERIAIS PARA TUBULAÇÃO DE RCE	32
2.3.1	Concreto	34
2.3.2	Policloreto de Polivinila (PVC)	36
2.3.3	Polietileno (PE)	37
2.4	NORMAS TÉCNICAS VIGENTES NO BRASIL	39
2.4.1	NBR 7968/1983: Diâmetros nominais em tubulações de saneamento	
nas áreas de rede de distribuição, adutoras, redes coletoras de esgoto e		
interceptores		39
2.4.2	NBR 9648/1986: Estudo de concepção de sistemas de esgoto	
sanitário		39
2.4.3	NBR 9649/1986: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário	40
2.4.4	NBR 9814/1987: Execução de rede coletora de esgoto sanitário	40
2.4.5	NBR 12.207/1992: Projeto de interceptores de esgoto sanitário	41
2.4.6	NBR 12.266/1992: Projeto e execução de valas para assentamento	
de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana		41
<b>3</b>	<b>TIPOS DE ESCAVAÇÃO .....</b>	<b>43</b>
3.1	INTRODUÇÃO	43
3.2	MÉTODO DESTRUTIVO	46
3.2.1	Generalidades	46
3.2.2	Equipamentos para escavação	49
3.3	MÉTODO NÃO DESTRUTIVO	51
3.3.1	Generalidades	51
3.3.2	Campanha de investigação geotécnica	53
3.3.3	Perfuração por percussão	55
3.3.4	Perfuração por cravação	58
3.3.5	Perfuração Horizontal Direcional (HDD)	61
3.3.6	Cravação de tubos “Pipejacking”	65
3.3.7	Micro-túneis	69
3.4	COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DESTRUTIVO E OS	
MÉTODOS NÃO-DESTRUTIVOS		71
		18

3.5	APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE ESCOLHA	75
3.5.1	Generalidades	75
3.5.2	Proposta de critério de escolha entre MD e MND	76
3.5.3	Proposta de critério para escolha do MND adequado	80
3.5.3.1	Metodologia do critério de Gomes de Moraes (2018)	81
<b>4</b>	<b>ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE REDE DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM JACAREPAGUÁ - RJ.....</b>	<b>85</b>
4.1	GENERALIDADES	85
4.2	CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA OBRA	85
4.3	MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO	88
4.4	ATIVIDADES PRELIMINARES	91
4.4.1	Licenciamento Municipal	91
4.4.2	Investigação do Subsolo	92
4.4.3	Levantamento Planialtimétrico	93
4.5	ETAPAS CONSTRUTIVAS	95
4.5.1	Montagem da sinalização preventiva.	95
4.5.2	Locação da Vala	96
4.5.3	Rebaixamento do lençol freático	97
4.5.4	Escavação	97
4.5.5	Estruturas de contenção	100
4.5.6	Regularização do fundo da vala	101
4.5.7	Embasamento do Tubulação	102
4.5.8	Assentamento da Rede	103
4.5.9	Execução dos Órgãos Acessórios	104
4.5.10	Reaterro de Vala e Compactação	105
4.5.11	Recomposição do Pavimento	106
4.6	PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO MÉTODO CONSTRUTIVO	109
4.6.1	Generalidades	109
4.6.2	Caracterização do trecho crítico	110
4.6.3	Aplicação do critério de escolha entre MD e MND	112
4.6.4	Aplicação de critério para escolha do MND mais adequado.	114
4.6.5	Comparação entre os custos do MD e MND	115
4.6.5.1	Dezotti (2008)	116
4.6.5.2	Rodrigues et al. (2017)	117
4.6.5.3	Trecho crítico (Estudo de Caso)	119
<b>5</b>	<b>ASPECTOS FINAIS RELEVANTES .....</b>	<b>123</b>
5.1	ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES	123
5.2	CONCLUSÕES	124
5.3	SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS	126

# 1 INTRODUÇÃO

## 1.1 CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Com o surgimento das civilizações algumas necessidades básicas tiveram que ser desenvolvidas para que não houvesse grandes impactos entre os indivíduos pertencentes àqueles grupos. Uma dessas necessidades foi a criação de um sistema que transportasse para um lugar mais adequado os resíduos gerados pelas pessoas.

Há quase 6000 anos atrás, foram encontrados registros arqueológicos de sistemas de galerias de esgoto localizadas em Nipur (Índia) e na Babilônia. Sendo que cerca de 5000 anos atrás já se tem notícia do emprego de manilhas cerâmicas para condução de esgotos (Azevedo Netto, 1984). Considerado o primeiro sistema de rede coletora de esgoto implantado no mundo, a Cloaca Máxima, construída durante o Império Romano, foi essencial para o controle da malária. (SOBRINHO; TSUTIYA, 2000, p.1).

A preocupação com o tratamento de esgotos surgiu primeiramente na Europa, mais precisamente na Inglaterra, depois de uma grande epidemia. O surto durante a terceira pandemia de cólera de 1854 em *Broad Street*, no bairro de *Soho*, em Londres, foi considerado gravíssimo e, por isso, ficou conhecido pelo estudo do médico *Jonh Snow* das causas e da hipótese de que a água contaminada com germes era a origem da doença, e não partículas no ar como se pensava até então. O estudo de *John Snow* teve um grande impacto na história da saúde pública e da geografia, considerado um dos primeiros estudos da ciência epidemiológica.

Segundo Sobrinho e Tsutiya (2000), a desconfiança da transmissão da doença sendo atrelada diretamente à contaminação da água que a população consumia através de dejetos e resíduos, influenciou imediatamente a saúde pública com o início da construção de melhores instalações sanitárias a partir de meados do século XIX. Decorrente disto, na Inglaterra foram estabelecidas as primeiras leis de saneamento e saúde pública.

Segundo Barros (2014), no Brasil, mas precisamente em 1561, Estácio de Sá foi o responsável pela ordem de execução do primeiro poço para abastecer a cidade do Rio de Janeiro. No período colonial, ações de saneamento eram feitas de forma individual, resumindo-se à drenagem de terrenos e instalação de chafarizes. Com relação ao abastecimento de água e a coleta e tratamento de esgoto, somente na década de 1940 se iniciou a comercialização dos serviços de saneamento.

Hoje em dia, as normas técnicas da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) vigentes para a construção de rede coletora de esgoto sanitário com tubos pré-fabricados, de seção circular e para projeto e execução de valas para assentamentos de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana são, respectivamente: NBR 9814/1987 - Execução de rede coletora de esgoto sanitário - Procedimento e NBR 12266/1992 - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana - Procedimento. Ambas as normas técnicas apresentam o método convencional para execução dessas redes, possuindo quase trinta anos e sem que tenha havido revisões nesse período. Assim, naturalmente, novas técnicas e equipamentos que tenham surgido após 1987/1992 não são contemplados em seus textos.

O método convencional para execução de redes coletoras de esgoto, disponível nas normas NBR 9814/1987 e NBR 12266/1992, consiste basicamente na abertura de valas por meios destrutivos envolvendo os processos de: escavação, assentamento das tubulações e seus componentes, reaterro e, muitas vezes, reposição do pavimento. Principalmente em grandes centros urbanos (e.g.: cidade do Rio de Janeiro), esse método requer grande intervenção, podendo causar muitos transtornos aos moradores, pedestres e usuários, ao trânsito de veículos nas adjacências da obra, entre outros problemas.

Com efeito, o desenvolvimento de novas tecnologias e agilidade na construção são objetos de interesse cada vez mais almejados pelos órgãos e empresas envolvidas neste tipo de obra. Uma das ferramentas recentes mais promissoras para uma melhoria deste método está na utilização, em alguns trechos, de métodos não destrutivos (MND) para implantação de redes de tubulações em geral.

## 1.2 MOTIVAÇÃO PARA O TRABALHO

O déficit habitacional brasileiro permanece exagerado. Milhões de brasileiros ainda vivem em condições subumanas, sem o mínimo de higiene e segurança. Essas são questões prioritárias e que precisam ser atacadas com firmeza e determinação, seja pela ótica social, seja pela ótica econômica. (SNIS, 2019)

O número de residências servidas por sistemas de coleta de esgoto ainda é um dos grandes problemas nacionais. O tratamento desses resíduos, na maioria das cidades brasileiras, é insignificante diante do que pode ser feito nessa área, vital para a saúde humana. Em uma visão mais ampla e politizada, saneamento básico vai além de uma

questão de saúde pública. As autoridades precisam compreender “meio ambiente” como todo o habitat humano, e não somente as florestas, os mares e os rios. (SNIS, 2019)

Criado em 1996, o Sistema Nacional de Informação sobre Saneamento (SNIS) é uma unidade vinculada à Secretaria Nacional de Saneamento (SNS) do Ministério do Desenvolvimento Regional (MDR). Com abrangência nacional, reúne informações de caráter institucional, administrativo, operacional, gerencial, econômico-financeiro, contábil e de qualidade da prestação de serviços de saneamento básico em áreas urbanas das quatro componentes do saneamento básico: abastecimento de água, esgotamento sanitário, manejo dos resíduos urbanos e drenagem e manejo das águas pluviais urbanas.

Anualmente, o SNIS coleta dados dos municípios e dos prestadores de serviços de saneamento e os estrutura e disponibiliza à sociedade por meio dos Diagnósticos (Água e Esgotos, Manejo de Resíduos Sólidos Urbanos e Drenagem e Manejo de Águas Pluviais Urbanas) e da aplicação web SNIS Série Histórica. A partir do ano de 2019, o SNIS passou a divulgar o Painel de Informações sobre Saneamento que traz um panorama do setor e permite que as principais informações e indicadores sejam acessados de forma interativa.

Os sistemas de esgotamento sanitário são caracterizados no SNIS a partir de informações como a população atendida por esse serviço em cada município, o número de ligações ativas na rede de coleta de esgotos, os volumes de esgoto coletado e tratado, além de informações sobre a condição econômico-financeira do prestador de serviços e investimentos realizados no setor de esgotamento sanitário no Brasil. A Figura 1.1 mostra o quadro que representa o panorama geral do esgotamento sanitário no Brasil em 2019, de acordo com o Painel de Informações sobre Esgoto disponibilizado no site do SNIS.

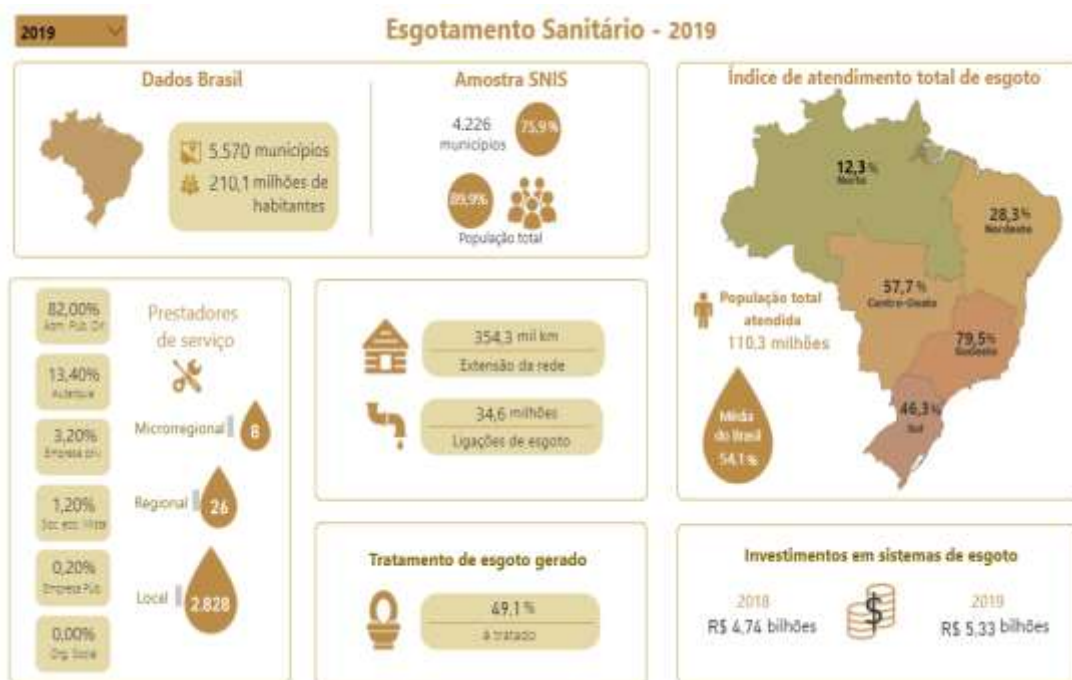


Figura 1.1 - Panorama do Esgotamento Sanitário no Brasil em 2019. Fonte: SNIS (2021).

Em outra opção disponibilizada no SNIS, o Painel de Indicadores é uma forma interativa de apresentar os principais indicadores de cada componente calculados para o Brasil, macrorregiões, estados e por municípios. O Painel de Indicadores de Esgoto apresenta os seguintes indicadores mais relevantes para entender o cenário a nível nacional, estadual e municipal: IN016 - Índice de tratamento de esgoto; IN024 - Índice de atendimento urbano de esgoto referido aos municípios atendidos com água; IN046 - Índice de esgoto tratado referido à água consumida; IN056 - Índice de atendimento total de esgoto referido aos municípios atendidos com água.

O gráfico 1.1 ilustra, a partir de informações retiradas do Painel de Indicadores, a comparação através de gráfico do atual cenário do esgotamento sanitário no município do Rio de Janeiro com o Estado do Rio, a região sudeste e o Brasil.



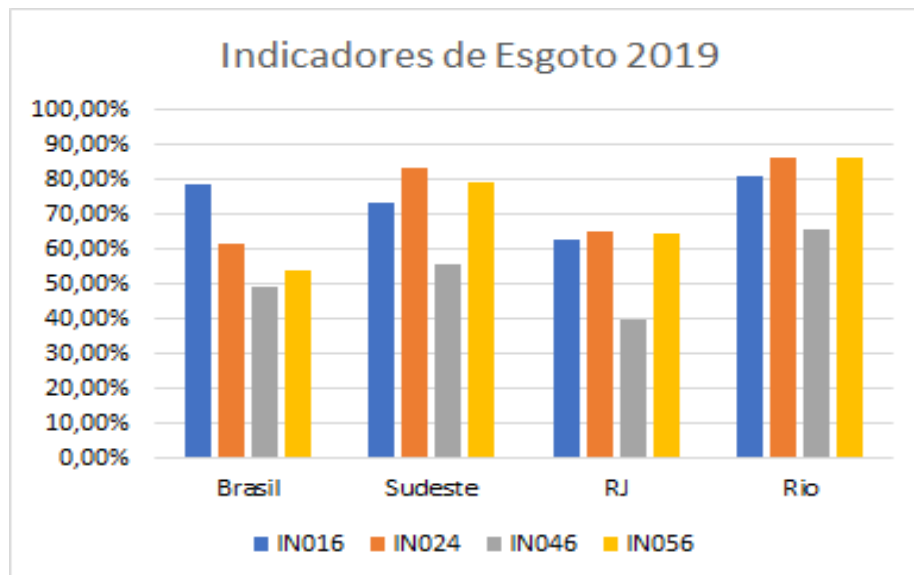


Gráfico 1.1 - Comparativo entre indicadores de Esgoto em macrorregiões brasileiras. Fonte: SNIS (2019)

Já o gráfico 1.2 apresenta o comparativo através dos indicadores selecionados entre os municípios do Rio de Janeiro/RJ, Balneário Camboriú/SC, Curitiba/PR e Santos/SP.

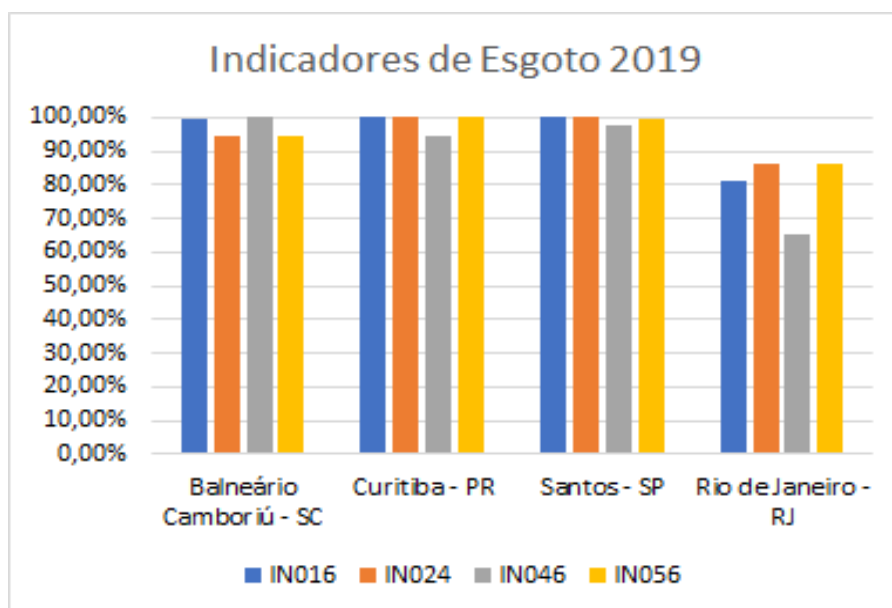


Gráfico 1.2 - Comparativo entre indicadores de Esgoto de municípios brasileiros. Fonte: SNIS (2019)

Com base na comparação entre o Rio de Janeiro e as macrorregiões como o Brasil, o Sudeste, e o Estado do Rio, onde grande parte dos municípios não têm o mesmo grau de desenvolvimento do Rio de Janeiro, induz-se a pensar que não existe melhorias a serem feitas em Esgotamento Sanitário no município. Entretanto, quando comparado com outros municípios que possuem um grau de desenvolvimento semelhante, fica evidente que existe um grande desafio para universalizar o a coleta e tratamento de esgoto em seu território.

De acordo com a experiência adquirida pelo autor durante o acompanhamento dos serviços executados na obra que será apresentada no estudo de caso deste trabalho, universalizar o esgoto no município do Rio, grande centro urbano, demandará melhorias no sistema construtivo tradicional visando menos transtornos para população. Logo, estas melhorias podem estar diretamente relacionadas com a expansão da utilização de novas tecnologias.

### 1.3 PREVISÕES FUTURAS: MARCO LEGAL DO SANEAMENTO 2020

Fortini e Miranda (2020) mencionam que “A Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020, como se verifica de seu preâmbulo, atualizou o marco legal do saneamento básico e alterou a Lei nº 9.984, de 17 de julho de 2000, para atribuir à Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA) competência para editar normas de referência sobre o serviço de saneamento, a Lei nº 10.768, de 19 de novembro de 2003, para alterar o nome e as atribuições do cargo de Especialista em Recursos Hídricos, a Lei nº 11.107, de 6 de abril de 2005, para vedar a prestação por contrato de programa dos serviços públicos de que trata o art. 175 da Constituição Federal, a Lei nº 11.445, de 5 de janeiro de 2007, para aprimorar as condições estruturais do saneamento básico no País, a Lei nº 12.305, de 2 de agosto de 2010, para tratar dos prazos para a disposição final ambientalmente adequada dos rejeitos, a Lei nº 13.089, de 12 de janeiro de 2015 (Estatuto da Metrópole), para estender seu âmbito de aplicação às microrregiões, e a Lei nº 13.529, de 4 de dezembro de 2017, para autorizar a União a participar de fundo com a finalidade exclusiva de financiar serviços técnicos especializados”..

Segundo Borja (2014), a intenção dessa inovação legislativa, que viria a ser conhecida como novo marco legal do saneamento, foi implementar medidas voltadas para a correção do déficit deste serviço público no Brasil, que denunciam o atraso na garantia de direitos básicos como acesso à água e ao destino seguro dos dejetos e resíduos sólidos.

Por conta disso é que o novo marco adotou uma missão principal: efetivar, a partir da fixação de metas e modernização do segmento, a universalização do saneamento básico no país (FORTINI; MIRANDA, 2020).

Já Patrus (2020) comenta, a título de comparação, que é possível dizer que o serviço público de saneamento básico foi equiparado aos serviços públicos de saúde e de educação, no que se refere a importância de investimento no setor pelos agentes políticos, pelo menos até o cumprimento do dever de universalização.

Um importante ponto a ser observado diz respeito a que tipos de contratos as novas leis iriam ter validade?

- Somente os futuros contratos?
- Ou com os contratos em curso também?

Assim, Fortini e Miranda (2020) mencionam que “Com relação a estes negócios contemporâneos à promulgação da norma, a disciplina se deu especialmente pelo art. 7º da Lei nº 14.026/2020 que, dentre outros dispositivos que alterou ou acrescentou à Lei nº 11.445/2007, trouxe o artigo 11-B: responsável por instituir a obrigação dos contratos em vigor, até 31 de março de 2022, viabilizarem a inclusão de metas de universalização que garantam o atendimento de 99% da população com água potável e de 90% da população com coleta e tratamento de esgotos até 31 de dezembro de 2033, assim como metas quantitativas de não intermitência do abastecimento, de redução de perdas e de melhoria dos processos de tratamento”.

Naturalmente, explicam Fortini e Miranda (2020) “o novo marco incluiu sanções para aqueles que deixarem de cumprir com tais objetivos. E, dentre os variados mecanismos previstos, um deles merece destaque: os “*distribution stops*”, inovação trazida pelo parágrafo 5º, do artigo 11 da Lei nº 11.445/2007, com redação dada pela Lei nº 14.026/2020, que determina a vedação da distribuição de lucros e dividendos, do contrato em execução, pelo prestador de serviços que estiver descumprindo as metas e cronogramas estabelecidos no contrato específico da prestação de serviço público de saneamento básico”.

Fortini e Miranda (2020) acrescentam que “ Desse modo, em atenção aos limites de proteção ao direito intertemporal (LEVADA, 2009) e à interpretação vetorizada no princípio da dignidade da pessoa humana (BARROSO, 2010), surge como tema problema discutir se as sanções impostas pelo novo marco legal aos contratos em curso quando de sua promulgação, encontram, dentro do sistema jurídico-constitucional pátrio, respaldo legal para sua aplicação”.

A proposta de Fortini e Miranda (2020) é que, como hipótese, deveria ser verificado se a análise finalística e a ponderação de princípios, em especial entre direito adquirido e dignidade da pessoa humana, conferem o respaldo necessário à plena aplicação do novo marco legal do saneamento.

Fortini e Miranda (2020) mostram que o problema da aplicação do novo marco do saneamento deveria ser dividido em três partes:

- Estudo dos dados do déficit do saneamento;
- Sanções trazidas pela nova legislação;
- Amplo debate sobre os limites de proteção ao direito adquirido e da necessidade de aplicação imediata do novo regramento.

Finalizando este item, recomenda-se ao leitor(a) interessado(a) um aprofundamento no assunto, sendo a referência de Fortini e Miranda (2020) fortemente indicada para esse fim.

## 1.4 OBJETIVOS

### 1.4.1 Objetivo Geral

Apresentar um panorama geral das normas brasileiras vigentes com as diretrizes gerais para a execução de redes subterrâneas, que possuem um maior direcionamento para o método de escavação destrutivo, utilizado no assentamento/instalação de suas respectivas tubulações.

### 1.4.2 Objetivos Específicos

Apresentar os possíveis métodos de escavação para implantação de tubulações: destrutivo e não destrutivo; E a partir do estudo de caso de uma obra de esgotamento sanitário realizada em um grande centro urbano no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro, verificar a viabilidade, para um trecho específico desta mesma obra, da utilização de novas tecnologias.

Eleger, através de critérios práticos e uma breve comparação de custos, qual o método mais adequado a ser empregado no local de intervenção.

## 1.5 ESTRUTURA DO TRABALHO

A estrutura principal do trabalho é composta por cinco capítulos: Introdução, Diretrizes para implantação de redes subterrâneas; Tipos de escavação; Estudo de caso: implantação de rede de esgotamento sanitário em Jacarepaguá - RJ; Aspectos finais relevantes.

O primeiro capítulo inicia-se situando o leitor sobre a importância do sistema de esgotamento sanitário dentro da sociedade mencionando um breve histórico no mundo e no Brasil. Questiona-se a falta de revisões recentes nas normas brasileiras vigentes para execução de redes coletoras de esgoto pelo método convencional, apontando a necessidade de desenvolvimento de novas tecnologias e agilidade na construção. Introduz-se, assim, os métodos não destrutivos (MND) para implantação de redes de tubulações em geral. Também é apresentado um resumo do recente marco legal do saneamento. Por fim são explicitados os objetivos gerais e específicos do trabalho.

O segundo capítulo traz as diretrizes para a implantação de redes subterrâneas de uma forma geral. O foco é direcionado para as redes coletoras de esgoto, mostrando seu princípio de funcionamento básico, materiais empregados e um apanhado geral das normas brasileiras vigentes.

O terceiro capítulo apresenta os possíveis tipos de escavação para implantação da rede de esgotamento sanitário. Nesse contexto, são apresentados os métodos destrutivos e os métodos não destrutivos.

O quarto capítulo introduz um estudo de caso da implantação de uma rede coletora de esgoto no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro. A obra teve início em 2019 e recentemente foi paralisada devido a questões associadas ao novo marco legal do saneamento. O estudo de caso apresenta o projeto executivo como foi concebido, além de propor algumas alterações em trechos específicos associados a identificação de possíveis problemas na execução das metodologias originais. Nestes trechos são propostas novas soluções relacionadas aos métodos não-destrutivos. Traz uma comparação de custos envolvendo o projeto original e o projeto com as alterações estudadas anteriormente.

O quinto e último capítulo traz como aspectos relevantes as conclusões e considerações finais, além de sugestões para futuros trabalhos.

Ao final, apresentam-se as referências bibliográficas que serviram de apoio para este trabalho, além dos anexos com os projetos executivos e as informações referentes ao estudo de caso.

## 2 DIRETRIZES PARA IMPLANTAÇÃO DE REDES SUBTERRÂNEAS

### 2.1 INTRODUÇÃO

Conforme NBR 9648, o esgoto sanitário pode ser definido como sendo o despejo líquido constituído de (ABNT, 1986a):

- Esgoto doméstico: despejo líquido resultante do uso da água para higiene e necessidades fisiológicas humanas;
- Esgoto industrial: despejo líquido resultante dos processos industriais, respeitando os padrões de lançamento estabelecidos;
- Água de infiltração: toda água proveniente do subsolo, indesejável ao sistema separador e que penetra nas canalizações;
- Contribuição pluvial parasitária: parcela do deflúvio superficial inevitavelmente absorvida pela rede de esgoto sanitário.

O esgoto não tratado contém muitos transmissores de doenças tais como: resíduos tóxicos, nutrientes, bactérias, vírus, protozoários e fungos. Por isso o sistema de coleta e tratamento de esgotos é tão importante para a saúde pública, pois além de evitar a contaminação e transmissão de doenças, preserva o meio ambiente (SABESP, 2014).

Por ser um líquido malcheiroso, com alta carga poluidora e que pode implicar em problemas graves de saúde da população quando expostos, seu escoamento a céu aberto deve ser evitado. Esta é uma das razões que se procura confinar o esgoto e fazê-lo escoar em canalizações fechadas e enterradas desde o ponto de coleta até o local de tratamento (SAE, 2014).

Os sistemas de esgotamento sanitário podem ser de três maneiras (SOBRINHO; TSUTYA, 2000):

- Sistema de esgotamento unitário ou combinado: no qual as águas residuárias, águas de infiltração e águas pluviais são transportadas por um sistema único de captação;
- Sistema de esgotamento separador parcial: no qual uma parcela das águas pluviais provenientes de telhados e pátios é transportada por um sistema único de captação juntamente com águas residuárias e águas de infiltração de subsolo;

- Sistema de esgoto separador absoluto: águas pluviais são coletadas e transportadas por uma rede de drenagem independente do transporte das águas residuais e águas de infiltração.

As desvantagens apresentadas pelo sistema unitário é que o caminhamento misto das águas residuais e pluviais acaba por prejudicar o tratamento (por variar o grau de diluição) e onerar as instalações (por necessitar de grandes construções). Já no sistema separador absoluto a maior desvantagem é necessitar de um eficiente controle para evitar instalações irregulares de águas residuais nas redes de drenagem e vice e versa (SOBRINHO; TSUTYA, 2000).

No Brasil adota-se o sistema de esgoto sanitário separador absoluto. Neste sistema o conjunto de condutores, instalações e equipamentos destinados à coleta, transporte, acondicionamento e encaminhamento do esgoto sanitário é realizado de modo contínuo e higienicamente seguro contendo uma disposição final conveniente (ABNT, 1986b).

O conjunto de infraestruturas com o objetivo de coletar e tratar os resíduos gerados nas residências, até que os limites seguros para seu lançamento em um corpo receptor sejam alcançados, e com isso evitar a proliferação de doenças e a poluição do meio ambiente após seu despejo, é compreendido como sistema de esgotamento sanitário (SES).

## 2.2 PRINCÍPIO DE FUNCIONAMENTO DA REDE COLETORA DE ESGOTO (RCE)

A Rede Coletora de Esgoto (RCE) é o conjunto de canalizações destinadas a receber e conduzir os esgotos dos edifícios e residências. O sistema predial se liga à rede coletora secundária, que segue até encontrar um emissário e posteriormente uma estação de tratamento de esgoto (SOBRINHO; TSUTYA, 2000). A Figura 2.1, além dos dispositivos de drenagem e da rede de esgoto, ilustra as instalações prediais.



Figura 2.1 Instalações prediais e infraestrutura urbana. Fonte: Portal da TV online (2021).

Conforme a NBR 9648, a rede coletora de esgoto, a qual está demonstrada na figura 2.2, é um conjunto de ligações prediais, coletores de esgoto, e seus órgãos acessórios destinados a coletar e remover os resíduos gerados pelas edificações. Os principais coletores que estão descritos pela norma são (ABNT, 1986a):

- Ligação predial: Trecho do coletor predial compreendido entre o limite do terreno e o coletor de esgoto.
- Coletor de esgoto: Tubulação da rede coletora que recebe contribuição de esgoto dos coletores prediais em qualquer ponto ao longo de seu comprimento.
- Coletor principal: Coletor de esgoto de maior extensão dentro de uma mesma bacia.
- Coletor tronco: Tubulação da rede coletora que recebe apenas contribuição de esgoto de outros coletores.
- Emissário: Tubulação que recebe esgoto exclusivamente na extremidade de montante.

A função da rede coletora, segundo Freire (2014), consiste em coletar e transportar o esgoto de forma segura e com rapidez, de modo que evite o contato com o ambiente externo e ao mesmo tempo impeça a septicidade e minimize a formação de gases.

Conforme a figura 2.2, o esgoto gerado nas edificações é coletado por tubulações que se juntam formando uma rede de tubulações até a união destas com o coletor tronco,



que se liga à tubulação denominada de interceptor, responsável pelo encaminhamento dos dejetos até a estação de tratamento de esgoto. A água resultante da passagem pela estação de tratamento, se dentro dos padrões estabelecidos, pode ser despejada em um corpo hídrico sem trazer prejuízos ao meio ambiente.



Figura 2.2 - Exemplo de Sistema de Esgotamento Sanitário por gravidade. Fonte: SABESP (2014)

Geralmente há a necessidade, segundo a NBR 12.207, de se instalar estações elevatórias de esgoto (EEE) com a finalidade de se transportar o esgoto em trechos que ocorrem desníveis entre a rede coletora local e os coletores troncos. (ABNT, 1992b) De uma maneira ampla, a EEE é um conjunto motor-bomba, dentro de uma edificação subterrânea, que promove o recalque das vazões dos esgotos coletados de uma área baixa. A figura 2.3 ilustra o sistema de esgotamento sanitário com a presença de estação elevatória.



Figura 2.3 - Exemplo de Sistema de esgotamento com estação elevatória. Fonte: CAGECE (2000)

### 2.3 MATERIAIS PARA TUBULAÇÃO DE RCE

A terminologia comum para distinguir e caracterizar as propriedades do tubo rígido do flexível é a resistência e a rigidez do material. Enquanto a resistência é a

capacidade que o material possui de resistir a determinado carregamento, a rigidez é a capacidade de resistir às deformações. Logo, o oposto de um material rígido é um material flexível. Os tubos se dividem nessas duas categorias: rígidos e flexíveis. Os tubos rígidos sustentam os carregamentos por meio de resistência à flexão longitudinal e circunferencial, e em condições de carregamento máximo, não deformam suficientemente para produzir uma tensão passiva do solo ao redor dele mesmo. Já os tubos flexíveis são capazes de se deformar sem se danificar, até alcançar a tensão passiva do solo ao seu redor, mobilizando o mesmo a promover um suporte adicional. (NAJAFI, 2010) A tabela 2.1 apresenta os exemplos de tubos rígidos e flexíveis.

Tabela 2.1 – Exemplos de tubos rígidos e flexíveis.

RÍGIDO	FLEXÍVEL
Tubo de concreto	Tubo de aço
Tubo de concreto armado	Tubo de ferro dúctil (FD)
	Tubo de policloreto de polivinila (PVC)
	Tubo de polietileno (PE)
Tubo cerâmico vitrificado ou não	Tubo de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV)

Fonte: adaptado de NAJAFI (2010)

Na hora da escolha do material a ser aplicado o custo é um fator importante a ser considerado, mas existem outros fatores decisivos que também devem ser observados (NAJAFI, 2010):

- Tipo de fluido a ser transportado;
- Condições e métodos usados na construção;
- Análise da expectativa de vida e custo relativo à vida útil;
- Característica do fluxo quanto à corrosividade e abrasão;
- Facilidade de manuseio e instalação dos tubos;
- Propriedade física e química do tubo;
- Disponibilidade de diâmetro, comprimento e tipos de conexões;
- Verificar a tensão de construção e a tensão de operação do tubo;
- Localização e ambiente ao redor do tubo (acidez do solo, localizado na costa marítima, localizado em terra etc.);
- Tipo de escavação e suporte (subsolo, acima do solo, sob a água etc.);
- Propriedades hidráulicas do tubo.

Apesar de existirem vários tipos de tubos, foram estudados apenas aqueles mais utilizados na implantação de RCE no Brasil, são eles: Concreto, Policloreto de Polivinila (PVC) e o Polietileno (PE).

### 2.3.1 Concreto

Para a fabricação dos tubos de concreto várias especificações devem ser seguidas, para que o tubo final possua a resistência, a absorção e a permeabilidade exigida em norma. Em obras de esgoto é necessária que a relação entre água e cimento seja no máximo de 0,45 L/kg, a utilização de cimento resistente a sulfatos, a dimensão do agregado no máximo de 1/3 da parede do tubo, o cobrimento mínimo da armadura interna de 20 mm e externa de 15 mm para tubos com diâmetro até 600 mm e cobrimento mínimo da armadura interna de 30 mm e externa de 20 mm para diâmetros maiores (CHAMA NETO, 2004).

No Brasil, os tubos de concreto ou manilhas podem ser fabricados, conforme NBR 8890, em concreto simples, armado ou com reforço de fibra de aço. Possuem juntas elásticas do tipo ponta e bolsa, sendo que podem ser fabricados até 2,50 m de comprimento. Enquanto no concreto simples o diâmetro varia entre DN 200, 250, 300, 350, 400, 500 e 600 mm, no concreto armado ou com reforço em fibra de aço varia entre DN 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 1.100, 1.200, 1.500, 1.750 e 2.000 mm. (ABNT, 2007a) A figura 2.4a mostra um exemplo de tubo de concreto e figura 2.4b a forma correta de armazenagem.



Figura 2.4 - Exemplos de tubo de concreto. Fonte: <https://gilva.com/producto17-tubos%20boca%20campana.html> (acessado em 01/07/2021).

Alguns critérios são analisados para a escolha do tipo da tubulação de concreto, entre eles estão: disponibilidade de diâmetro, condição de escoamento, resistência a cargas internas e externas, resistência à abrasão, resistência às substâncias agressivas, impermeabilidade do sistema e utilização de juntas adequadas (REVISTA

INFRAESTRUTURA, 2012). Para um melhor desempenho, é recomendado que os tubos de concreto atendam às seguintes condições (SOBRINHO; TSUTYA, 2000):

- Cimento pozolânico, cimento com escória de alto forno e cimento resistente ao ácido sulfúrico;
- Consumo mínimo de cimento de 350 kg/m<sup>3</sup>;
- Fator máximo de água/cimento de 0,50 L/kg;
- Recobrimento mínimo do meio agressivo de 4 cm;
- Resistência mínima à compressão de 25 MPa.

Os tubos de concreto armado utilizados para obras de cravação por MND (*concreto jacking*) devem possuir uma relação água/cimento máxima de 0,45 L/kg e o consumo mínimo de cimento de 350 kg/m<sup>3</sup> no concreto. A armadura pode ser simples ou dupla. A moldagem dos tubos deve ser feita de maneira que o produto final possua resistência mecânica e estanqueidade.

As juntas devem ser flexíveis e projetadas para incorporar um anel elastomérico. Os colares são fabricados em chapa de aço-carbono revestido com pintura ou aço-carbono revestido com zinco por imersão a quente ou aço inoxidável. Possuem um anel distribuidor de tensão feito de compensado de madeira com a inserção de um anel de borracha inserido entre dois tubos contínuos, com a função de distribuir as tensões de cravação e vedação adicional ao sistema. Segundo a NBR 12.319, os tubos podem ser fabricados nas seguintes dimensões: DN 300, 400, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 1.100, 1.200, 1.500, 1.800 e 2.000 mm (ABNT, 2007b). A figura 2.5 mostra um tipo de tubo de concreto utilizado em obras de cravação por MND.



Figura 2.5 - Exemplos de tubo de concreto utilizado em métodos não destrutivos. Fonte: <http://scgcanada.ca/pipe-jacking/> (acessado em 01/07/2021).

### 2.3.2 Policloreto de Polivinila (PVC)

O tubo de Policloreto de Polivinila (PVC) foi descoberto por acidente no século XIX por cientistas alemães, que observavam a criação do novo gás cloreto de vinila ( $C_2H_3Cl$ ) que quando exposto à luz solar reagia resultando em um acúmulo de material branco sólido. Pelos registros, sabe-se que a tubulação mais antiga produzida e instalada de PVC foi na Alemanha em meados da 2ª Guerra Mundial (NAJAFI, 2010).

São amplamente utilizados nos sistemas de rede coletora de esgoto por apresentarem alta resistência à corrosão, maleabilidade e estanqueidade. Em alguns casos, os tubos de PVC podem ser feitos de material reciclado tornando a indústria de construção civil mais sustentável.

O tubo de PVC pode ser fabricado a partir de dois processos distintos, ou por injeção - processo descontínuo de fabricação de peças de conexão, ou por extrusão - processo contínuo de fabricação dos tubos. Os tubos de PVC apresentam algumas vantagens de serem constituídos de um material liso, leve, flexível, absolutamente estanque e resistente quimicamente. Por não apresentarem muito peso são manuseados facilmente. Essas são algumas características que influenciam positivamente a sua aplicação pela facilidade de encontro de mão de obra e grande velocidade de assentamento. Duas desvantagens que algumas peças apresentam são a falta de rigidez quando expostas à luz solar e ocorrência de flutuação da tubulação quando aplicada em regiões com alto nível de lençol freático. (BEVILACQUA, 2006).

Para as ligações prediais de esgoto, utiliza-se, normalmente, tubo coletor de PVC do tipo ponta bolsa com anel de borracha (PBA) com junta elástica integrada (JEI). Para as redes coletoras, normalmente utiliza-se o tubo coletor de PVC PBA com junta elástica, mas diferentemente do tubo das ligações prediais, é corrugado e a junta elástica não é integrada. Na Figura 2.6a apresenta um tubo de PVC JEI liso, e em 2.6b um tubo de PVC JE corrugado.



Figura 2.6 - Exemplos de tubo de PVC PBA. Fonte: Catálogo Técnico TIGRE (2014).



Os tubos de PVC no Brasil, segundo a NBR 7362, possuem as dimensões DN 100, 150, 200, 250, 300, 350 e 400 mm, comprimento de 6,0 metros, sendo usado com junta elástica tipo ponta e bolsa (ABNT, 2005).

O local de estocagem deve possuir: declividade suficiente para escoamento da água pluvial, superfície firme para instalação de berços de madeira para acomodação dos tubos, isenção de agentes químicos que possam causar prejuízos, empilhamento alternado entre as pontas e as bolsas dos tubos e separação por meio de ripas das camadas agrupadas. É recomendável a separação máxima entre os berços de 1,50 m, sendo a altura máxima 1,50 m. O ideal é armazenar em lugar coberto para evitar o desgaste devido à incidência solar (MOS, 2012) e deformação do tubo que pode trazer problemas futuros ao bom funcionamento da rede e redução da sua vida útil.



Figura 2.7 - Exemplos de armazenagem correta para tubos de PVC. Fonte: <http://www.gxsby.com/gshj/26.html> (acessado em 02/07/2021).

### 2.3.3 Polietileno (PE)

Apesar de ser descoberto por um cientista alemão chamado *Hans Von Pechman* em 1898, não foi comercializado na época. Quando redescoberto no Reino Unido em 1933 pela Companhia Química Imperial começou a ser comercializado como isolante de cabo telefônico em 1939. Apenas em 1970 foi desenvolvido o tubo de polietileno de alta densidade (PEAD) o qual possui um significativo uso nos sistemas de esgoto municipais (NAJAFI, 2010).

Por não usar plastificantes e outros aditivos, é considerado o polímero sintético menos perigoso em relação ao seu impacto ambiental durante a produção, uso e descarte (REVISTA TÉCHNE, 2004).

Algumas vantagens apresentadas pelos tubos de polietileno são: resistência a choques mecânicos, ações térmicas e de intemperismo, flexibilidade, baixa rugosidade, imunidade à corrosão e agentes químicos, alta capacidade de reciclagem. Essas

características acabam influenciando positivamente a sua aplicação em obras de saneamento por interferir na facilidade e na rapidez de manuseio e instalação das tubulações (BEVILACQUA, 2006).

Através da polimerização do etileno com catalisadores obtém-se o termoplástico polietileno, sendo que quando a reação ocorre à baixa pressão, obtém-se o polietileno de alta densidade. Para ocorrer a junção entre dois tipos de tubo, podem ser utilizados os seguintes métodos: solda topo, solda por extrusão, solda soquete, solda de sela e junta mecânica (junta flangeada) (BEVILACQUA, 2006).

Tubo amplamente utilizado em obras de saneamento por ser considerado um material quimicamente inerte, atóxico, insípido e inodoro. Podem ser fabricadas com parede lisas ou corrugadas, sendo a primeira utilizada em tubulação em linha reta (inflexíveis) e a segunda quando ocorre curvatura ou em solos desnivelados, pois intensificam a resistência mecânica do tubo (REVISTA CONSTRUÇÃO, 2012).



Figura 2.8 - Tubo de PEAD Liso e Corrugado para obras de saneamento. Fonte: <http://www.tuotonggy.com/UploadFile/6/pe630%E6%8E%92%E6%B0%B4%E7%AE%A1.jpg> e <https://img.iapply.cn/6ce4ad4a8ced0444b167db5b5d5ec90e> (acessado em 11/07/2021).

Os tubos PEAD apresentam vida útil mínima de 50 anos e são disponibilizados em diâmetros que variam de 20 mm até 1.600 mm e pressões nominais variando entre 0,4 MPa a 2,0 MPa (REVISTA INFRAESTRUTURA, 2013).

Segundo a NBR 15.561, os tubos de polietileno podem ser fornecidos em barras de 6, 12 ou 18 m de comprimento ou em bobinas com comprimento de 50 m ou múltiplos deste. Os diâmetros externos (DE) normalizado no Brasil são: DE 160, 180, 200, 225, 250, 280, 315, 355, 400, 450, 500, 560, 630, 710, 800, 900, 1.000, 1.200, 1.400 e 1.600 mm (ABNT, 2007c).

Peças especiais podem ser fabricadas para ocorrer à união entre diferentes materiais, como por exemplo: luva de correr, transição PEAD x PVC, transição PEAD x

DEFOFO, transição PEAD x aço, luva bipartida DEFOFO e torniquete (BEVILACQUA, 2006).

Quando tubos de PEAD são aplicados em redes de esgoto através de MND, para se evitar a ocorrência de flexão é importante observar: o valor da pressão externa no subsolo, a temperatura do esgoto transportado, os parâmetros geométricos e a propriedade do material do tubo (KULICZKOWSKA; GIERCZAK, 2013).

## 2.4 NORMAS TÉCNICAS VIGENTES NO BRASIL

A ABNT é o órgão responsável por normatizar tecnicamente os processos executivos no Brasil. Ela representa oficialmente as seguintes entidades internacionais: ISO (*International Organization for Standardization*), IEC (*International Electrotechnical Commission*); e das entidades de normalização regional COPANT (Comissão Panamericana de Normas Técnicas) e a AMN (Associação Mercosul de Normalização).

Por meio das normas técnicas apresentadas a seguir, a entidade busca padronizar, estabelecer condições necessárias e definir requisitos mínimos para elaboração de projetos e execução de RCE.

### 2.4.1 NBR 7968/1983: Diâmetros nominais em tubulações de saneamento nas áreas de rede de distribuição, adutoras, redes coletoras de esgoto e interceptores

Esta norma possui o objetivo de padronizar os diâmetros nominais a serem utilizados nos projetos e na fabricação de tubos, conexões, aparelhos e acessórios. Define Diâmetro Nominal (DN) como sendo o diâmetro interno da tubulação e deve ser expresso em milímetros (mm). Para coleta e afastamento de águas residuais são utilizados os seguintes diâmetros nominais: 100, (125), 150, 200, 250, 300, (375), 400, 450, 500, 600, 700, 800, 900, 1.000, 1.200, 1.300, 1.400 e 1.500. Os diâmetros que estão entre parênteses devem ser evitados para futura eliminação.

### 2.4.2 NBR 9648/1986: Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário

Nesta norma se fixam as condições necessárias e os requisitos mínimos para concepção de sistemas de esgotamento sanitário do tipo separador absoluto. Segundo a norma, para melhor eficácia do estudo, deve-se levar em consideração as características físicas da região, a densidade demográfica e a sua distribuição espacial estimando um crescimento populacional até a saturação urbanística, confirmar a existência de mão de obra local, verificar a existência de cadastro de tubulações existentes, consultar o plano diretor e a legislação vigente.



#### 2.4.3 NBR 9649/1986: Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário

Esta norma possui o objetivo de fixar as condições necessárias para elaboração de projeto hidrossanitário de redes coletoras de esgoto com funcionamento por gravidade. Nela, é possível consultar as nomenclaturas e definições dos termos mais utilizados nos projetos de esgotamento sanitário. Para melhor eficácia do projeto, a norma define, dentre outros, os seguintes requisitos:

- a) Vazão mínima a ser adotada em qualquer trecho do projeto é 1,50 L/s;
- b) Menor diâmetro do tubo a ser empregado é DN 150 mm;
- c) Declividade máxima admissível é na qual a velocidade final é no máximo de 5 m/s;
- d) Escoamento máximo admissível deve ser igual ou inferior a 75% do diâmetro nominal do coletor;
- e) Deve-se construir poços de visita na rede em pontos de mudança de direção, de declividade, de diâmetro e de material;
- f) Deve-se colocar tubo de queda quando o coletor afluyente apresentar degrau maior ou igual a 0,60 m.

#### 2.4.4 NBR 9814/1987: Execução de rede coletora de esgoto sanitário

Esta norma possui o objetivo de fixar as condições necessárias para execução de rede coletora de esgoto sanitário com tubos pré-fabricados de seção circular. Nela consta as nomenclaturas e definições dos principais termos utilizados, além de anexos com figuras que detalham a execução de redes coletoras de esgoto sanitário. A norma orienta que a execução da obra deve seguir rigorosamente os projetos aprovados, os serviços devem ser acompanhados e fiscalizados por profissionais habilitados e a obra deve estar de acordo com os requisitos de segurança, higiene e medicina do trabalho exigidos pela legislação. Para melhor eficácia de execução da obra a norma recomenda que:

- a) Localização: reconhecer o local de implantação da obra e adensar a rede de referência de nivelamento (RRNN);
- b) Sinalização: proteger e sinalizar bem a obra para evitar a ocorrência de acidentes;
- c) Pavimentação: a remoção do pavimento deve ser executada na largura da vala acrescida de 0,20 m em cada lado da vala, se a rede for localizada no leito da rua e apenas 0,05 m de cada lado, se a rede for localizada no passeio;
- d) Escavação: executar de jusante à montante seguindo a linha de eixo, sendo a dimensão mínima de 0,60 m até 2,00 m de profundidade, e adicionar 0,10 m de largura para cada metro de profundidade excedido do mínimo;
- e) Escoramento: utilizar a critério da construtora variável pelo tipo do solo e profundidade da vala;
- f) Esgotamento: drenar o terreno caso seja atingido o nível do lençol freático;

- g) Assentamento: executar um berço de apoio para a instalação do tubo dependendo do tipo de solo e do material a ser instalado;
- h) Envolvimento: utilizar material de boa qualidade no envolvimento lateral do tubo, sendo realizado em camadas de no máximo 0,10 m de espessura e com compactação manual;
- i) Juntas: depende do tipo de material a ser aplicado;
- j) Reenchimento: compactação manual da primeira camada de 0,30 m acima do coletor, o restante da vala até atingir o nível da rua/calçada, segue com compactação mecânica com espessura de camada no máximo de 0,20 m;
- k) Poço de visita: executar ou instalar o conjunto contendo laje de fundo, câmara de trabalho, peça de transição, câmara de acesso e tampão;
- l) Ligações prediais: executar simultaneamente com a rede coletora, declividade mínima de 2% e diâmetro DN 100 mm;
- m) Ensaio de estanqueidade: realizar entre dois Poços de Visitas (PV) consecutivos antes do reaterro da vala, para verificar a estanqueidade da tubulação com teste hidráulico ou de fumaça;
- n) Cadastro: desenhar em planta e em perfil a rede implantada incluindo as derivações utilizadas.

#### 2.4.5 NBR 12.207/1992: Projeto de interceptores de esgoto sanitário

Esta Norma fixa as condições exigíveis para a elaboração de projeto hidráulico sanitário de interceptores de esgoto sanitário, observada a regulamentação especificada das entidades responsáveis pelo planejamento e desenvolvimento do sistema de esgoto sanitário.

#### 2.4.6 NBR 12.266/1992: Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana

Esta Norma fixa as condições exigíveis para projeto e execução de valas para assentamento de tubulações de água, esgoto ou drenagem urbana. Estabelece também critérios para posicionamento da vala na via pública e dimensionamento do escoramento.

O projeto deve dar as diretrizes para a execução da obra indicando: dimensionamento da vala, tipos de métodos de escavação, processos de esgotamento a ser adotado, preparo do fundo da vala mais adequado, especificação do material de reaterro e o tipo de acabamento a ser implantado.

Para a execução de valas a norma indica itens importantes a serem seguidos para se evitar problemas, entre eles estão: reconstituição da locação e (re)nivelamento da obra seguindo o projeto, sinalização de acordo com as normas, como proceder para: remoção do pavimento, inicialização da escavação, adoção do escoramento indicado em projeto,

realização do esgotamento se necessário, reaterro e compactação até 0,50 m acima da geratriz superior de forma manual, remoção do escoramento e reposição do pavimento seguindo as exigências municipais e limpeza geral da obra.

### 3 TIPOS DE ESCAVAÇÃO

#### 3.1 INTRODUÇÃO

Uma das etapas mais importantes e de maior impacto financeiro e social nas obras de esgotamento sanitário é a escavação. Essa etapa compreende a remoção do solo para implantação/substituição/reabilitação da rede subterrânea. Ressalta-se que este trabalho/capítulo só aborda a parte referente a escavação para a implantação de novas redes coletoras de esgoto.

A NBR 12.266 trata da execução de valas apresentando as condições ideais para locação: (ABNT, 1992)

- As redes de água e esgoto que ficam situadas nas vias devem ficar distantes no mínimo 1,00 m, sendo necessária a colocação da rede de água no mínimo de 0,20 m acima da rede coletora de esgoto;
- Quando executadas no passeio a distância mínima entre a rede de água e esgoto é de 0,60 m, sendo necessária a colocação da rede de água no mínimo de 0,20 m acima da rede coletora de esgoto;
- A distância mínima da rede de água para a divisa do lote deve ser de 0,50 m;
- A distância mínima da rede de esgoto para a divisa do lote deve ser de 0,80 m.

De uma forma geral, a escavação pode ser feita de duas formas: desde a superfície natural do terreno até a cota especificada no projeto (com a abertura de uma vala), ou apenas ao longo do trajeto do tubo. A primeira forma está relacionada ao Método Destrutivo (MD), e a segunda forma com os Métodos Não Destrutivos (MND).

Uma questão muito importante a ser considerada é a escolha adequada de qual dos métodos adotar: MD ou MND. A escolha não é trivial, tendo que ser analisada caso a caso e, muitas vezes, trecho a trecho. Cabe ressaltar que, infelizmente, na maioria das obras atuais ainda só se considera o critério associado ao custo financeiro do processo. Sabe-se por sua vez, que cada vez mais, deve-se considerar critérios associados ao bem-estar da população, ou seja, os custos sociais e ambientais.

Segundo Campos (1996), na linguagem econômica o custo social expressa os sacrifícios impostos à sociedade para que o processo produtivo se concretize. A população é onerada pelo custo monetário da aquisição do produto em si enquanto bem de consumo, assim como pelos encargos decorrentes dos resíduos descartados para o meio

(externalidades). De acordo com Dezotti (2008), entre os custos sociais podem ser mencionados aqueles relativos a:

- (i) Interrupção ao tráfego veicular;
- (ii) Danos à rodovia e pavimento;
- (iii) Danos às utilidades adjacentes;
- (iv) Danos às estruturas adjacentes;
- (v) Barulho e vibração;
- (vi) Segurança dos pedestres;
- (vii) Perdas para negócios e comércios;
- (viii) Danos às estradas utilizadas com desvios;
- (ix) Segurança local e pública;
- (x) Insatisfação dos cidadãos;
- (xi) Impactos ambientais.

Hoje em dia, em determinados trechos dos grandes centros urbanos, a utilização dos tradicionais métodos destrutivos deve ser considerada com cautela. Além dos aspectos sociais mencionados anteriormente existe a questão das possíveis interferências com diversas outras redes subterrâneas. Assim, as tubulações da rede coletora de esgoto dividem o subsolo, crescentemente congestionado das cidades, com as redes de água, drenagem, de infraestrutura de outras companhias/concessionárias nos segmentos de gás, eletricidade, telefonia, TV a cabo, internet e outras. Ressalta-se que qualquer ação que prejudique uma dessas redes gera um desconforto ou transtorno enorme para a população do entorno e um custo adicional não planejado referente ao reparo da rede ou tubulação danificada. A figura 3.1 apresenta alguns exemplos de problemas referentes à escavação em grandes centros urbanos associados a interferências com redes existentes.



Figura 3.1 - Exemplos de interferências ocorridas em escavações. Fonte: [https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes\\_de\\_distribuicao\\_subterraneas/\\$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf](https://www.copel.com/hpcopel/root/sitearquivos2.nsf/arquivos/redes_de_distribuicao_subterraneas/$FILE/RedesDeDistribuicaoSubterraneas-5.pdf) (acessado em 02/08/2021).

Rodrigues et al. (2017) menciona que “A complexidade da situação atual se transformou em um grande obstáculo para a ampliação dos sistemas de saneamento,

inclusive para atender a necessidade de universalização do setor, conforme reiterado pela Política Nacional de Saneamento Básico (PNSB). Há, portanto, uma crescente demanda pela adoção de métodos alternativos de execução e assentamento de tubulações, que viabilizem a execução dessas redes em determinadas condições em que os métodos mais convencionais são menos aplicáveis”.

Pode-se afirmar então, que em alguns trechos de zonas com alta densidade demográfica, o método de escavação que necessita de abertura de vala gera diversos problemas, tais como: interrupções indesejáveis no tráfego, aumento do nível de poluição e de ruídos, e outros impactos negativos para a população. Nesses métodos destrutivos, perde-se muito tempo em função da necessidade de execução de diversas etapas como na escavação e escoramento da vala, bombeamento/rebaixamento do nível d'água, reaterro, compactação e reposição do pavimento.

Finalizando esse item, vale destacar que existem diversos métodos para instalação de infraestrutura urbana subterrânea. Dezotti (2008) sugere como devem ser feitas as escolhas partindo de condições específicas de cada projeto, citando-se:

- Características do solo ao longo do traçado;
- Comprimento máximo da tubulação;
- Diâmetro da tubulação;
- Disponibilidade local do método construtivo;
- Prazo de execução;
- Precisão requerida.

Tradicionalmente, no Brasil, o método mais utilizado para a execução de uma rede coletora de esgoto é o método destrutivo (MD). No entanto, devido ao acesso às novas tecnologias, a implantação de uma rede pode ser mista envolvendo, também, o método não destrutivo (MND).

A seguir, são apresentados o método destrutivo e os métodos não destrutivos com enfoque apenas na parte da escavação para implantação de novas redes subterrâneas. As práticas executivas associadas ao MD serão detalhadas no capítulo referente ao estudo de caso da obra de implantação da rede coletora de esgoto no bairro de Jacarepaguá, Rio de Janeiro.

## 3.2 MÉTODO DESTRUTIVO

### 3.2.1 Generalidades

O método destrutivo, caracterizado pela abertura de vala a céu aberto (VCA), também pode ser classificado como método Convencional ou Tradicional pois é largamente utilizado para instalação, substituição e reparo de redes subterrâneas. Deve estar de acordo com a normatização aplicável e sua execução envolve, basicamente, serviços preliminares, retirada da pavimentação (na maioria dos casos), serviços de escavação de vala ao longo de toda a extensão da rede proposta, colocação de escoramento lateral para suporte das paredes da vala, assentamento da tubulação sobre um berço de material adequado, reaterro e compactação do material utilizado e, se necessário, reconstituição da pavimentação existente. (adaptado de NAJAFI; GOKHALE, 2004)

Segundo Rodrigues et al. (2017) a primeira providência a ser tomada, antes do início da execução de redes coletoras de esgoto pelo MD, é a identificação das possíveis interferências de outros sistemas já instalados, como por exemplo redes de abastecimento de água, drenagem, energia, gás, telefone etc. Neste sentido, Fonseca et al. (2014) propõe uma sugestão de “*checklist*” para ser preenchida antes do início das obras de execução da rede coletora de esgoto. Com isso, seria possível evitar transtornos após o início do processo executivo, que, certamente, geram custos não orçados inicialmente. A tabela 3.1 apresenta a sugestão de “*checklist*” inicial proposto por Fonseca et al. (2014).

Tabela 3.1 - Proposta de “*checklist*” para início das obras.

ITEM	ATIVIDADE	OBRA:		
		RESPONSÁVEL:		
		SITUAÇÃO		OBSERVAÇÃO
SIM	NÃO			
1	Região Povoada			
2	Pavimentação			
2.1	Asfáltica			
2.2	Pavers			
2.3	Concreto			
3	Obras Subterrâneas			
3.1	Água			
3.2	Telefone			
3.3	Gás			
3.4	Drenagem			
3.5	Rede elétrica			
3.6	TV a cabo			
4	Faixa de Servidão			
4.1	Água			
4.2	Telefone			
4.3	Gás			
4.4	Drenagem			
4.5	Rede elétrica			
4.6	TV a cabo			
5	Escoramento da vala			
5.1	Pontaleamento			
5.2	Descontínuo			
5.3	Contínuo			
5.4	Especial			
6	Nível d'água elevado			
7	Berço para assentamento			
7.1	Direto			
7.2	Lastro de brita			
7.3	Lastro de areia			
7.4	Laje			
7.5	Laje sobre estacas			
8	Compatibilização dos projetos			
<b>NOTA:</b> Acrescentar itens que se fizerem necessários.				
Vistoria por: _____		Aprovado por: _____		
Data: _____		Data: _____		

Fonte: Fonseca et al. (2014).

Ressalta-se que as valas devem ser escavadas respeitando o alinhamento e as cotas indicadas no projeto. Em relação à largura adotada para a escavação da vala a NBR 14.486 específica que: (ABNT, 2000)

- (i) Valas com até 1,50 m de profundidade a largura deverá ser de 0,60 m;
- (ii) Valas com profundidades superiores a 1,50 m deverão ter largura de 0,80 m.

Uma das vantagens do MD é que não existe limitação executiva quanto ao tipo de material, diâmetro e ao comprimento do tubo que será assentado, tornando-o mais conhecido e difundido na área de saneamento e infraestrutura (água, esgoto, drenagem, gás e telecomunicações).

Para a NBR 12.266 escavação é “a remoção de solo, desde a superfície natural do terreno até a cota especificada no projeto”. As principais recomendações para esta atividade são indicadas no item 4.2.5 da referida norma: (ABNT, 1992)



(...) 4.2.5.1 A abertura das valas e travessias em vias ou logradouros públicos só poderá ser iniciada após comunicação ao órgão municipal;

4.2.5.2 As escavações sob ferrovias, rodovias ou em faixa de domínio de concessionárias de serviços públicos só poderão ser iniciadas após cumpridas as exigências feitas por elas;

4.2.5.3 A escavação deve ser executada segundo sugerido ou indicado em projeto;

4.2.5.4 Devem ser providenciados tapumes para a contenção da terra depositada ao longo da vala;

4.2.5.5 Se a escavação vier a colocar em risco galerias de águas pluviais, canalizações de água, gás e outras, deve ser executado um escoramento adequado para sustentação desta;

4.2.5.6 A escavação em rocha pode ser:

a) a frio, quando se tratar de rocha fraturada, ou branda, quando colocar em risco as edificações e serviços existentes nas proximidades ou quando for desaconselhável ou inconveniente o uso de explosivos por razões construtivas ou de segurança;

b) a fogo, quando se tratar de rocha sã, maciça, e desde que não apresente riscos às construções vizinhas. (...)

A NBR 9814 trata sobre a execução de rede coletora de esgoto sanitário. Com relação à escavação de valas são indicados os seguintes cuidados: (ABNT, 1987)

(...) 5.4.1 A vala somente será aberta quando:

a) Forem confirmadas as posições de outras obras subterrâneas interferentes;

b) Todos os materiais para execução da rede estiverem disponíveis no local da obra;

5.4.2 As valas que receberão os coletores serão escavadas segundo a linha de eixo, sendo respeitados o alinhamento e as cotas indicadas no projeto.

5.4.3 As valas devem ser abertas no sentido jusante para montante, a partir dos pontos de lançamento ou de pontos onde seja viável o uso de galerias pluviais para o seu esgotamento por gravidade, caso ocorra presença de água durante a escavação.

5.4.4 A escavação poderá ser feita manualmente ou com equipamento apropriado. Neste caso, a escavação mecânica deve se aproximar do greide previsto para a geratriz inferior da tubulação, devendo o acerto dos taludes e do fundo da vala ser feito manualmente.

5.4.5 A largura da vala deve ser fixada em função das características do solo e da tubulação empregada, da profundidade, do tipo de escoramento e do processo de escavação.

5.4.6 A largura livre de trabalho na vala deve ser, no mínimo, igual ao diâmetro do coletor mais 0,60 m, para profundidade até 2 m, devendo ser acrescida de 0,10 m para cada metro ou fração que exceder a 2 m.

5.4.7 As cavas para poços de visita terão dimensão interna livre, no mínimo, igual à medida externa da câmara de trabalho ou balão, acrescida de 0,60 m.

5.4.8 Qualquer excesso de escavação ou depressão no fundo da vala deve ser preenchido com material granular fino, compactado.

5.4.9 O material escavado será depositado, sempre que possível, de um só lado da vala, afastado 1 m da borda da escavação. Em casos especiais poderá a fiscalização determinar a retirada total do material escavado.

5.4.10 Os taludes das escavações de profundidade superior a 1,50 m devem ser escorados com peças de madeira ou perfis metálicos, assegurando estabilidade de acordo com a natureza do solo. (...)

### 3.2.2 Equipamentos para escavação

Os equipamentos utilizados no processo de escavação do MD abrangem uma gama muito grande de tecnologias. Para as escavações manuais, por exemplo, são utilizadas pás, picaretas chibanca, enxadas, além de cavadeiras retas e articuladas conforme apresenta figura 3.2.



Figura 3.2 - Equipamentos tradicionais utilizados em escavações manuais. Fonte: <https://www.madareli.com.br/ferramentas-manuais> (acessado em 26/06/2021).

Já para os processos de escavação mecanizados os principais equipamentos envolvidos na utilização do MD são: caminhões, retroescavadeiras, escavadeira hidráulica, compactadores a percussão, rompedor pneumático, compressor, fresadora de asfalto e valadoras, a mais atual inovação tecnológica do setor (DEZOTTI, 2008). A figura 3.3 apresenta valadoras sendo utilizadas para abertura de valas.



Figura 3.3 - As valadoras em ação durante a execução de valas a céu aberto. Fonte: <https://www.vermeer.pt/produtos/escavacao-especializada/abertura-de-vala/Valadoras-sobre-Rastos-com-Lanca-de-Escavacao/64/> (acessado em 26/06/2021).

Nuvolari (2011) apresenta uma especificação do maquinário a ser utilizado na abertura das valas, visando um menor custo na implantação de redes.

(i) Retroescavadeiras (figura 3.4): valas com até 2,50 m de profundidade;



Figura 3.4 - Retroescavadeira sendo utilizada para abertura de vala. Fonte: [http://www.brasil.geradordeprecos.info/espacos\\_urbanos/Preparacao\\_do\\_terreno/Movimento\\_de\\_terras\\_e\\_m\\_obra\\_civil/Escavacoes/Escavacao\\_de\\_valas\\_com\\_meios\\_mecanicos\\_0\\_0\\_3\\_0\\_0\\_0.html#gsc.tab=0](http://www.brasil.geradordeprecos.info/espacos_urbanos/Preparacao_do_terreno/Movimento_de_terras_e_m_obra_civil/Escavacoes/Escavacao_de_valas_com_meios_mecanicos_0_0_3_0_0_0.html#gsc.tab=0) (acessado em 26/06/2021 e Silva, 2019).

(ii) Escavadeiras hidráulicas (figura 3.5): valas com até 5,00 ou 6,00 m de profundidade;



Figura 3.5 - Escavadeiras hidráulicas. Fonte: <https://www.deere.com.br/pt/escavadeiras-hidraulicas/130g/> (acessado em 26/06/2021).

(iii) Drag-lines (figura 3.6): raspagem de terrenos pouco estáveis.



Figura 3.6 - Drag-line. Fonte: <http://www.nolnacsmarine.com/draglines.html> (acessado em 26/06/2021).

### 3.3 MÉTODO NÃO DESTRUTIVO

#### 3.3.1 Generalidades

Com o crescimento dos centros urbanos, torna-se cada vez mais necessário a melhoria e a expansão das redes de infraestrutura. Em áreas densamente edificadas, e com espaço subterrâneo congestionado, a execução de obras pelo método destrutivo causa grande impacto sócio-econômico e ambiental. Por menores que sejam e de pouca profundidade, a execução de valas com o método destrutivo pode causar enormes transtornos nos centros urbanos, especialmente com relação ao trânsito que já é naturalmente intenso.

Segundo MATSUI e KOCHEN (2003), obras modestas são inviabilizadas devido ao alto custo social inerente aos atrasos e perturbações que são ocasionados em milhares de pessoas, muitas vezes por longos períodos. Portanto, o método não destrutivo se tornou uma solução mais atraente, principalmente para construção de novas redes de esgotos, por minimizarem os impactos e oferecer maior produtividade com menor risco técnico e econômico.

No Brasil, as principais instruções técnicas e informações sobre os métodos não destrutivos são apresentadas pela Associação Brasileira de Tecnologias Não Destrutivas (ABRATT) que é filiada ao ISTT (*The International Society for Trenchless Technology*).

Segundo a sociedade internacional de tecnologias não destrutivas (ISTT), os MNDs podem ser considerados como: “uma família de métodos, materiais e equipamentos adequados para serem utilizados na instalação de redes novas ou substituição/reabilitação de infraestrutura subterrânea existente com o mínimo transtorno ao trânsito, comércio e outras atividades.” Em inglês os termos mais utilizados para esse método são “*trenchless*” ou “*no-dig*”.

Já a Associação Brasileira de Tecnologias Não Destrutivas (ABRATT, 2006) classifica os MNDs como: “a ciência referente à instalação, reparação e reforma de tubos, dutos e cabos subterrâneos utilizando técnicas que minimizam ou eliminam a necessidade de escavações”.

Najafi (2016) apresenta uma classificação para os métodos não destrutivos divididas em dois grupos: métodos não destrutivos de implantação (MNDI) e métodos não destrutivos de renovação (MNDR). Neste mesmo trabalho Najafi (2016) menciona que: “O MNDI inclui todos os métodos para novas instalações de serviços públicos e tubulações. O MNDR inclui todos os métodos para a renovação e/ou substituição de uma tubulação ou sistema de serviços públicos existente”.

Segundo a ABRATT (2006), a implantação de redes novas subterrâneas pode ser realizada por:

- Perfuração por percussão;
- Perfuração por cravação;
- Perfuração Horizontal Direcional (HDD);
- Cravação de tubos (*pipejacking*);
- Micro-túneis.

ABRATT (2006) menciona os seguintes processos associados aos métodos não destrutivos para reparo, reforma e substituição de tubulações subterrâneas:

- Revestimento por inserção de novo tubo (*sliplining*);
- Revestimento por inserção apertada de tubulação deformada (*close-fit lining*);
- Revestimento por aspersão (*spray lining*);
- Revestimento por inserção com cura in loco (*cured-in-place lining*);

Cabe destacar que este trabalho aborda somente a parte de implantação de novas tubulações subterrâneas, ou seja, os métodos associados ao MNDI. Portanto, grande parte das vezes onde se lê “MNDs”, entenda-se como “MNDIs”.

A figura 3.7 apresenta um resumo com sugestões de métodos de construção não destrutivos associados a aplicações específicas para redes subterrâneas em grandes centros urbanos.

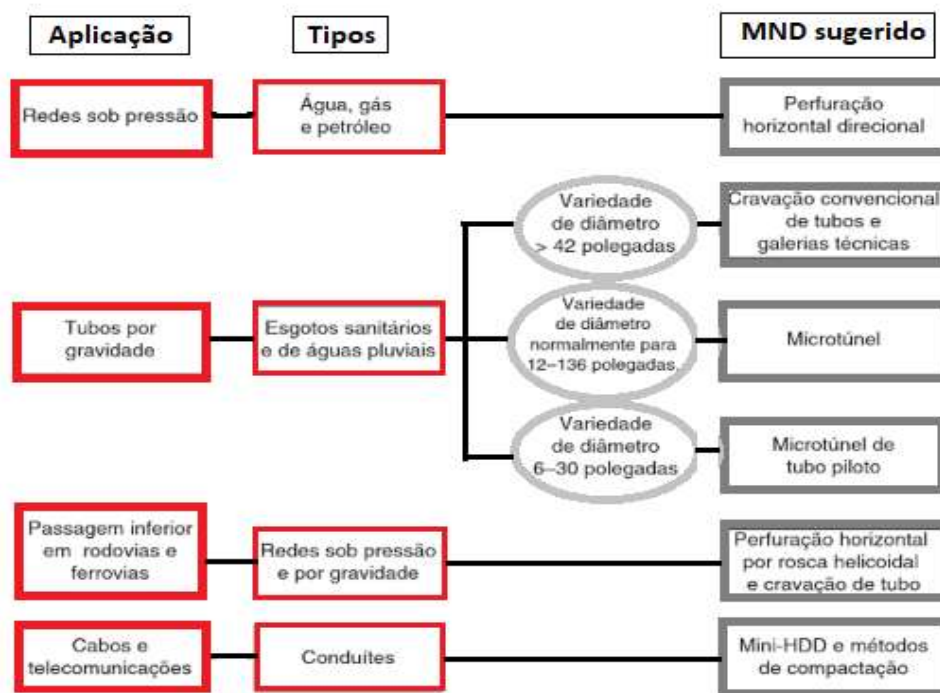


Figura 3.7 - Aplicações dos MNDIs. Fonte: adaptado de NAJAFI (2010).

Naturalmente, para a utilização dos MNDs, o traçado de implantação da nova rede subterrânea deve ser locado para verificar as possíveis interferências com outras redes existentes. Em muitas ocasiões, os poços de visita devem ser executados utilizando o método destrutivo com escavação a céu aberto.

Dentre outras vantagens, os MNDs podem produzir menos passivos ambientais, pois estes passivos estão ligados às práticas construtivas tradicionais, o que se torna uma redução dos custos sociais e ambientais com a implementação da metodologia.

Em grandes centros urbanos, vale destacar que, em trechos de grandes travessias e há grandes profundidades, os MNDs devem ser considerados como alternativa complementar.

Celestino (2016) sugere que a utilização dos métodos não destrutivos é economicamente viável a partir de 4 metros de profundidade, sem incluir os custos indiretos.

### 3.3.2 Campanha de investigação geotécnica

De uma forma geral, para novas instalações de redes subterrâneas, a investigação geotécnica pode ser baseada nas tradicionais sondagens a percussão com medida de SPT índice. A finalidade desses ensaios está associada basicamente à determinação do nível



do lençol freático e dos tipos de solo encontrados na região. É possível também verificar a presença de rochas ou, eventualmente, matacões.

Em grandes centros urbanos é interessante utilizar outras técnicas de investigação geotécnica. Atualmente, os ensaios sísmicos se tornaram uma boa ferramenta para esta finalidade.

A ABRATT recomenda que, em áreas mais desenvolvidas, se utilize o localizador de tubos e cabos para detectar a presença de tubos metálicos, cabos elétricos energizados e cabos de telecomunicações.

Existem diversos tipos de localizadores no mercado, a maioria utiliza um transmissor para induzir um sinal em tubos de material condutor, que pode ser seguido na superfície através de um receptor. Alguns detectores de tubos e cabos também podem ser usados como dispositivos de acompanhamento da perfuração, juntamente com máquinas de perfuração direcional ou guiada. Os sistemas de Radar de Penetração no Solo (GPR) se tornaram mais fáceis de operar nos últimos anos, e podem, frequentemente, detectar tubulações não metálicas, cabos, zonas de vazamento e discontinuidades subterrâneas, tais como camadas de construção de rodovias ou estratos de rocha (adaptado de ABRATT).

A figura 3.8a e figura 3.8b mostram alguns exemplos de radares de penetração no solo durante a execução de ensaios. A figura 3.8c mostra, além de um esquema da execução de GPR, um radargrama com um suposto sinal de interferência.



Figura 3.8 – Utilização de GPRs. Fonte: [http://home.uevora.pt/~bafcc/Relatorio\\_GPR\\_final.pdf](http://home.uevora.pt/~bafcc/Relatorio_GPR_final.pdf) (acessado em 14/06/2021).

A figura 3.9 apresenta um exemplo de investigação realizada em uma obra no município de Otacílio Costa, na região serrana do estado de Santa Catarina. A investigação, através do GPR, foi planejada e executada com a finalidade de encontrar possíveis interferências. Os ensaios foram executados por meio de um sistema de malhas nas regiões dos PVs da obra. O exemplo da figura 3.8 mostra a execução dos ensaios em dois PVs (PV01 e PV02). Observa-se que na região do PV01 não foi detectada nenhuma interferência, enquanto na região do PV02 surgiu um alerta de uma possível tubulação na profundidade de 0,7 m, na região da linha de referência número 145.

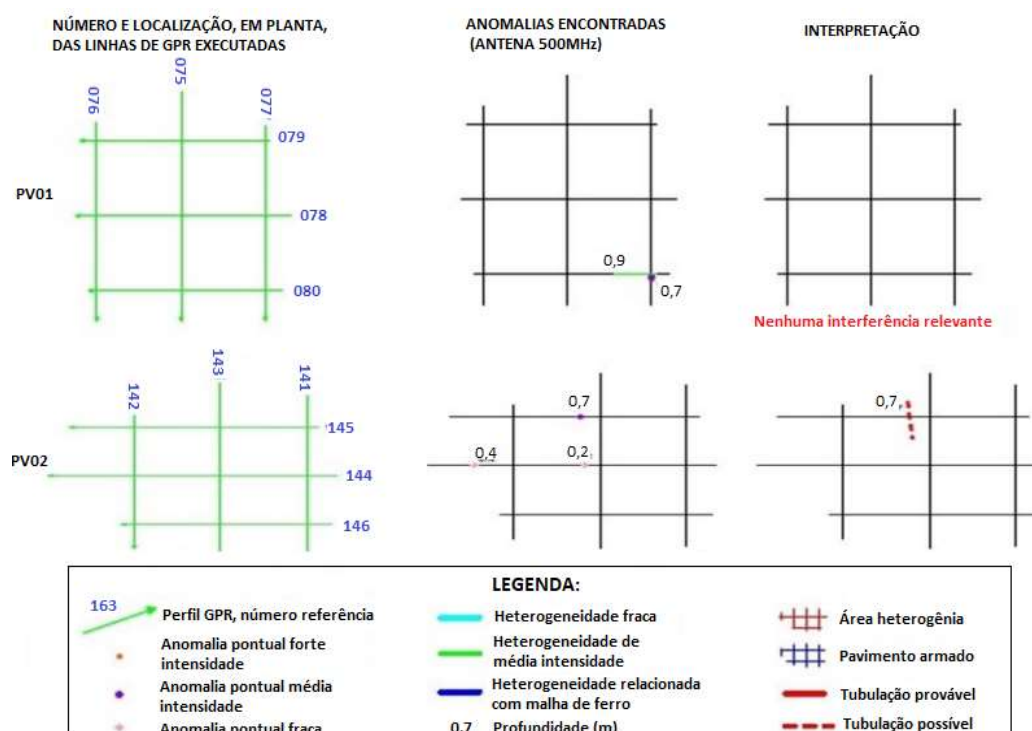


Figura 3.9 - Exemplo de aplicação de GPR em uma obra realizada no estado de Santa Catarina. Fonte: adaptado de Celestino (2016).

### 3.3.3 Perfuração por percussão

As máquinas que executam perfuração por percussão (processo dinâmico) apareceram pela primeira vez na Polônia e na Rússia, durante a década de 1960. Os primeiros sistemas eram robustos e pesados quando comparados com o tamanho do furo e, muitas vezes, tinham problemas como desvios significativos da trajetória planejada ou perda do elemento durante a implantação.

Hoje em dia, com uma tecnologia muito mais avançada, as perfuratrizes oferecem uma precisão excelente, e, talvez, são atualmente as mais usadas entre todos os processos de escavação não destrutiva em todo o mundo. Oferecem solução para uma grande variedade de problemas de instalação, particularmente em distâncias curtas.



A perfuração por percussão “*earth piercing/mole*”<sup>1</sup> é definida pela ABRATT (2006) como: “criação de um furo pelo uso de uma ferramenta que compreende um martelo de percussão, geralmente com a forma de torpedo, colocado dentro de uma carcaça cilíndrica adequada”.

Nesse método, a implantação da rede é realizada por um processo dinâmico onde uma perfuratriz a percussão, geralmente um martelo pneumático, avança no subsolo simultaneamente a instalação da tubulação. Assim, o solo adjacente ao martelo sofre uma compactação, além de um deslocamento, portanto não há sua remoção. Vale ressaltar que este processo do solo na perfuração de tubos por percussão assemelha-se ao processo de cravação de estacas à percussão. A figura 3.10 ilustra o processo de perfuração por percussão.

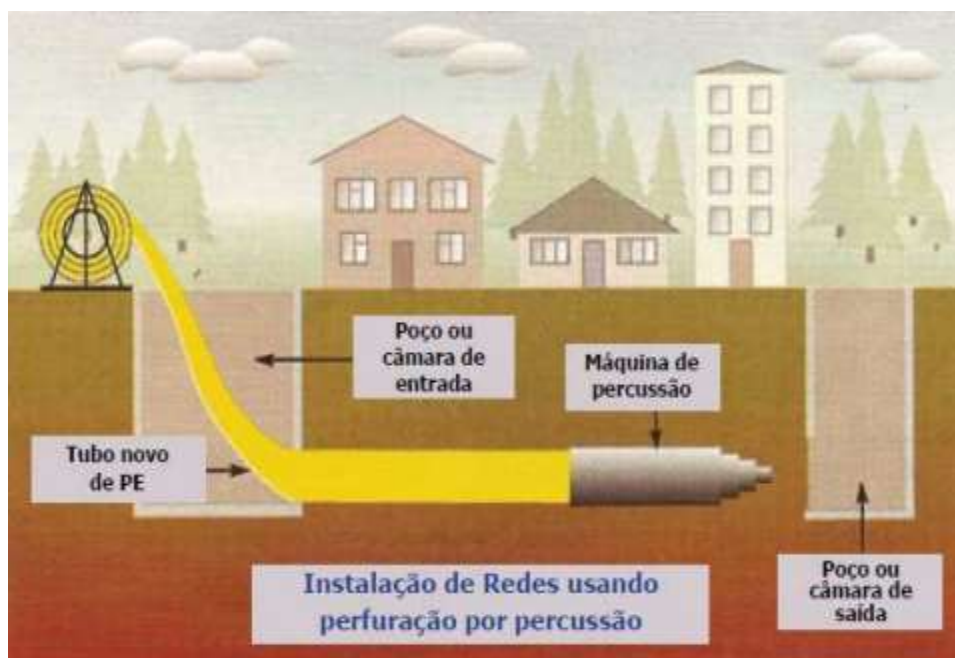


Figura 3.10 - Implantação de rede subterrânea pelo método MND de perfuração por percussão. Fonte: ABRATT (2016) apud, SILVA (2019).

Ressalta-se que, nesta metodologia é necessária a escavação tradicional somente nos poços de serviço (ou câmaras) de entrada e saída.

A figura 3.11 apresenta um esquema da utilização de uma perfuratriz por percussão. Observa-se também, os detalhes do poço de entrada com a operação do

<sup>1</sup> A tradução do inglês de “*earth piercing*” para o português seria *fazendo buraco no solo* e a tradução do inglês de “*mole*” para o português seria *toupeira*, ambas traduções são adequadas para a metodologia em questão.

equipamento em andamento, além de dois detalhes da ponta perfuratriz: durante a escavação e ao seu término, no poço de chegada.

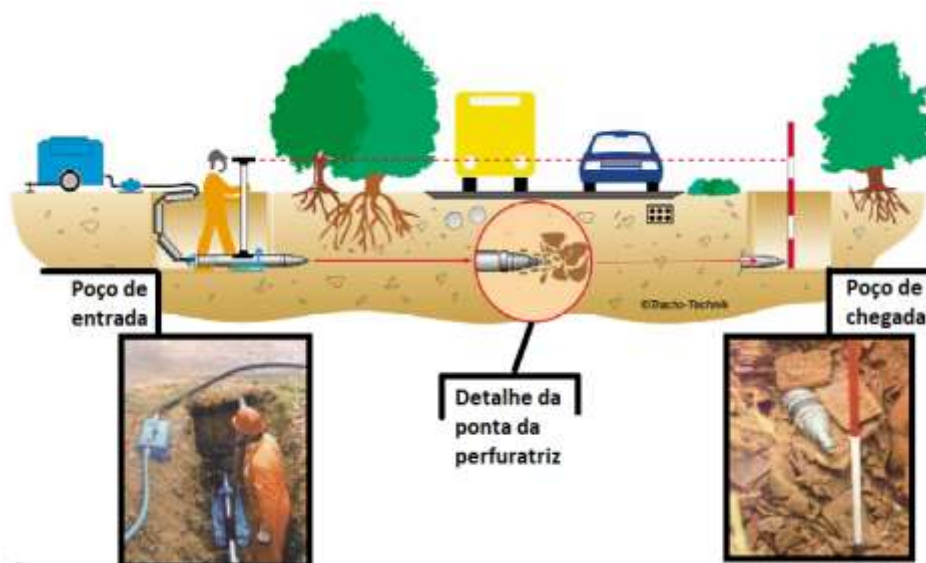


Figura 3.11 - Detalhes da execução de uma perfuração por percussão. Fonte: adaptado de ABRATT (2016).

- Práticas executivas:

ABRATT (2006) recomenda que, “devido às restrições de compactação do solo e à necessidade de minimizar ou eliminar o deslizamento da superfície, uma regra largamente aceita para instalações feitas com perfuratrizes é a necessidade de haver pelo menos um metro de profundidade para cada 100 mm de diâmetro da ferramenta. Como a maioria das redes e serviços (exceto esgotos) é posicionada em profundidades abaixo de dois metros na maioria dos países, chega-se a um limite superior efetivo de 200 mm de diâmetro para os equipamentos de percussão”.

Por conta disto, o uso deste processo se limita a diâmetros reduzidos de tubos (normalmente até 200 mm). Esse tipo de tubulação é de aplicação típica na instalação de ramais domiciliares, eletrodutos de telecomunicações e rede elétrica, e gás. Além disso, de acordo com HERRERA (2017), essa solução pode ser empregada em solos com diversas consistências, desde uma argila mole (normalmente adensada) até argilas com consistências médias. HERRERA (2017) cita como exemplo o sucesso da instalação de uma nova rede de fibra óptica nos Estados Unidos, no estado da Carolina do Norte.

A figura 3.12a mostra os poços de entrada e saída para instalação da nova rede. A figura 3.12b apresenta em detalhe o martelo utilizado na perfuração por percussão e a figura 3.12c mostra a rede já instalada no interior de um dos poços escavados.



Figura 3.12 - Escavação de poços de visita, perfuratriz a percussão e rede instalada. Fonte: adaptado de HERRERA (2017).

A tabela 3.2 apresenta as vantagens e as desvantagens do método de perfuração a percussão “*earth piercing/mole*”.

Tabela 3.2 - Principais vantagens e desvantagens da perfuração por percussão.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• É um método eficaz para instalação de tubos até 200mm de diâmetro.</li> <li>• É um método econômico e prático, pois necessita de pequenos espaços para os poços de serviço.</li> <li>• Não necessita de estrutura de reação para instalação da tubulação.</li> <li>• Pode ser usado para instalação de tubulações com diversos ângulos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A principal desvantagem deste método é a baixa dirigibilidade.</li> <li>• Algumas obstruções, como matacões, podem causar deflexão no tubo.</li> <li>• Necessita de uma quantidade considerável de poços de serviço, pois o equipamento não possui grande alcance para instalar a tubulação (entre 20m e 30m).</li> <li>• Níveis consideráveis de ruído, necessidade de EPI.</li> </ul>

### 3.3.4 Perfuração por cravação

O processo de perfuração por cravação “*pipe ramming*” é realizado de maneira que um “tubo camisa” é instalado no solo por percussão ou por um sistema de rosca sem fim. Quando esse tubo tem sua extremidade aberta, ocorre muito pouco deslocamento de solo, e quando é utilizado o sistema de rosca, nenhum solo é deslocado, conseqüentemente, pouca compactação dele. Nestes casos, o processo se assemelha a execução de estacas escavadas, onde também não existe (ou quase não existe) deslocamento do solo. O solo escavado normalmente é removido por ferramentas tradicionais (pás, enxadas etc.), transportador de rosca, jateamento (com água) ou com a utilização de ar comprimido. Após a retirada do solo a implantação da nova rede é

realizada usando o tubo camisa como guia. São métodos recomendados para pequenas distâncias e principalmente para passar tubulação em aterros de rodovias e ferrovias.

A figura 3.13 apresenta um esquema da perfuração por cravação, além de dois detalhes do equipamento utilizado na cravação a percussão (martelo pneumático).

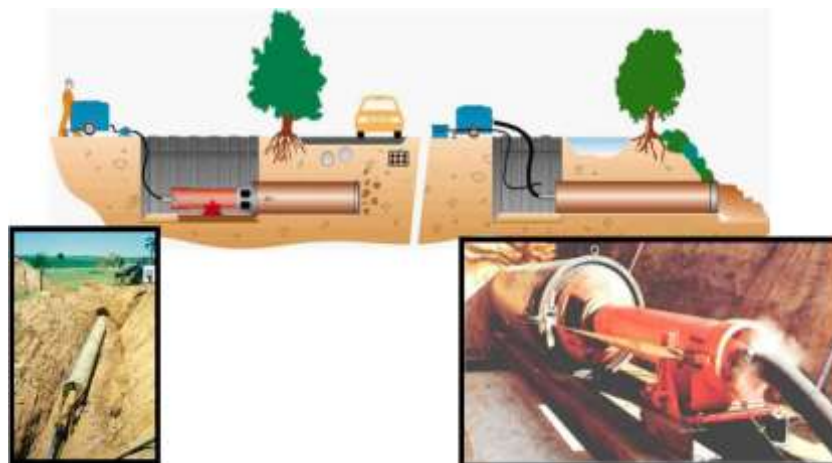


Figura 3.13 - Esquema de uma perfuração por cravação de tubo com extremidade aberta e detalhes da execução de uma perfuração por cravação à percussão. Fonte: adaptado de ABRATT (2020).

A figura 3.14 mostra uma sequência de instalação do tubo camisa durante a implantação de uma nova rede pelo processo de perfuração por cravação: (a) instalação da guia; (b) retirada da ferramenta de cravação e (c) remoção do solo do interior do tubo camisa.



Figura 3.14 - Sequência executiva de tubo guia para instalação de nova rede sobre uma rodovia. Fonte: [http://web.engr.oregonstate.edu/~stuedlea/P\\_PipeRamming.php](http://web.engr.oregonstate.edu/~stuedlea/P_PipeRamming.php) (acessado em 06/07/2021).

Já a figura 3.15 mostra o outro tipo de ferramenta utilizado para instalar o tubo guia no solo, sistema de rosca sem fim “*boring machine*”.





Figura 3.15 - Perfuração por cravação de tubo com extremidade aberta com o sistema de rosca sem fim.  
 Fonte: adaptado de ABRATT (2016).

A figura 3.16 mostra duas tubulações de esgoto em PVC com diâmetros de 150 mm e 200 mm instaladas através de um tubo camisa de ferro com 700 mm de diâmetro. A obra de implantação foi realizada pelo método de perfuração por cravação para atravessar uma ferrovia no Rio Grande do Norte.



Figura 3.16 - Redes de esgoto com tubos DN150 e DN200 instaladas com perfuração por cravação no Rio Grande do Norte. Fonte: Silva (2019).

Para SILVA (2019) a grande vantagem desse método é a variedade de diâmetros que ele abrange (100 mm a 1500 mm), sendo que para menores diâmetros, há outros métodos executivos mais viáveis economicamente.

Segundo ABRATT (2016) o sistema pode ser utilizado para instalações de até 150 metros de comprimento, mas suas aplicações mais corriqueiras estão relacionadas a travessias relativamente curtas.

Tabela 3.2 - Principais vantagens e desvantagens da cravação dinâmica de tubos.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• É um método eficaz para instalação de tubos de diâmetros de tamanhos médios a grande.</li> <li>• Trata-se de um método econômico e prático, uma vez que necessita de pequenos espaços para os poços de serviço, sendo capaz de instalar tubos em grandes extensões, em diversas condições de solo.</li> <li>• Não necessita de qualquer estrutura de reação, uma vez que a cravação é devida ao impulso induzido no tubo pelo martelo pneumático.</li> <li>• Um único tamanho de martelo pneumático e de compressor de ar pode ser usado para instalar uma ampla variedade de comprimentos e diâmetros de tubos.</li> <li>• Este método pode ser utilizado para instalações de tubos na vertical e em ângulo.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• A principal desvantagem deste método é a baixa dirigibilidade.</li> <li>• Algumas obstruções, como blocos de rochas ou pedregulhos, especialmente para tubos com pequenos diâmetros, podem causar deflexão no tubo. Desta forma, uma adequada avaliação das informações das condições do solo deve ser feita, para determinar o tamanho correto do revestimento a ser usado.</li> <li>• Altos níveis de barulho são comuns neste método, caso nenhuma proteção acústica seja usada.</li> <li>• Algumas vezes este método pode gerar uma vibração significativa do solo, caso um bloqueio seja encontrado no final do tubo instalado.</li> </ul>

Fonte: Simicevic e Sterling (2001), Abraham, Baik e Gokhale (2002) e Najafi (2004).

### 3.3.5 Perfuração Horizontal Direcional (HDD)

O método de perfuração horizontal direcional (HDD) pode ser definido como um sistema de perfuração dirigível para instalação de redes em geral. Este método tem a grande vantagem de informar a localização da cabeça de perfuração, além de poder guiá-la durante todo processo de perfuração (adaptado de NAJAFI, 2004).

A ABRATT (2006) menciona que, durante muito tempo, a perfuração direcional era usada principalmente para a instalação de redes pressurizadas e dutos para cabos, onde usualmente declives precisos não são críticos, como ocorre nas redes por gravidade. Neste caso, tolerâncias são apertadas quanto ao alinhamento vertical da rede para atender aos requisitos do projeto hidráulico. Algumas das máquinas de perfuração e sistemas de guia mais recentes, contudo, oferecem uma precisão excelente em condições adequadas de solo.

A figura 3.17 apresenta diferentes máquinas, com tecnologias mais recentes, utilizadas para executar o método de perfuração horizontal direcional. Na 3.17a transporte com a utilização de um caminhão de máquina utilizada em HDD, na 3.17b e 3.17c máquinas utilizadas para execução do método HDD.



Figura 3.17 – Equipamento para execução de HDD. Fonte: <http://odrill.com.br/servicos/perfuracao/> (acessado em 06/07/2021)

Com efeito, o método de perfuração horizontal direcional vem se tornando cada vez mais popular na execução de redes por gravidade. Pode-se dividir o método de HDD em duas etapas:

- i. Realização de um furo piloto ao longo de todo alinhamento da rede;
- ii. Alargamento do furo piloto no sentido inverso da perfuração inicial e conexão da tubulação definitiva ao final do alargador. Assim, à medida que o alargador vai sendo extraído a tubulação definitiva vai sendo posicionada.

A figura 3.18 mostra um esquema do processo de perfuração horizontal direcional com as duas etapas descritas.

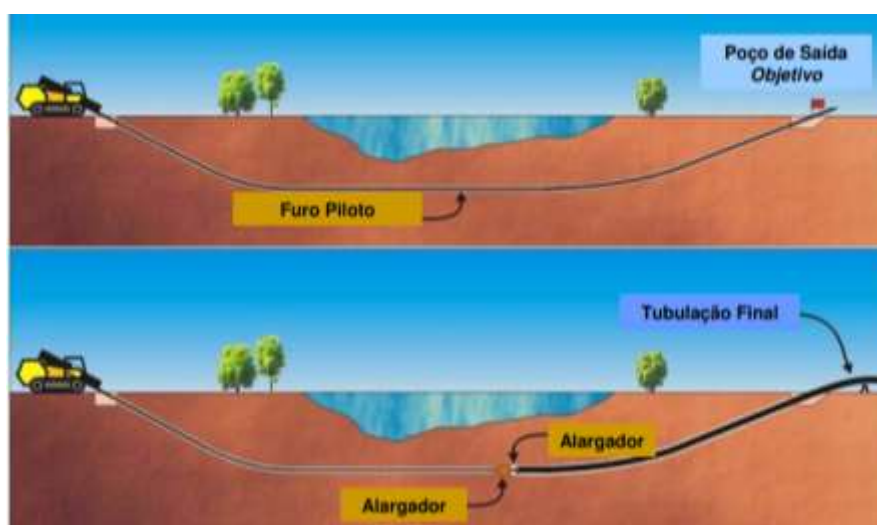


Figura 3.18 - Etapas de execução do HDD: (i) execução do furo piloto, (ii) alargador e tubulação final. Fonte: ABRATT (2006 e 2016).

Segundo Dezotti (2008) o HDD pode ser dividido em três categorias: maxi, midi e mini. Quanto ao procedimento executivo dos três métodos, não há diferença, o que os diferencia é o tamanho do equipamento, e conseqüentemente, o diâmetro de tubulação e comprimento que cada um atinge. A tabela 3.3 apresenta as principais características de cada categoria de HDD.

Tabela 3.3 - Principais características das três categorias de HDD.

Característica	Und	Categoria HDD		
		Maxi	Midi	Mini
Diâmetro tubulação	(mm)	600 a 1200	300 a 600	50 a 300
Profundidade instalação	(m)	≤ 61	≤ 23	≤ 6
Extensão da perfuração	(m)	≤ 1830	≤ 305	≤ 183
Torque	(KN.m)	≤ 108,5	1,2 a 9,5	≤ 1,3
Capacidade de puxada/inscrição	(tf)	≥ 45,36	9,07 a 45,36	≤ 9,07
Peso da Máquina	(tf)	≤ 30	≤ 18	≤ 9
Área em planta do equipamento	(m <sup>2</sup> )	> 2,50 x 13,70	2,20 x 6,10 a 2,50 x 13,70	1,00 x 3,00 a 2,20 x 6,10
Área de trabalho recomendada	(m <sup>2</sup> )	45,70 x 76,20	30,50 x 45,70	6,10 x 18,30
Material do tubo		PEAD e aço	PEAD, aço e ferro dúctil	PEAD, aço e PVC fundido
Recomendações de aplicações		Passagens sob Rios e Autovias	Passagens sob Rios e Rodovias	Linhas de gás, cabos de energia e telecomunicações

Fonte: adaptado de DEZZOTI (2008).

A figura 3.19 ilustra e compara o porte das perfuratrizes utilizadas para execução do método. Em (a) o mini-HDD, em (b) o midi-HDD e em (c) maxi-HDD.



Figura 3.19 – Perfuratrizes utilizadas na execução do mini, midi e maxi HDD. Fonte: [https://www.sondeg.com.br/rl\\_gallery/mini-perfuratriz-direcional-hdd/](https://www.sondeg.com.br/rl_gallery/mini-perfuratriz-direcional-hdd/) e [http://drillto.com.br/2-maquinas/prod-dt-01\\_ZT12.html](http://drillto.com.br/2-maquinas/prod-dt-01_ZT12.html) (acessado em 17/07/2021).

- Práticas executivas



Naturalmente, a execução do furo piloto deve seguir o alinhamento da tubulação a ser executada.

Nas duas etapas de perfuração recomenda-se a utilização de lama bentonítica para auxiliar na estabilização da escavação do furo. De acordo com a ABRATT (2006), além de ajudar a estabilização da escavação, o fluido também auxilia a lubrificação da cabeça de corte reduzindo seu desgaste, amolece o solo facilitando a perfuração, elimina a suspensão de material escavado e, também, lubrifica a tubulação final que será inserida no furo.

Para garantir a precisão desejada em projeto é utilizado um sistema de rastreamento, composto de um transmissor e um receptor. Assim o correto alinhamento, declividade e profundidade da tubulação podem ser monitorados durante todo processo de perfuração com o HDD. Vale destacar que, segundo Dezotti (2008), o transmissor é um dispositivo que emite sinais eletromagnéticos em frequência de rádio. Este transmissor tem a função de comunicar-se com um receptor, situado na superfície do terreno e informar sobre a profundidade, direção, inclinação, rotação, temperatura da cabeça de corte e nível da bateria.

A tabela 3.4 sugere o diâmetro do alargamento da perfuração em função do diâmetro do tubo a ser instalado pelo HDD.

Tabela 3.4 - Relação recomendada entre diâmetros do tubo da rede e do alargamento da perfuração.

Diâmetro do Tubo (mm)	Diâmetro de alargamento (mm)
< 200	Diâmetro do tubo + 100 mm
200 a 600	Diâmetro do tubo x 1,5
> 600	Diâmetro do tubo + 300 mm

Fonte: BENNETT et al. (2004).

A figura 3.20 apresenta algumas aplicações das distintas etapas da perfuração horizontal direcional.



Figura 3.20 - Detalhe da emenda da tubulação, perfuração com auxílio do fluido estabilizador, verificação da profundidade através do rastreador e máquina de mini-HDD. Fonte: adaptado de SILVA (2019).

De acordo com Najafi (2004) o HDD apresenta a maior taxa de avanço de perfuração do furo piloto entre todos os MNDs existentes. A tabela 3.5 resume as taxas de produção típicas para as três categorias de HDD.

Tabela 3.5 - Taxas esperadas para as 3 categorias de HDD.

Tarefa	mini - HDD	midi - HDD	maxi - HDD
1. Mobilização de equipamento e instalação	≤ 6 horas	1 - 3 dias	3 - 10 dias
2. Perfuração do furo piloto	30,5 - 122 m/h	18 - 91,5 m/h	6 - 55 m/h
3. Alargamento (por passada)	30,5 - 91 m/h	18 - 73 m/h	6 - 55 m/h
4. Puxada da tubulação (sem alargamento)			
a. Cabo	61 - 183 m/h	61 - 183 m/h	N/A
b. PEAD	61 - 183 m/h	61 - 183 m/h	46 - 137 m/h
c. Aço	61 - 183 m/h	61 - 183 m/h	46 - 137 m/h
5. Limpeza, restauração e desmobilização	2 - 4 h	4 h a 2 dias	2 - 7 dias

Fonte: BENNETT et al. (2004).

A tabela 3.6 apresenta as diversas vantagens e as poucas desvantagens do método de perfuração horizontal direcional.

Tabela 3.6 - Vantagens versus desvantagens do HDD.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Capacidade de dirigibilidade.</li> <li>• Não necessita execução de poço de entrada e saída.</li> <li>• O tempo de instalação dos equipamentos é relativamente menor comparado aos demais métodos de construção não-destrutivos.</li> <li>• Este método pode alcançar de um único ponto de lançamento o maior comprimento de instalação, de que qualquer outro método não destrutivo do tipo não tripulado.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• O tipo de tubo utilizado deve apresentar suficiente resistência à tração axial.</li> <li>• Em instalação de tubulações em pequena profundidade é possível ocorrer movimentação do solo.</li> </ul>

Fonte: ABRAHAM et al. (2002).

### 3.3.6 Cravação de tubos “Pipejacking”

Dezotti (2008) explica que o termo “pipejacking” pode ser utilizado, tanto para descrever uma técnica de instalação de tubos, quanto para descrever o processo de macaqueamento hidráulico que é utilizado em outros métodos não destrutivos.

Logo, para melhor entendimento do tema, deve ficar claro que, neste trabalho, o termo “*pipejacking*” é utilizado como um dos métodos construtivos que compõem a família de MNDIs.

Segundo Drösemeier (2004), o método de cravação de tubos “*Pipejacking*” consiste em um processo de tunelamento caracterizado pela instalação subterrânea de tubos de concreto pré-moldados, por meio do processo de cravação utilizando macaco hidráulico, entre dois pontos, sem interrupção do espaço superficial.

De uma forma geral, o lançamento da tubulação pode ser definido como um sistema de instalação direta de tubos, posicionados atrás de uma máquina de escavação, empurrados por um conjunto de pistões hidráulicos posicionados no interior do poço de entrada, de modo a formar uma linha contínua sob o solo. Os segmentos de tubos projetados especialmente para suportar as forças que ocorrem durante a instalação, formam a tubulação final quando a escavação estiver completa. (adaptado de ABRATT, 2016)

O método pode ser executado por diferentes técnicas, incluindo: manual, mecânico ou por controle remoto (adaptado de DEZOTTI, 2008). A escolha da técnica de escavação é comandada, principalmente, pelas características do solo a ser escavado. Desta forma, o “*pipejacking*” pode empregar “*shield*”<sup>2</sup> ou máquinas de escavação de túneis (TBM). Segundo Najafi (2004), o que essencialmente diferencia o “*pipejacking*” é a necessidade da presença de trabalhadores dentro “*shield*” do durante a operação do equipamento de escavação e remoção do material escavado. A figura 3.21 ilustra alguns tipos de “*shields*” e TBMs utilizados para a escavação no “*pipejacking*”.

---

<sup>2</sup> A tradução do inglês de “*shield*” para o português seria *escudo, proteção ou blindagem*.

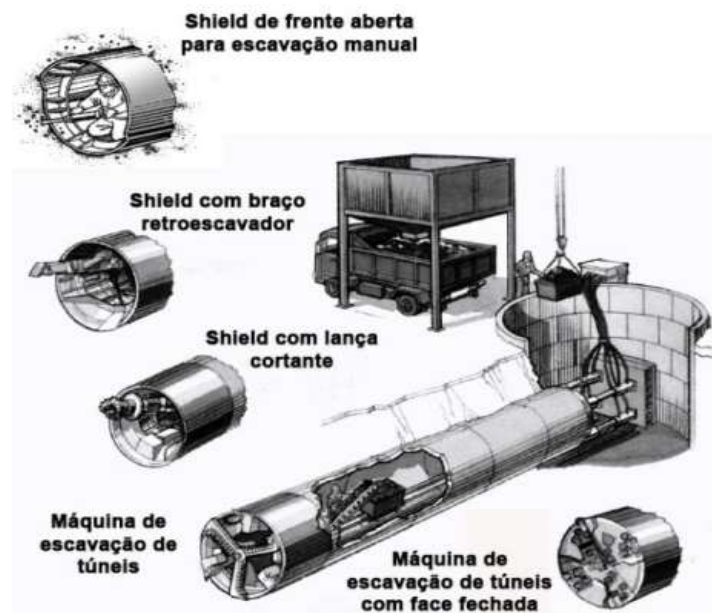


Figura 3.21 - Principais “shields” e TBMs utilizados na escavação pelo “pipejacking”. Fonte: DEZOTTI (2008).

Najafi (2004) considera que, devido à necessidade de trabalhadores dentro do tubo, este método é limitado à instalação de tubos com dimensões que permitam a entrada de pessoas em seu interior. Desta forma, o diâmetro interno mínimo recomendado para o tubo a ser instalado é de 900 mm. Teoricamente, não há limite máximo, todavia os maiores diâmetros encontrados possuem 3.700 mm de diâmetro.

A figura 3.22 ilustra a dificuldade que o operador encontra para trabalhar no interior dos “shields” que possuem diâmetros reduzidos.



Figura 3.22 – Presença de operador dentro do “shield”. Fonte: DEZOTTI (2008).

De acordo com Dezotti (2008), o “pipejacking” pode ser visto como um método muito versátil para abertura de túneis, instalação de coletores de esgotos, redes principais de água, oleodutos, passagens subterrâneas, dentre outras obras. Trata-se de um método que utiliza alta tecnologia em todo seu processo executivo. Porém, de acordo com Drösemeyer (2004), apud. Dezotti (2008), alguns fatores merecem ser adequadamente

avaliados, tais como: estimativa e controle dos esforços de cravação, controle do alinhamento na cravação, estimativa e controle dos recalques ou levantamentos nas edificações vizinhas e a averiguação de possíveis obstruções no trajeto da tubulação.

A extensão máxima de rede que pode ser alcançada com esta técnica depende de diversos fatores, tais como: características de estabilidade e atrito do solo a ser escavado; peso próprio, resistência e diâmetro do tubo a ser instalado; tipo de equipamento empregado na escavação e estrutura de reação disponível (adaptado de DEZOTTI, 2008). No entanto, de acordo com Abraham et al., (2002) as extensões geralmente variam de 150 a 305 metros.

A figura 3.23 mostra duas aplicações do método de cravação de tubos “*pipejacking*” pela CEDAE, em obras de esgotamento sanitário no Rio de Janeiro. (a) construção do Interceptor Terreirão, (b) a construção do Interceptor Recreio.



Figura 3.23 – Aplicação do “*pipejacking*” em obra de saneamento no município do Rio de Janeiro. Fonte: CEDAE (2012).

A tabela 3.7 apresenta as vantagens e as desvantagens do método de cravação de tubos “*pipejacking*”.

Tabela 3.7 - Vantagens e desvantagens do “*pipejacking*”.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite instalar tubulações com alto grau de acurácia no alinhamento e na declividade;</li> <li>• Tem capacidade de trabalhar em diversos tipos de solos.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incapacidade de utilizar tubos flexíveis ou de baixa resistência, tais como PVC;</li> <li>• Apresenta limitações em superar obstruções;</li> <li>• Necessita execução de poço de partida e recepção;</li> <li>• Necessita construção de uma parede de reação;</li> <li>• Necessita entrada de trabalhadores dentro do túnel.</li> </ul>

Fonte: ABRAHAM et al. (2002).



### 3.3.7 Micro-túneis

Segundo a ABRATT (2016), o método de execução de micro-túneis e o “*pipejacking*” são essencialmente da mesma família. A grande diferença entre os dois métodos consiste principalmente pela dimensão do diâmetro do tubo a ser utilizado. No caso do método de execução de micro-túneis, as tubulações possuem diâmetros relativamente pequenos. (CELESTINO, 2016)

A execução de micro-túneis pode ser descrita como uma técnica de cravação de tubos, que também utiliza um conjunto de pistões hidráulicos, totalmente guiada e controlada remotamente. Promove um suporte contínuo da frente de escavação e não requer entrada de pessoas no interior do túnel (ASCE, 2001). A figura 3.24 ilustra o processo de instalação de uma tubulação pelo método de micro-túnel.



Figura 3.24 - Processo instalação de tubulação a partir de escavação com micro-túnel. Fonte: <http://www.abratt.org.br/tecnologia/> (acessado em 07/07/2021).

O método, obrigatoriamente, utiliza a máquina de escavação de micro-túneis (“*microtunnel boring machine*” - MTBM) que é operada através de um painel de controle, geralmente localizado na superfície. O sistema instala simultaneamente os tubos à medida que o solo escavado é removido. A entrada de trabalhadores é necessária apenas nos poços de serviço. A figura 3.25 apresenta um modelo da cabeça de corte utilizado no MTBM e o segmento que fica encaixado logo em seguida, denominado “segundo segmento”. A figura mostra também um detalhe do formato dos “dentes” da cabeça de corte.



Figura 3.25 - Cabeça de corte e segundo segmento de um MTBM. Fonte: NAJAFI (2004).

Segundo Abraham et al. (2002) e Najafi (2004), o micro-túnel é um método que garante um correto alinhamento e nivelamento da tubulação desde o poço de entrada até o poço de saída. Além disso, o método pode ser utilizado em solos com diferentes características.

Dentro dessa descrição, as técnicas de micro-túneis são definidas especificamente como sendo a escavação por uma máquina direcionável com controle remoto, para lançamento de tubos de pequeno diâmetro, sem possibilidade de acesso humano, por pistões hidráulicos. Frequentemente, as máquinas de escavação de micro-túneis utilizam um sistema de direcionamento por laser para manter o alinhamento e nivelamento durante a instalação embora, como ocorre em instalações de maior diâmetro, possam ser utilizadas técnicas de laser e de levantamento normal para esse fim (ABRATT, 2021). A figura 3.26 apresenta a perfuração através do micro-túnel, além de detalhes do sistema a laser e o alvo utilizado para controle do alinhamento e nivelamento da escavação.

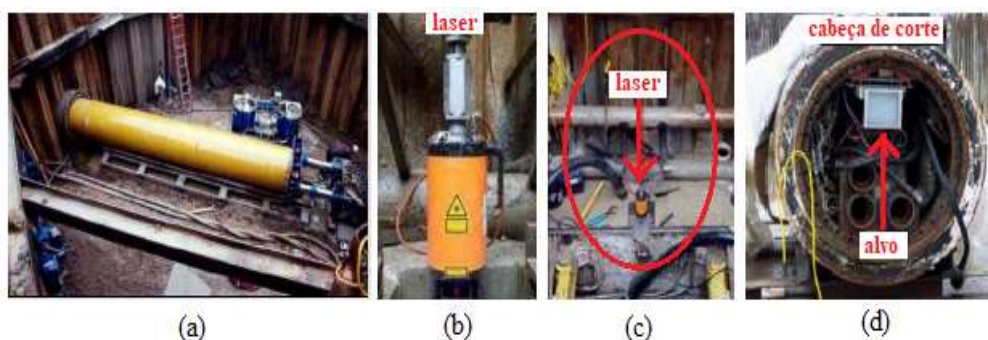


Figura 3.26 – Micro-túnel e sistema de controle a laser durante a escavação. Fonte: adaptado de DEZOTTI (2008).

Segundo Abraham et al. (2002), na prática, a faixa mais usual para a execução de micro-túneis possui diâmetros variando entre 600 mm e 1200 mm.

Segundo Najafi (2004), os comprimentos dos trechos típicos de projeto para execução de micro-túneis variam de 60 m até 450 m, dependendo do processo utilizado.

A produtividade que pode ser alcançada depende muito do solo e do projeto, mas, de acordo com Abraham et. al. (2002) é possível alcançar uma taxa de produção de 9 m até 18 m em 8 horas de trabalho, com uma equipe de 4 a 8 trabalhadores.

A tabela 3.8 apresenta as vantagens e as desvantagens do método de execução de micro-túneis.

Tabela 3.8 - Vantagens e desvantagens dos micro-túneis.

Vantagens	Desvantagens
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Permite instalar tubulações com alto grau de acurácia no alinhamento e na declividade.</li> <li>• Tem capacidade de trabalhar em diversos tipos de solos.</li> <li>• Tem capacidade de trabalhar em condições adversas, não necessitando gastos com sistemas de rebaixamento do nível d'água ou ar comprimido.</li> <li>• Permite instalar tubulações em grandes profundidades.</li> <li>• Não necessita da entrada de trabalhadores dentro do túnel.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Incapacidade de utilizar tubos flexíveis ou de baixa resistência, tais como PVC.</li> <li>• Apresenta limitações em superar obstruções, tais como grandes matacões e raízes.</li> <li>• O custo dos equipamentos é alto.</li> <li>• Necessita execução de poço de partida e recepção.</li> </ul>

Fonte: ABRAHAM et al. (2002).

### 3.4 COMPARAÇÃO ENTRE O MÉTODO DESTRUTIVO E OS MÉTODOS NÃO-DESTRUTIVOS

A comparação direta entre o método destrutivo e o método não-destrutivo não é trivial. Uma série de fatores devem ser considerados. Como já visto anteriormente, além dos aspectos econômicos, devem ser considerados também os custos sociais e ambientais.

A primeira comparação a ser realizada está no quesito tecnologia. Naturalmente o método destrutivo lança mão de tecnologias mais simples de serem empregadas quando comparadas aos métodos não destrutivos. Por outro lado, quando são considerados os possíveis transtornos causados durante uma obra de implantação de rede subterrânea, os métodos não destrutivos aparentam realizar menores intervenções, serem mais mecânicos e automatizados, e exigirem menos etapas quando comparados ao tradicional método destrutivo. Nestes casos, os MNDs podem imprimir uma maior agilidade na execução dos serviços.



Segundo Righi (2015), “De maneira geral, o método destrutivo ainda apresenta um custo de execução menor, porém os transtornos que ele causa, principalmente nos centros urbanos, têm inviabilizado o seu uso em detrimento dos métodos não destrutivos”. A figura 3.27 apresenta interdições totais e parciais realizadas em vias urbanas durante a obra de implantação de uma nova rede pelo método destrutivo.



Figura 3.27 - Interdição de via em obra executada pelo método destrutivo. Fonte: <https://www.michiganautolaw.com/blog/2014/04/16/sb-896-speeding-construction-zones/> e [https://www.girosa.com.br/images/articles/9333/b2ap3\\_large\\_WhatsApp-Image-2020-05-11-at-14.45.53.jpeg](https://www.girosa.com.br/images/articles/9333/b2ap3_large_WhatsApp-Image-2020-05-11-at-14.45.53.jpeg) (acessado em 17/07/2021).

Righi (2015) menciona que: “Quando a rede é executada pelo método não destrutivo e há a necessidade de ramais de ligação, deve ser executada uma rede auxiliar pelo método convencional paralela ao trecho. Sendo assim, para trechos de pequena profundidade, é mais viável executar diretamente com o método convencional. Mesmo havendo a necessidade de rede auxiliar, para a instalação de uma nova rede em trechos profundos, ainda é vantajoso executar o método não destrutivo, pois a escavação da rede auxiliar será de pequena profundidade e implicará em menor largura de escavação e pavimentação e maior rapidez de execução”.

Como dito anteriormente, os métodos não destrutivos reduzem significativamente os transtornos na superfície, tais como: interdição da via, ruídos, vibrações, poeira, reposição de pavimento e geração de resíduos. Além disso, os MNDs também podem trazer grandes vantagens à nível de subsolo, bem como:

- Evitar desmoronamentos;
- Evitar medidas custosas de estabilização do subsolo;
- Adaptar-se a uma grande variedade de solos incluindo argilas (moles a duras), areias (fofas a compactas), pedregulhos, matacões e até alterações de rocha;
- Ser empregado em solos com elevadas poro-pressões (300 kPa ou 30 m de coluna de água);

- Instalar tubulações com precisão de até 20 mm;
- Possuir vedação através de anéis de borracha, o que reduz muito os vazamentos;
- Minimizar os riscos humanos na frente de escavação;
- Aumentar a durabilidade da obra (tubos de alta resistência, até 40 MPa).

Hoje em dia, tendo em vista a urbanização e o maior acesso às políticas de saneamento, muitas localidades já contam com sistema de drenagem e abastecimento de água. Estes sistemas, em grandes centros urbanos, possuem tubulações de grandes diâmetros e profundidades variadas, o que dificulta a execução de novas redes e diversas vezes exige o seu aprofundamento para evitar interferências. Nestes casos, há que se considerar a utilização de métodos não destrutivos como alternativa aos métodos destrutivos.

Outro ponto positivo da utilização dos métodos não destrutivos está associado às vantagens relacionadas aos aspectos intangíveis que não são considerados no orçamento de uma rede executada pelo método destrutivo, como por exemplo, o caso de um comerciante que, possivelmente, teria seu faturamento reduzido durante uma obra executada pelo método destrutivo convencional, pois algum tipo de interdição (parcial ou total) ao entorno da obra iria ocorrer. Já no caso da implantação desta mesma rede por métodos não destrutivos poderia impactar muito menos no comércio local, pois as interdições ao entorno da obra são bem menores ou inexistentes. A figura 3.28 mostra uma pequena interdição realizada em uma grande obra de implantação de uma tubulação por MND na região do Sambódromo, zona comercial da cidade do Rio de Janeiro.



Figura 3.28 - Intervenção em trecho realizado em MND. Fonte: <https://revistaoe.com.br/passarelli-conclui-obras-rio-de-janeiro/> (acessado em 17/07/2021).

Para Dezotti (2008), os custos sociais dos métodos tradicionais com abertura de vala são significativamente maiores, pois as obras de instalação, manutenção e substituição de tubulações, em centros urbanos, através de métodos não-destrutivos, apresentam menor duração e causam menor interferência no tráfego de veículos.

Outra questão muito importante está associada ao impacto ambiental que o método a ser empregado pode gerar no entorno da obra. Por exemplo, a execução do método convencional, principalmente em ruas asfaltadas, gera uma grande quantidade de resíduos<sup>3</sup> que precisam ser destinados corretamente. Já os métodos não destrutivos podem gerar uma quantidade muito inferior de resíduos. Na figura 3.29a exemplifica a geração de resíduo em obra de MD e a figura 3.29b em obra executada por MND.



Figura 3.29 – Diferença da geração de resíduos entre o MD e o MND. Fonte: <https://www.tocantinsdiario.com.br/2020/07/08/conheca-o-panorama-de-obras-em-andamento-em-palmas-que-ampliarao-acesso-a-infraestrutura-urbana/> e <https://innovacaoinfra.com.br/metodos-nao-destrutivos> (acessado em 17/07/2021).

De uma forma geral, no quesito segurança, o método não destrutivo possui grande vantagem, pois, a maioria dos métodos, não oferece risco ao trabalhador, visto que este não precisa trabalhar dentro da vala. Já no método convencional, quanto maior a profundidade da escavação, maior o risco de desmoronamento e, conseqüentemente, maiores são as chances de o trabalhador sofrer algum tipo de acidente. Por isso a execução de redes em grandes profundidades pelo método convencional requer cuidados especiais relacionados ao quesito segurança. A figura 3.30a mostra a insegurança do MD durante a escavação e o assentamento da rede, a figura 3.30b mostra a entrada de trabalhadores nos poços de serviços que são escorados e revestidos aumentando a segurança com relação ao desmoronamento.

---

<sup>3</sup> Como por exemplo a remoção de um trecho de asfalto de 100 metros de comprimento, 1,5 metros de largura e 5 centímetros de espessura, geraria, considerando um empolamento de 30%, o volume de resíduo de quase 10m<sup>3</sup>. Este volume seria suficiente para encher um caminhão caçamba de médio porte.



Figura 3.30 – Comparação entre MD e MND com relação à segurança do trabalho. Fonte: <https://www.olavarria.gov.ar/en-el-barrio-san-lorenzo-avanza-la-construccion-del-nuevo-conducto-pluvial/> e <https://www.trenchlessolutions.co.uk/30m-pilot-bore-at-chadderton-police-station/> (acessado em 17/07/2021).

Quando comparado ao método destrutivo, a principal desvantagem do método não destrutivo é o elevado custo de implantação, visto que a mobilização dos equipamentos requer maiores recursos financeiros, a mão de obra ser mais especializada e não haver tanta concorrência entre empresas que executem o método.

### 3.5 APLICAÇÃO DE CRITÉRIOS DE ESCOLHA

#### 3.5.1 Generalidades

Devido a todos os aspectos mencionados até agora, naturalmente a primeira decisão a ser tomada seria escolher qual dos métodos de escavação utilizar para fazer a implantação de uma nova rede. Assim, existiriam duas possibilidades principais de metodologias: método destrutivo ou métodos não destrutivos.

Caso a opção seja por métodos destrutivos, deverão ser seguidos os tradicionais passos determinados pelas normas da ABNT ou as diretrizes regionais, como por exemplo a CEDAE<sup>4</sup>, no estado do Rio de Janeiro.

Caso a opção seja pelos métodos não destrutivos, surge a dúvida de qual deles utilizar: perfuração por percussão, perfuração por cravação; HDD; *pipejacking* ou micro-túneis.

Neste sentido, seria bom que algum critério de escolha bem definido fosse empregado para auxiliar qual seria a opção mais adequada para cada situação. Assim,

<sup>4</sup> Durante o período de realização deste trabalho procurou-se encontrar algum documento oficial da CEDAE que transcrevesse as diretrizes regionais aplicáveis para escavação de valas para assentamento de redes coletoras de esgoto no estado do RJ. Infelizmente, não foi possível obter nenhum documento que tratava diretamente deste assunto.

naturalmente, aparece a necessidade da aplicação de dois critérios: o primeiro associado ao tipo de escavação (destrutiva ou não destrutiva) e o segundo, caso se utilize MND como solução, seria um critério para escolha do tipo de MND mais adequado.

### 3.5.2 Proposta de critério de escolha entre MD e MND

Durante a realização deste trabalho procurou-se exaustivamente em bibliografias algum critério prático de escolha para ser apresentado e utilizado a fim de determinar qual método de escavação ideal para se utilizar em obras de assentamento de redes coletoras de esgoto: MD ou MND.

Como não foi encontrado nenhum critério, resolveu-se, de acordo com a experiência adquirida pelo autor deste trabalho, associado a obra que está sendo analisada (trecho de uma rede de esgotamento sanitário da bacia Aroazes - Jacarepaguá, RJ), propor a sugestão de um critério prático para a escolha entre o método destrutivo e o método não destrutivo para o assentamento da tubulação.

Naturalmente, o critério que está sendo apresentado leva em consideração diversas particularidades que foram vividas pelo autor deste trabalho durante o período em que esteve à frente, como estagiário de engenharia civil, da obra de assentamento da rede coletora de esgoto em questão.

Alguns pontos tangentes ao assunto foram selecionados para serem investigados preliminarmente a elaboração do projeto executivo da rede coletora de esgoto. É importante ressaltar que esses itens escolhidos consideram aspectos econômicos, sociais e ambientais para a execução de uma obra desse porte. Seria de grande valia que o critério de escolha entre MD e MND fosse empregado após a realização do projeto básico e que uma investigação geotécnica preliminar, sendo composta pelo menos por sondagens de simples reconhecimento para identificação de características básicas do subsolo (areia, silte, argila ou rocha) e nível d'água. Um resumo desses tópicos é listado a seguir:

- A região é povoada?
- Pode ser considerado centro urbano?
- Existe transporte público no entorno?
- Qual o tipo de pavimentação existente?
- Existem redes subterrâneas?
- Existe previsão de travessias?
- Existe nível d'água elevado?

- Qual a previsão da profundidade das redes a serem instaladas?
- Quais são as características do subsolo?

A partir dessas questões, uma tabela de preenchimento simples foi elaborada para auxiliar uma possível tomada de decisão entre qual metodologia utilizar para o assentamento de uma tubulação. A tabela 3.9 apresenta uma adaptação da proposta de “*checklist*” elaborada por Fonseca et al (2014) para auxiliar a escolha entre MD e MND na execução de redes subterrâneas.



Tabela 3.9 - Sugestão de critério de escolha entre MD e MND, adaptada de Fonseca e et. al (2014).

Item	Características	Obra:		
		Trecho:		
		Responsável:		
		Situação		OBSERVAÇÕES
SIM	NÃO			
<b>1</b>	<b>Região povoada</b>			
1.1	Casas			
1.2	Condôminios de casas			
1.3	Prédios Residenciais			
1.4	Condomínio de prédios residenciais			
1.5	Prédios Comerciais/Empresariais			
1.6	Outros			
<b>2</b>	<b>Centro urbano</b>			
2.1	Lojas comerciais			
2.2	Shoppings centers			
2.3	Supermercados			
2.4	Casas de shows			
2.5	Estádios			
2.6	Posto de combustível			
2.7	Outros			
<b>3</b>	<b>Transporte público</b>			
3.1	Ônibus			
3.2	BRT			
3.3	Metro			
3.4	Trem			
3.5	Outros			
<b>4</b>	<b>Pavimentação</b>			
4.1	Asfáltica			
4.2	Pavers			
4.3	Concreto			
4.4	Outros			
<b>5</b>	<b>Redes Subterrâneas</b>			
5.1	Água			
5.2	Esgoto			
5.3	Gás			
5.4	Drenagem Pluvial			
5.5	Rede Elétrica			
5.6	Telecomunicações			
5.7	Outros			
<b>6</b>	<b>Travessias</b>			
6.1	Ruas			
6.2	Estradas/Avenidas			
6.3	Rodovias			
6.4	Rios			
6.5	Ferrovias			
6.6	Portarias/Garagens			
6.7	Outros			
<b>7</b>	<b>Previsão profundidade rede</b>			
7.1	0m-2,5m			
7.2	2,5m-6m			
7.3	maior que 6m			
<b>8</b>	<b>Nível D'água elevado</b>			
<b>9</b>	<b>Característica do terreno</b>			
9.1	Areia			
9.2	Silte			
9.3	Argila			
9.4	Rocha			

Para uma escolha adequada entre qual metodologia deve ser empregada (MD ou MND) é importante que as características abordadas sejam mais detalhadas. Assim, sugere-se que no campo das “observações” algumas informações relevantes do trecho analisado sejam destacadas. A seguir, apresenta-se algumas sugestões de quais informações podem ser acrescentadas, de forma quantitativa, para esclarecer, da melhor forma possível, o quão relevante é a característica para a região em estudo.

1 - Região povoada - Estimar a quantidade de cada subitem, por exemplo: 25 casas, 10 edifícios etc. Também pode ser um bom parâmetro apresentar o número de habitantes no entorno da obra.

2 - Centro urbano - Analogamente, sugere-se estimar a quantidade de cada subitem, por exemplo: 150 lojas comerciais, 2 supermercados, 1 posto de gasolina etc.

3 - Transporte público - Uma boa referência seria apresentar a quantidade de estações ou paradas do respectivo meio de transportes ao longo do trecho por onde serão realizadas as intervenções, por exemplo: 2 estações de BRT, 1 estação de Metrô, 22 pontos de ônibus etc.

4 - Pavimentação - Sugere-se apresentar a extensão dos trechos que serão executados nos respectivos tipos de superfícies, por exemplo: 950 metros em asfalto, 540 metros em passeio de concreto etc.

5 - Redes subterrâneas - Após identificar a existência de possíveis interferências na rede, sugere-se apresentar os diâmetros das tubulações, caso conhecido, e sua localização, por exemplo: rede de gás em PEAD 150mm na esquina da rua X com avenida Y etc.

6 - Travessias - Quantificar os pontos onde será necessário realizar intervenções através de travessias ou não, e se possível classificá-las, por exemplo: Travessia subterrânea da BR-101, travessia aérea do rio Sarapuí, atravessar 6 portarias de condomínios etc.

7 - Previsão de profundidade da rede - Em cada subitem, pode-se estimar o comprimento de rede que será assentada e os diâmetros das tubulações dentro dos intervalos propostos, por exemplo: 500 metros com DN 250, 300 metros com DN 400. Eventualmente, quando existir mais de um diâmetro de tubulação a ser assentado entre os intervalos, pode-se somar as extensões e apresentar os diâmetros, por exemplo: 900 metros com DN 150 e DN 200 etc.

8 - Nível d'água elevado - Apresentar o nível do lençol freático aproximado encontrado através das sondagens de reconhecimento, por exemplo: entre 1,80m e 2,20 de profundidade etc.



9 - Característica do terreno - Caso o solo seja composto por misturas, como por exemplo: “silte-argiloso”, deve-se marcar os campos “silte” e “argila” e especificar no campo das observações “silte-argiloso”.

Em seguida, é necessária sensibilidade por parte do engenheiro responsável pela elaboração do projeto e/ou execução da obra, para analisar as informações levantadas com o método descrito acima.

Cabe ressaltar algumas características observadas pelo autor do presente trabalho nas obras que estagiou. Essas características também devem ser consideradas na hora de escolher entre a utilização do método destrutivo ou não destrutivo, são elas:

- Se a região onde se executará a rede já for pavimentada, considerar a necessidade de movimentação das máquinas como retroescavadeiras, escavadeiras hidráulicas e/ou caminhões, danificando o pavimento desnecessariamente;
- Se as profundidades forem elevadas, considerar o grande volume de material a ser escavado, transportado e descartado corretamente;
- Se o nível do lençol freático for muito acima da cota de assentamento da rede, considerar a possibilidade de emprego do sistema de rebaixamento por meio de ponteiros filtrantes ou poços profundos (estudo de vizinhança);
- Considerar o quesito relacionado à segurança dos operários trabalhando em valas com profundidades elevadas;
- Analisar os possíveis impactos no comércio local e as intervenções no trânsito de veículos e pedestres devido às obras realizadas;
- Atentar-se às possíveis interdições de portarias e garagens de edifícios que impossibilita a entrada ou saída de moradores;
- Caso exista escavação em solos de baixa resistência ou em solos rochosos, considerar as dificuldades de se utilizar técnicas não convencionais.

Por fim, baseado nas informações apresentadas na sugestão de “*checklist*” do autor, na análise subjetiva dos resultados encontrados, e com base na experiência profissional do responsável pela tomada de decisão, cabe ao engenheiro escolher o método mais adequado para a região estudada: MD ou MND. A escolha impactará diretamente na elaboração dos projetos executivos e no orçamento da obra, portanto sugere-se também realizar um estudo de viabilidade técnica e financeira para o método.

### 3.5.3 Proposta de critério para escolha do MND adequado

Neste caso, durante a pesquisa bibliográfica deste trabalho, foi encontrado um critério prático para a escolha do método não destrutivo a ser empregado em obras de

instalação de redes subterrâneas. O trabalho de Gomes de Moraes (2018) apresenta, de uma forma bem resumida e prática, tal critério de escolha.

Gomes de Moraes (2018) menciona que cada método não destrutivo possui suas próprias características e possibilidade de emprego. Devido à grande diversidade de métodos, além da reduzida aplicação deles até poucos anos atrás, há uma dificuldade de escolha, por parte do engenheiro, do MND mais adequado para execução de uma determinada rede.

Este critério considera os seguintes métodos não destrutivos: perfuração horizontal direcional (HDD), cravação de tubulação, “*NATM*” e “*Tunnel Liner*”.

A seguir apresenta-se um roteiro resumido de como aplicar o critério prático de escolha de Gomes de Moraes (2018).

#### 3.5.3.1 Metodologia do critério de Gomes de Moraes (2018)

A metodologia utilizada por Gomes de Moraes (2018) é proposta a partir do conhecimento dos métodos de execução não destrutivos de implantação de novas redes. Assim, são elencadas as principais restrições para o trecho que está sendo considerado a instalação da tubulação. Para cada uma dessas restrições é atribuída uma pontuação. Essa pontuação possui as seguintes características:

- Varia de 0 a 5 de acordo com a intensidade da restrição associada ao impacto causado na execução de um determinado MND;
- Dá-se a pontuação mínima (0) para aquele MND onde a restrição tem menor impacto na execução;
- Dá-se a pontuação máxima (5) para o MND onde a restrição tem maior impacto na execução. Neste caso a restrição poderia inviabilizar ou necessitar de medidas severas para viabilizar a execução daquele método;
- Pontuações intermediárias (1 a 4) são aplicáveis de acordo com a viabilidade da execução do MND associado àquela restrição.

Desta maneira, Gomes de Moraes (2018) elaborou uma tabela na qual é possível, a partir de um critério prático orientativo, associado a determinadas restrições, auxiliar o engenheiro a definir o MND mais adequado para sua obra. A tabela 3.10 apresenta o critério prático de escolha elaborado por Gomes de Moraes (2018), com os valores sugeridos por aquele autor.

Tabela 3.10 - Critério original prático de escolha entre MNDs, Gomes de Moraes (2018).

RESTRICÇÃO	MÉTODOS			
	HDD	TUBO CRAVADO	NATM	TUNNEL LINER
Solos Arenosos	3	0	5	5
Solos Moles	5	3	4	5
Solos Rochosos	4	4	2	3
Nível do lenço freático	0	0 <sup>1</sup>	4	4
Acompanhamento topográfico	2	2	4	4
Produtividade	1	3	5	4
Segurança do trabalho	1	3	5	5
Limitação em função da declividade da rede	4	0	0	0
Utilização de lama e sua disposição final	4	3	0	0
Espaço ocupado na superfície	3	5	2	1
Mudanças de direção	0	5	0	2
Nível de instrução da equipe	4	5	2	2
Estresse na tubulação durante a execução	5	3	0	0
Custo de aquisição dos equipamentos	4	5	1	2
Recalque na superfície	3	3	5	5
Sensibilidade a interferências	5	5	5	5

Conforme definido, neste trabalho os métodos não destrutivos abordados são ligeiramente diferentes dos MNDs apresentados no critério prático de Gomes de Moraes (2018). Assim, para a utilização do critério foi necessária uma adaptação dos métodos. Lembrando que a escolha foi baseada nos métodos não destrutivos definidos pela ABRATT (2006) para implantação de novas tubulações subterrâneas. Portanto, o novo critério adaptado de Gomes de Moraes (2018) propõe os seguintes MNDs:

- Perfuração horizontal direcional (HDD);
- Cravação de tubos ("*pipejacking*");
- Micro-túneis ("*microtunneling*");
- Perfuração por cravação ("*pipe ramming*");
- Perfuração por percussão ("*mole*").

A tabela 3.11 apresenta o novo critério para escolha do método não destrutivo mais adequado para a implantação de uma nova rede subterrânea. Para melhor diferenciá-

los, em alguns casos apresentados na tabela 3.11 os MNDs tiveram seus nomes escritos em inglês.

Tabela 3.11 - Novo critério de escolha entre MNDs.

RESTRIÇÃO	PESO	MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS				
		Perfuração Horizontal Direcional (HDD)	Cravação de tubos ("pipejacking")	Micro-túneis	Perfuração por cravação ("piperamming")	Perfuração por percussão ("mole")
Solos arenosos		3	0	1	2	2
Solos argilosos		5	3	2	1	1
Solos Rochosos		4	4	4	5	5
Nível do lençol freático		0	0	0	4	3
Acompanhamento topográfico		2	2	2	2	1
Produtividade		1	3	4	1	1
Segurança do trabalho		1	3	2	3	1
Limitação em função da declividade da rede		4	0	0	1	1
Limitação em função de diâmetros de pequeno porte (até 900mm)		1	3	3	2	3
Limitação em função de diâmetros de grande porte (acima de 900mm)		2	1	3	1	5
Utilização de lama e sua disposição final		4	3	1	0	0
Espaço ocupado na superfície		3	5	3	3	1
Mudanças de direção		0	5	5	5	5
Nível de instrução da equipe		4	5	5	4	2
Tensão na tubulação durante a execução		5	3	3	3	2
Custo de aquisição dos equipamentos		4	5	4	4	1
Recalque na superfície		3	3	3	2	2
Sensibilidade a interferências		5	5	5	5	5
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>	<b>0</b>

Fonte: adaptado de Gomes de Moraes (2018).

Observa-se na tabela 3.11 que foram mantidas todas as restrições<sup>5</sup> originais do critério prático de Gomes de Moraes (2018). Além disso, foi inserida uma nova restrição associada a “limitação em função do diâmetro da tubulação da rede - pequeno e grande porte” e acrescentaram-se uma coluna associada ao “peso das restrições para o projeto” e uma nova linha referente ao “somatório de pontos obtidos por cada método”.

Para a utilização deste novo critério deve-se, a partir da tabela 3.11, adaptada de Gomes de Moraes (2018), preencher a coluna “peso” de acordo com as características do

<sup>5</sup> Foi alterada a descrição de “solos moles” para “solos argilosos”.

projeto executivo, dos resultados encontrados na investigação do subsolo e das características da região que servirá para ponderar as restrições.

A seguir, apresenta-se uma sugestão de como escolher o peso associado a cada restrição:

- Peso 0 - Restrição inexistente no projeto ou na região obra, 0%;
- Peso 1 - Restrição com baixa incidência no projeto ou na região obra, 1% a 25%;
- Peso 2 - Restrição com incidência moderada no projeto ou na região da obra, 26% a 50%;
- Peso 3 - Restrição com alta incidência no projeto ou na região da obra, 51% a 75 %;
- Peso 4 - Restrição predominante no projeto ou na região da obra, 76% a 99%;
- Peso 5 - Restrição integral no projeto ou na região da obra, 100%.

Em seguida, deve-se multiplicar cada restrição pelo peso considerado e realizar o somatório para cada método. Com efeito, o MND que apresenta menor somatório de pontos seria o método não destrutivo, naturalmente dentre os considerados, mais adequado a ser implantado na execução da nova rede projetada.

É importante lembrar que, o engenheiro com a responsabilidade de determinar o tipo do MND a ser adotado, deverá ter conhecimento suficiente do projeto em questão para saber se a metodologia escolhida é realmente aplicável. Caso a metodologia que apresentar o menor somatório não for aplicável, deverá ser desconsiderada, sendo então adotada a metodologia subsequente de menor somatório.

## **4 ESTUDO DE CASO: IMPLANTAÇÃO DE REDE DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO EM JACAREPAGUÁ - RJ.**

### **4.1 GENERALIDADES**

Este capítulo aborda o estudo de caso do projeto e execução para implantação de rede coletora de esgoto no bairro de Jacarepaguá na cidade do Rio de Janeiro.

O projeto original foi elaborado e executado de acordo com as normas técnicas brasileiras vigentes. Dessa forma, tanto os materiais e processos, bem como os métodos utilizados, foram os tradicionais para este tipo de obra.

Vale destacar que os métodos de escavação para implantação da rede coletora de esgoto seguiram os padrões convencionais, ou seja, com a utilização de métodos destrutivos.

Assim a seguir, naturalmente, as etapas construtivas referente ao projeto executivo original são apresentadas e detalhadas.

Posteriormente, uma visão de acordo com uma postura mais moderna, associada aos métodos de escavação, também é proposta para uma eventual alteração de parte do projeto executivo original. Nesse contexto, é verificada a viabilidade da aplicação de métodos não destrutivos para trechos considerados críticos em um grande centro urbano.

### **4.2 CARACTERIZAÇÃO DO LOCAL DA OBRA**

A obra estudada está localizada no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro. A rede coletora de esgoto a ser implantada percorre importantes vias de trânsito de veículos e pedestres, tais como Avenida Embaixador Abelardo Bueno e a Rua Francisco de Paula. Vale mencionar que um dos trechos da obra está situado bem perto da Avenida Salvador Allende, importante via de conexão entre diversos bairros da região, e possui um tráfego de aproximadamente 97 mil veículos por dia (<https://www.sinfrerj.org.br/site/index.php/textos/pagina/152/Estatisticas-de-volume-de-traffic>, acessado em 28/07/2021). Ressalta-se que na região da obra situada na Avenida Embaixador Abelardo Bueno encontram-se: o Parque Olímpico do Rio de Janeiro, o Centro Aquático Maria Lenk, o Jeunesse Arena, o Condomínio Rio 2, além do Supermercado Mundial. Todos esses empreendimentos movimentam milhares de pessoas diariamente naquela área. A figura 4.1 apresenta um panorama geral da região do local da obra.



Figura 4.1 - Detalhe da localização da obra de implantação da rede de esgotamento sanitário no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro. Fonte: adaptado de <https://www.google.com/maps/@-22.972364,-43.3705648,16818m/data=!3m1!1e3> (acessado em 21/06/2021)

Vale destacar que o BRT, importante meio de transporte na cidade do Rio de Janeiro, passa justamente pela Av. Embaixador Abelardo Bueno. Nas imediações da obra de implantação da rede coletora de esgoto estudada encontram-se: o Terminal do Centro Olímpico e duas Estações - Parque Olímpico e Rio 2. A figura 4.2 apresenta em detalhe os três pontos de BRT citados, além de uma visão da avenida perto de um dos principais cruzamentos existentes, Avenida Emb. Abelardo Bueno com Estrada Coronel Pedro Corrêa. Ressalta-se que é neste cruzamento que está prevista a interligação da rede coletora de esgoto em epígrafe com a rede coletora de esgotamento sanitário existente na região.



Figura 4.2 - Detalhe das estações do BRT na região perto da implantação da rede coletora de esgotos e visão desde uma das pistas da Avenida Abelardo Bueno em um cruzamento muito importante na via. Fonte: adaptado de <https://www.google.com/maps/@-22.9716387,-43.3907045,1142m/data=!3m1!1e3>, (acessado em 21/06/2021).

Os bairros de Jacarepaguá e Barra da Tijuca no município do Rio de Janeiro vem passando por uma rápida expansão, tendo seu grande impulso de ocupação na década de 1970, mas que perdura em menor escala até hoje (RIGUETTI, 2009). No período entre 1960 a 2013, a população da Barra da Tijuca cresceu quase 10 vezes mais que a do município do Rio de Janeiro, causando um aumento significativo da densidade populacional da região (DATA RIO, 2013).

A região dispõe de infraestrutura de saneamento básico como rede de abastecimento de água, dispositivos de drenagem e coleta de resíduos sólidos, e infraestrutura de telecomunicações como TV a cabo, fibra óptica, fornecimento de gás encanado. Entretanto, o esgoto gerado nas edificações é tratado internamente por Estações de Tratamento de Esgotos (ETE) próprias e depois despejado nas galerias pluviais já existentes na região. Essa alternativa é encontrada quando o poder público não consegue acompanhar o ritmo da expansão, carecendo de infraestrutura urbana de esgoto.

Com isso, a região pode ser afetada pelo lançamento inadequado de esgoto doméstico e resíduos industriais em seus corpos d'água, prejudicando a qualidade das águas, com riscos de propagação de doenças de veiculação hídrica, além da ocupação irregular de suas margens. De fato, o Complexo Lagunar de Jacarepaguá (CLJ), vem sofrendo um processo de eutrofização devido ao enriquecimento de nutrientes, potencializado pelo lançamento de despejos domésticos em suas águas (CERQUEIRA, 2006; SILVA, 2004).

A degradação da qualidade da água tem causado modificações significativas em suas condições físico-químicas, nas comunidades biológicas no ambiente e na produtividade do sistema, prejudicando o exercício dos usos múltiplos da Lagoa (PIMENTA; MARQUES, 2003). A figura 4.3 apresenta o complexo lagunar de Jacarepaguá e as estações de monitoramento da lagoa de Marapendi.





Figura 4.3 - Mapa de localização do Complexo Lagunar de Jacarepaguá e estações de monitoramento da Lagoa de Marapendi. Fonte: adaptado de Lyra, Gabriela & Yabuki, Lauren & Queluz, João & Garcia, Marcelo (2020).

#### 4.3 MEMORIAL DESCRITIVO DO PROJETO

O planejamento e execução do projeto da rede de esgotamento sanitário faz parte das ações de despoluição e recuperação do Complexo Lagunar de Jacarepaguá. Estima-se que a população beneficiada diretamente é de 25 mil habitantes. Entretanto, cerca de 700 mil moradores dos bairros da Barra da Tijuca, Jacarepaguá e Recreio dos Bandeirantes seriam impactados indiretamente pelas melhorias.

A obra propõe a implantação de quase 2,5 km de rede para esgotamento sanitário da Avenida Embaixador Abelardo Bueno, rua Francisco de Paula, rua Jorge Faraj, rua Aroazes e rua Queiroz Junior. Os diâmetros das tubulações variam entre 150mm e 400mm, todos funcionando em regime de lâmina livre. As tubulações com diâmetros entre 150mm a 300mm são de PVC corrugado e as tubulações com diâmetro de 400mm de concreto armado. A figura 4.4a apresenta o tubo de PVC corrugado com diâmetro de 250mm e a figura 4.4b o tubo de concreto armado com diâmetro de 400mm.



Figura 4.4 - (a) tubo de PVC de diâmetro 250 mm e (b) tubo de concreto armado, diâmetro de 400mm.

No principal trecho da obra, Avenida Embaixador Abelardo Bueno, são quase 1.472 m de implantação de rede coletora de esgoto, que conta também com a execução de 38 PVs e interligação da rede projetada em 3 PVs existentes, sendo um deles na esquina com Est. Cel. Pedro Corrêa, importante via do bairro. Na rua Francisco de Paula são cerca de 730 m de implantação de rede coletora de esgoto, execução de 13 PVs e interligação em 3 PVs existentes. Já na rua Jorge Faraj são quase 215 m de rede esgoto e execução de 3 PVs. Na rua Aroazes são 162 m de rede de esgoto sanitário e execução de 3 PVs e por fim na Rua Queiroz Júnior, cerca de 200 m de tubulação e execução de 5 PVs. A figura 4.5 mostra o traçado do projeto executivo para a implantação da rede coletora de esgotamento sanitário na Av. Emb. Abelardo Bueno e nas outras ruas citadas.



Figura 4.5 - Traçado da rede de esgoto da obra estudada, no bairro de Jacarepaguá. Fonte: adaptado de <https://www.google.com.br/maps/@-22.9707978,-43.392056,865m/data=!3m1!1e3> (acessado em 06/07/2021).

A seguir apresenta-se na tabela 4.1 um resumo da rede coletora de esgoto com ênfase nos dados pertinentes para o processo de assentamento de tubulação: localização do trecho, extensão e diâmetro do tubo.

Tabela 4.1 - Resumo do projeto com ênfase na parte de execução das valas para assentamento da tubulação.

RUA	DN	EXTENSÃO (m)
Av. Abelardo Bueno	150	860,07
	200	273,15
	250	250,86
	300	87,58
Francisco de Paula	150	135,83
	200	263,05
	400	330,92
Jorge Faraj	200	80,00
	250	134,78
Aroazes	150	17,93
	200	144,06
Queiroz Júnior	150	199,27

Na Tabela 4.2a, 4.2b e 4.2c estão as informações pertinentes à execução dos novos PVs: localização, numeração e profundidade. Na tabela 4.2d apresenta-se um resumo das informações referente a interligação da rede coletora com os PVs existentes.

Tabela 4.2: Resumo do projeto com ênfase na localização e características dos PV's.

PV	RUA	PROF.
PV049	AV. ABELARDO BUENO	0,800
PV019	AV. ABELARDO BUENO	1,050
PV051	AV. ABELARDO BUENO	1,050
PV052	AV. ABELARDO BUENO	1,050
PV055	AV. ABELARDO BUENO	1,050
PV021	AV. ABELARDO BUENO	1,117
PV020	AV. ABELARDO BUENO	1,156
PV013	AV. ABELARDO BUENO	1,180
PV014	AV. ABELARDO BUENO	1,180
PV023	AV. ABELARDO BUENO	1,200
PV022	AV. ABELARDO BUENO	1,223
PV015	AV. ABELARDO BUENO	1,224
PV050	AV. ABELARDO BUENO	1,241
PV053	AV. ABELARDO BUENO	1,266
PV024	AV. ABELARDO BUENO	1,294
PV054	AV. ABELARDO BUENO	1,377
PV056	AV. ABELARDO BUENO	1,384
PV057	AV. ABELARDO BUENO	1,458
PV025	AV. ABELARDO BUENO	1,496
PV016	AV. ABELARDO BUENO	1,502
PV058	AV. ABELARDO BUENO	1,710
PV026	AV. ABELARDO BUENO	1,711
PV027	AV. ABELARDO BUENO	1,824
PV059	AV. ABELARDO BUENO	1,826
PV017	AV. ABELARDO BUENO	1,837
PV060	AV. ABELARDO BUENO	1,934
PV062	AV. ABELARDO BUENO	2,114
PV061	AV. ABELARDO BUENO	2,126
PV040	AV. ABELARDO BUENO	2,840
PV039	AV. ABELARDO BUENO	2,872
PV041	AV. ABELARDO BUENO	3,096
PV044	AV. ABELARDO BUENO	3,170
PV042	AV. ABELARDO BUENO	3,175
PV045	AV. ABELARDO BUENO	3,194
PV043	AV. ABELARDO BUENO	3,231
PV046	AV. ABELARDO BUENO	3,425
PV047	AV. ABELARDO BUENO	3,526
PV048	AV. ABELARDO BUENO	3,662

(a)

PV	RUA	PROF.
PV001	FRANCISCO DE PAULA	1,050
PV002	FRANCISCO DE PAULA	1,124
PV003	FRANCISCO DE PAULA	1,191
PV004	FRANCISCO DE PAULA	1,463
PV018	FRANCISCO DE PAULA	1,680
PV005	FRANCISCO DE PAULA	1,804
PV006	FRANCISCO DE PAULA	1,970
PV007	FRANCISCO DE PAULA	2,304
PV008	FRANCISCO DE PAULA	2,650
PV011	FRANCISCO DE PAULA	2,668
PV010	FRANCISCO DE PAULA	2,710
PV012	FRANCISCO DE PAULA	2,984
PV009	FRANCISCO DE PAULA	3,230

(b)

PV	RUA	PROF.
PV063	CEL. PEDRO CORREA	2,073
PV037	JORGE FARAJ	2,771
PV036	JORGE FARAJ	2,801
PV038	JORGE FARAJ	2,839
PV033	AROAZES	2,233
PV034	AROAZES	2,495
PV035	AROAZES	2,717
PV028	QUEIROZ JÚNIOR	1,050
PV029	QUEIROZ JÚNIOR	1,533
PV030	QUEIROZ JÚNIOR	1,561
PV031	QUEIROZ JÚNIOR	2,003
PV032	QUEIROZ JÚNIOR	2,105

(c)

PV	RUA	PROF.
EX002	AV. ABELARDO BUENO	1,979/3,594
EX006	AV. ABELARDO BUENO	1,567
EX007	AV. ABELARDO BUENO	1,447
EX001	FRANCISCO DE PAULA	1,703/3,520
EX003	FRANCISCO DE PAULA	1,200
EX004	FRANCISCO DE PAULA	1,570
EX005	CEL. PEDRO CORREA	2,202

(d)

O Anexo A apresenta o Projeto Executivo do objeto de estudo deste capítulo, com o traçado da rede coletora de esgoto projetada e do coletor tronco existente, seus poços de visitas com as cotas de topo e base. Além disso, pode-se observar nos PVs suas profundidades estimadas de escavação e os comprimentos dos trechos e diâmetros da tubulação.

#### 4.4 ATIVIDADES PRELIMINARES

##### 4.4.1 Licenciamento Municipal

Esta etapa compreende a fase de legalização do empreendimento perante aos órgãos fiscalizadores do meio ambiente. A Secretaria Municipal de Meio Ambiente da Cidade (SMAC), no uso das atribuições que lhe são conferidas pelo Decreto Municipal 40.772 de 08 de outubro de 2015 é responsável por conceder as licenças necessárias. São instrumentos do Sistema Municipal de Licenciamento Ambiental os seguintes:

- Licença Municipal Prévia (LMP): é concedida na fase preliminar do planejamento do empreendimento ou atividade, aprova, exclusivamente, a sua localização e concepção, atestando a viabilidade ambiental e estabelecendo os requisitos básicos, restrições e condicionantes a serem atendidos na elaboração de projetos a serem avaliados nas próximas fases de sua implementação.

- Licença Municipal de Instalação (LMI): é concedida antes de iniciar-se a implantação do empreendimento, atividade ou obra de acordo com as especificações constantes dos projetos aprovados, incluindo as medidas de controle ambiental e demais condicionantes.

- Licença Municipal de Operação (LMO): autoriza a operação de atividade ou empreendimento, após a verificação do efetivo cumprimento das medidas de controle ambiental e demais condicionantes determinadas para a operação.

A execução de obras, reparos e serviços nas vias públicas da cidade do Rio de Janeiro também depende de licenciamento pela COMISSÃO COORDENADORA DE OBRAS E REPAROS EM VIAS PÚBLICAS – SC/COR-VIAS, exceção feita, apenas, às obras, aos reparos e serviços executados pela Secretaria Municipal de Conservação por administração direta e indireta. Portanto, no uso das atribuições que lhe são conferidas, o órgão é responsável pela emissão da Licença para Execução de Obra Programada em Vias Públicas que visa garantir que os serviços sejam executados conforme os Padrões



estabelecidos pela Resolução SECONSERMA nº 07 de 09/07/2010. Sendo algumas das condições:

A. As obras no passeio deverão ser executadas sem interferir no tráfego.

B. As obras na pista deverão ser executadas em etapas distintas, sem interromper o tráfego, ocupando o espaço mínimo necessário.

C. As obras na pista não poderão ser executadas no horário definido pelo órgão fiscalizador, devendo a pista ficar totalmente liberada e em condições de tráfego, nesse período.

D. Portaria para interdição de via junto à CVR/SMTR.

A licença então é emitida com vista da CET-RIO, IH-COR-VIAS, e Gerência de Conservação (GC).

#### 4.4.2 Investigação do Subsolo

Antes de iniciar a obra, a empresa responsável pela execução deve obter junto à Prefeitura Municipal o cadastro da rede de drenagem pluvial e junto às concessionárias de serviços públicos os seus respectivos cadastros, para análise de interferências nas áreas previstas para a execução das obras (CEDAE, 2019).

Para ajudar nas decisões dos métodos a serem utilizados para escavação das valas para assentamento da tubulação da rede de esgoto sanitário foi realizada uma campanha preliminar de investigação geotécnica com a execução de sondagens a percussão com medida de SPT índice. A figura 4.7 mostra uma das sondagens a percussão sendo executada na rua Francisco de Paula em Jacarepaguá. Ressalta-se que uma das faixas da rua, que é mão dupla, teve que ser parcialmente interditada durante a execução das sondagens.



Figura 4.7 - Execução de sondagem a percussão na Rua Francisco de Paula, Jacarepaguá.

Nesta campanha foram planejados 75 furos de 6,0 metros de profundidade com os primeiros 3,0 m de sondagem com reconhecimento a trado manual de 4", e os últimos 3,0 m de sondagem a percussão, em terreno comum, com ensaio de penetração (SPT índice) ao longo de todo furo, diâmetro de 3". Também estava previsto 4 furos de 10 metros de profundidade de sondagem a percussão, sob lâmina d'água, com ensaio de penetração, diâmetro de 3" que foram realizados na rua Francisco de Paula de acordo com a figura 4.8. Alguns dos boletins das sondagens realizadas no local da obra foram apresentados no Anexo B.



Figura 4.8 – Localização das sondagens de reconhecimento. Fonte: adaptado de <https://www.google.com.br/maps/@-22.9707978,-43.392056,865m/data=!3m1!1e3> (acessado em 06/07/2021)

#### 4.4.3 Levantamento Planialtimétrico

Durante esta etapa, a equipe de topografia realizou os serviços de planialtimetria a fim de encontrar as referências de nivelamento (RN) implantando no mínimo um RN secundário por quadra.

Posteriormente, a partir da localização dos PVs existentes e o comprimento dos trechos informados no projeto executivo, iniciou-se o estaqueamento e a marcação dos PVs a serem executados. Ao final, a equipe retornou as marcações feitas para execução dos PVs a fim de encontrar as cotas do terreno para emitir a Ordem de Serviço (OS) do trecho.

Esta etapa influi diretamente no bom funcionamento da rede e no planejamento da obra, pois a OS emitida contém as informações necessárias para realização das etapas subsequentes como profundidade de escavação, diâmetro da tubulação, cota da linha d'água do tubo e estaca. A figura 4.9a mostra a equipe de topografia fazendo o nivelamento do trecho e na figura 4.9b a marcação realizada para execução do PV.



Figura 4.9 - Levantamento planialtimétrico em uma das calçadas da Avenida Embaixador Abelardo Bueno, bairro de Jacarepaguá.

Diante deste fato, SARMENTO (2014) considera necessário que a marcação do eixo das valas, onde serão executadas as redes, seja bastante precisa, pois caso a locação seja realizada sem o devido cuidado e perícia pela topografia, as redes poderão ficar fora do alinhamento, invadindo terrenos ou se sobrepondo às demais redes que virão a ser executadas.

A figura 4.10 mostra uma parte da OS emitida para execução do trecho entre os PVs EX002 e PV019 localizado na Av. Embaixador Abelardo Bueno.

		Local: Av. Abelardo Bueno						Nº 002/2021	
		ORDEM SERVIÇOS - ESGOTO SANITARIO				FL 01 / 02		Data= 11/03/2021	
ESTACA	TERRENO	FUNDO	DIAMETRO (mm)	INCLINAÇÃO	BANDEIRA/ PINO	GABARITO	PROFUNDIDADE	DIFERENÇA	
PV EXIST 02 E-0	2,300	0,321	200	0,00295	2,300	3,000	1,979	1,021	
E - 1	2,151	0,380	200	0,00295	2,114	3,000	1,771	1,266	
E - 2	2,135	0,439	200	0,00295	2,023	3,000	1,696	1,416	
PV - 27 E - 2 + 9,09	2,429	0,466 / 0,516	200 / 150	0,00295 / 0,00337	2,019	3,000	1,963	3,410	
PV - 26 E - 3 + 1,84	2,418	0,559	150	0,00337	2,027	3,000	1,859	1,532	
E - 4	2,100	0,622	150	0,00348	2,169	3,000	1,478	1,453	
E - 5	2,027	0,692	150	0,00348	1,968	3,000	1,335	1,704	
PV - 25 E - 5 + 3,47	2,200	0,704	150	0,00348	1,966	3,000	1,496	1,718	
PV - 24 E - 5 + 11,41	2,030	0,736	150	0,00403	1,973	3,000	1,294	1,763	
PV - 23 E - 6 + 1,73	1,980	0,780	150	0,00426	1,766	3,000	1,200	2,014	
PV - 22 E - 6 + 7,86	2,030	0,807	150	0,00440	1,776	3,000	1,223	2,031	
E - 7	2,010	0,862	150	0,00456	1,957	3,000	1,148	1,905	
E - 8	2,002	0,953	150	0,00456	1,969	3,000	1,049	1,964	
PV - 21 E - 8 + 4,30	2,09	0,973	150	0,00456	1,969	3,000	1,117	1,984	
TOPOGRAFIA		CONTRATANTE		CLIENTE		FISCALIZAÇÃO		DATA	

Figura 4.10 - Exemplo de Ordem de Serviço emitida para o trecho entre PV EX002 e PV019 executado na Av. Emb. Abelardo Bueno.

## 4.5 ETAPAS CONSTRUTIVAS

A metodologia construtiva, especificada no projeto executivo aprovado pelo órgão fiscalizador, para assentamento da rede coletora de esgoto proposta é o método destrutivo ou convencional. As etapas que compõem o método são apresentadas nos subitens a seguir.

### 4.5.1 Montagem da sinalização preventiva.

A ABNT, através da NBR 9814 (1987), recomenda que a sinalização deve ser executada cercando o local de trabalho por meio de cavaletes e tapumes de contenção do material escavado. Não deve prejudicar o escoamento superficial de águas de chuvas e deixar, sempre que possível, passagem livre e protegida para o trânsito de veículos e pedestres. No local da obra, deve conter dispositivos de sinalização em obediência às leis e regulamentos em vigor.

Portanto, em conformidade com a Lei nº 9.503 de 23 de setembro de 1997 (Código de Trânsito Brasileiro - CTB) e das Normas Regulamentares do CONTRAN, das normas da Secretaria Municipal de Transportes e de seus prepostos e das normas da Companhia de Engenharia de Tráfego, implantou-se o sistema de sinalização, os dispositivos e os equipamentos de controle viário da obra.

Como mostra na figura 4.11a em uma das intervenções na Av. Abelardo Bueno, inicialmente foram posicionados os cones e placas de sinalização de trânsito permitindo que os tapumes fossem montados em forma de barreiras de bloqueio para desviar a passagem de veículos e pedestres, garantindo, assim, a segurança dos operários e transeuntes. A figura 4.11b mostra uma das barreiras executadas no local da intervenção.



Figura 4.11 - (a) Cones e placas de sinalização de trânsito de veículos e (b) barreira de bloqueio ao trânsito de pedestre aplicada na Av. Abelardo Bueno.



#### 4.5.2 Locação da Vala

Com base na respectiva OS emitida para o trecho, esta etapa se iniciou com a demarcação do local utilizando pó de pedra e piquetes no centro dos PVs para fixação da linha de referência. Despejou-se pó de pedra em cima da linha de referência, marcando o eixo da vala, para guiar o operador da máquina no momento da escavação, conforme mostrado na figura 4.12.



Figura 4.12 - Locação de vala para assentamento de tubulação em trecho da Av. Abelardo Bueno esquina com rua Francisco de Paula.

Também foram instaladas régua de madeira, ao lado da marcação da vala, e utilizado mangueira de nível, para fixar a Linha de Visada acompanhando a declividade do projeto, auxiliando nas etapas posteriores de regularização do fundo da vala e assentamento da tubulação. A figura 4.13 ilustra a importância da instalação da linha de visada, corretamente, para o bom funcionamento da rede coletora de esgoto.

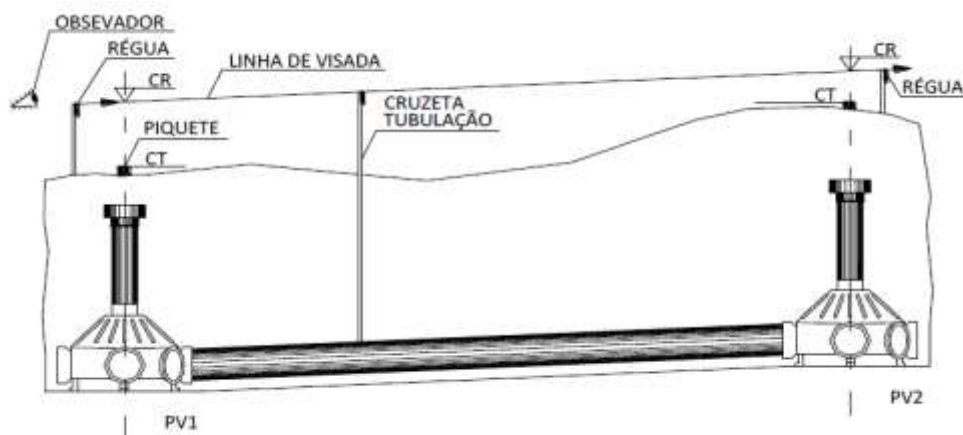


Figura 4.13 - Ilustração do método das cruzetas. Fonte: FONSECA et al. (2014).

#### 4.5.3 Rebaixamento do lençol freático

Esta etapa foi necessária antes da execução de trechos com profundidades elevadas, entre 3,0 e 4,0 metros, onde a presença do nível d'água dificultava o trabalho manual no interior da vala e diminuía o fator de segurança com relação ao desmoronamento de solo.

Foi utilizado um sistema de ponteiras filtrantes (“*well point*”), combinado com um conjunto motor-bombas de 15 hp, para até 70 metros de coletores. As ponteiras, com 4 metros de comprimento, espaçadas 1 metro entre si, foram conectadas ao tubo coletor que recebe a água retirada do subsolo e destina a galeria pluvial. A figura 4.15 ilustra, de uma forma geral, a montagem e o funcionamento do sistema.



Figura 4.15 – Montagem e funcionamento do sistema de ponteiras filtrantes em obra de esgotamento sanitário.

#### 4.5.4 Escavação

Esta etapa só foi executada, conforme recomenda a NBR 9814, após verificar a posição de outras obras subterrâneas que pudessem interferir no andamento da escavação e todos os materiais para execução da rede estivessem disponíveis no local da obra. (ABNT, 1987)

A seção-tipo especificada no projeto executivo, conforme figura 4.16a, segue as recomendações da NBR 12.266 de seção retangular para valas simples ou convenientemente escoradas de acordo com a Portaria do Ministério do Trabalho n° 17 de 07/07/1983 - item 18.6.4.

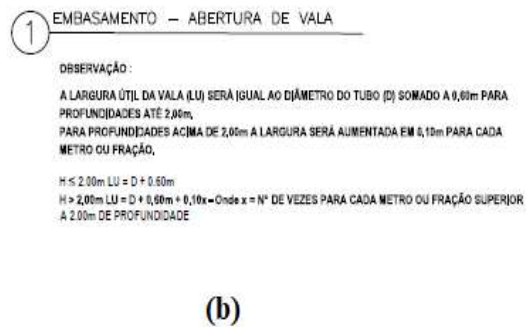
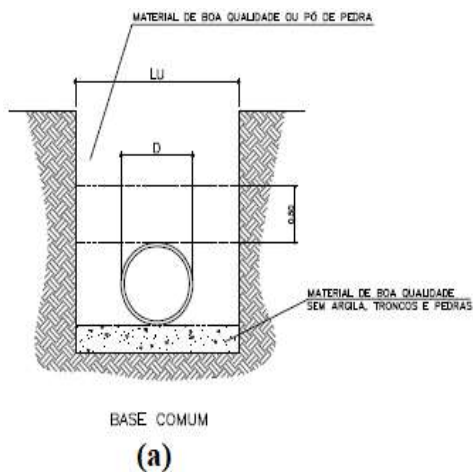


Figura 4.16 - Seção-tipo e diretrizes para abertura de vala especificada em projeto.

Já as diretrizes para abertura de vala especificada em projeto, conforme figura 4.16b, seguiu a recomendação da NBR 9814 para o cálculo da largura livre de trabalho. Entretanto, foi feito um estudo comparativo entre a recomendação de outras normas aplicáveis a obras de esgoto, como a NBR 14.486 e a NBR 12.266 a fim de encontrar a melhor solução construtiva. A tabela 4.3 apresenta o resumo do estudo comparativo aplicado. Considerou-se o escoramento do tipo especial para a largura segundo a NBR 12.266.

Tabela 4.3 - Estudo comparativo entre larguras de vala recomendadas.

CÁLCULO DA LARGURA DE VALA (m)				
DN	PROF.	NBR 9814 (1987)	NBR 12266 (1992)	NBR 14486 (2000)
150	1-1,5	0,75	0,75	0,60
	1,5-2	0,75	0,75	0,80
	2-3	0,85	1,05	0,80
	3-4	0,95	1,05	0,80
200	1-1,5	0,80	0,80	0,60
	1,5-2	0,80	0,80	0,80
	2-3	0,90	1,10	0,80
	3-4	1,00	1,10	0,80
250	1-2	0,85	0,90	0,60
	1,5-2	0,85	0,90	0,80
	2-3	0,95	1,20	0,80
	3-4	1,05	1,20	0,80
300	1-2	0,90	0,90	0,60
	1,5-2	0,90	0,90	0,80
	2-3	1,00	1,20	0,80
	3-4	1,10	1,20	0,80
400	1-2	1,00	1,20	0,60
	1,5-2	1,00	1,20	0,80
	2-3	1,10	1,50	0,80
	3-4	1,20	1,50	0,80

A fim de facilitar o acesso do operador no interior da vala para realizar as juntas das tubulações e considerando também a presença do escoramento revestindo a parede reduzindo a largura livre de trabalho, considerou-se o a maior largura encontra na execução das valas. Logo, seguiu as recomendações da NBR 12.266.

Em áreas pavimentadas, antes da escavação do solo, executou-se o corte mecânico do pavimento utilizando a Serra Clipper. Em seguida, a demolição mecânica através de rompedor pneumático, conforme figura 4.17a e 4.17b. A largura da faixa de pavimentação removida para implantação da rede coletora, seguiu a NBR 9814 que recomenda acrescentar 0,20 m, de ambos os lados da vala, até ultrapassar a espessura do pavimento para trechos executados em pista, e 0,05 m, de ambos os lados da vala, para trechos executados no passeio. (ABNT,1987) Nas superfícies gramadas, como encontrado na interligação da rede coletora com o PV EX001 localizado na esquina da rua Francisco de Paula com a Av. Abelardo Bueno, não foi necessário realizar o procedimento citado acima.



Figura 4.17 - Remoção de pavimentação asfáltica em trecho executado na Av. Abelardo Bueno.

Em seguida, a retroscavadeira se posicionou conforme indicado na figura 4.18, alinhada ao eixo da vala, para iniciar a escavação no sentido jusante para montante conforme recomendado pela NBR 9814. (ABNT, 1998) Desta forma, reduziu ou inibiu a utilização de bombas para esgotamento em trechos com lençol freático elevado, uma vez que a rede estava interligada aos PVs existentes e foi executada uma camada drenante no fundo da vala.

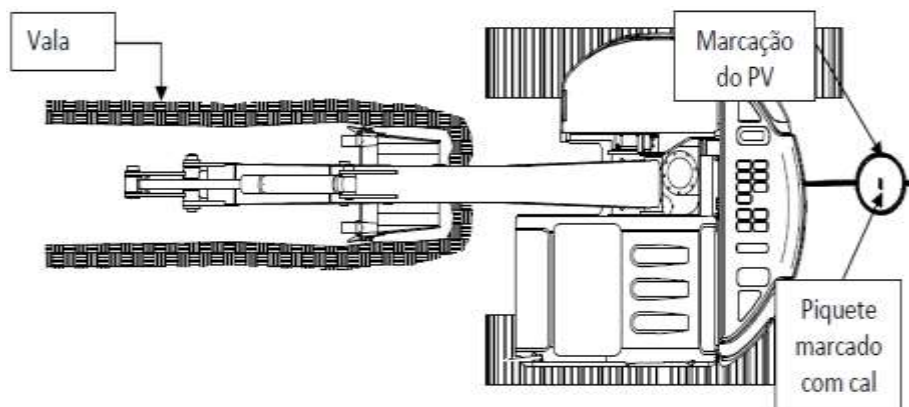


Figura 4.18 - Disposição dos equipamentos para escavação de vala. Fonte: FONSECA et al. (2014).

O material retirado do solo, não sendo considerado de boa qualidade por conter entulho, baixa resistência e ou umidade, foi despejado em caminhão caçamba posicionado ao lado da retroescavadeira para destinação final em bota fora. Na Figura 4.19 ilustra o procedimento descrito em intervenções na rua Francisco de Paula (a) e na Av. Abelardo Bueno (b).



Figura 4.19 - Escavação de vala com retroescavadeira em intervenções na rua Francisco de Paula e Av. Abelardo Bueno.

#### 4.5.5 Estruturas de contenção

Esta etapa compreende a fase de revestimento das paredes da vala para promover a segurança dos trabalhadores. Conforme a Norma Regulamentadora 18 (NR-18) de 1978, no item 18.6, as escavações com profundidades superiores a 1,25 m foram escoradas com pranchas metálicas. O tipo de escoramento utilizado no trecho seguiu o detalhe construtivo do projeto executivo que especifica dois tipos de escoramento, o escoramento contínuo e o escoramento descontínuo. Em valas de até 3 m de profundidade utilizou-se escoramento descontínuo, e até 4 m escoramento contínuo, adaptando a sugestão de Nuvolari (2011) a favor da segurança, mas facilitando a execução.

A Figura 4.20 apresenta o detalhe construtivo do projeto que especifica os tipos de escoramento: (a) escoramento contínuo; (b) escoramento descontínuo.



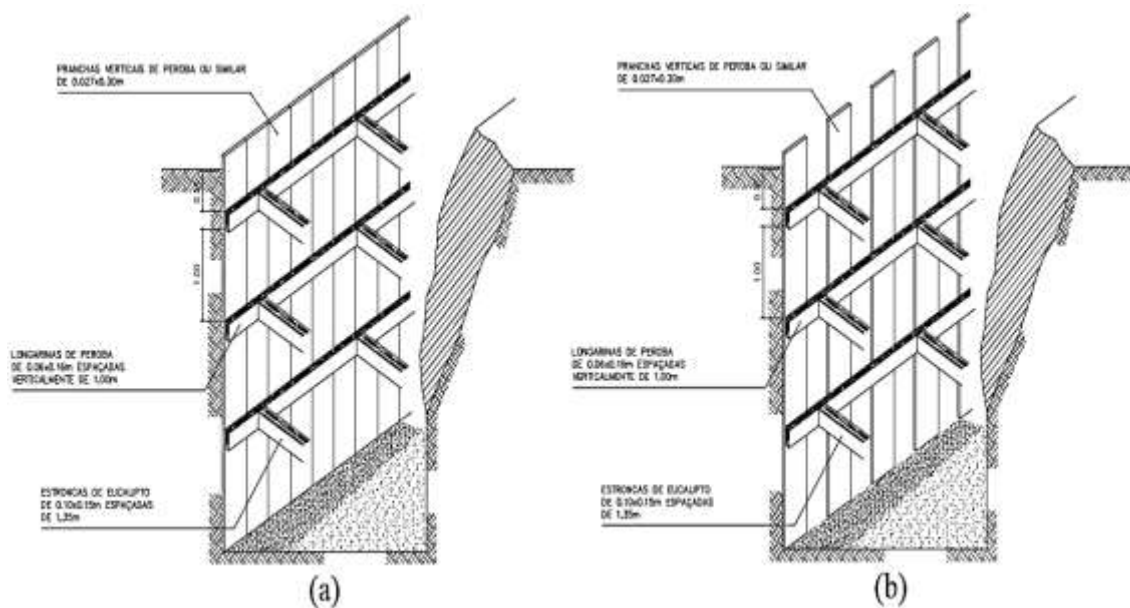


Figura 4.20 - Detalhe construtivo para escoramento apresentado no projeto executivo.

A Figura 4.21a apresenta o escoramento contínuo em valas de aproximadamente 3,6 m de profundidade localizada na Av. Abelardo Bueno. A Figura 4.21b apresenta o escoramento descontínuo utilizado em vala de aproximadamente 2,2 m executada na rua Francisco de Paula.



(a)



(b)

Figura 4.21 - Escoramentos aplicados na obra de implantação de rede coletora de esgoto em Jacarepaguá.

#### 4.5.6 Regularização do fundo da vala

Esta etapa tem seu início após proceder à escavação e contenção do solo, caso necessário, do trecho onde a rede será implantada. Esse processo é importante para garantir o escoamento ideal do esgoto, pois após a escavação, o fundo da vala fica muito irregular e quando os tubos são assentados sem a regularização é perceptível a irregularidade na declividade da rede naquele trecho. (FONSECA, 2014)

Portanto, essa etapa foi realizada manualmente com utilização de ferramentas rudimentares como pás, enxadas e picaretas. Na superfície do terreno, o encarregado utiliza o método do cruzetamento para conferir, em relação à linha de visada, a

profundidade e a declividade do trecho. Os ajustes necessários são feitos pelo operário no interior da vala. A figura 4.22 ilustra o procedimento para utilização do método do cruzetamento.



Figura 4.22 - Aplicação do método de cruzetamento para regularização do fundo da vala.

#### 4.5.7 Embasamento do Tubulação

Nesta etapa foram realizados diferentes processos construtivos. Conforme recomenda a NBR 9814 e o detalhe construtivo presente no projeto executivo, quando o terreno apresentou capacidade de suporte satisfatória e o Nível de Água (NA) estava abaixo do tubo, utilizou-se apenas uma camada com cerca de 10 cm de pó de pedra para o embasamento da tubulação. Quando o solo no fundo da cava apresentou boa qualidade, mas o NA era elevado executou-se o lastro de brita, a fim de formar um colchão drenante, composto por brita 1, e em seguida acrescentou-se uma camada com cerca de 5 cm de pó de pedra para evitar o atrito entre o tubo e a brita que poderia vir a danificar o material e causar vazamentos na rede ao longo do tempo.

Na Figura 4.23 apresenta o detalhe construtivo apresentado no projeto executivo da rede coletora, em (a) base comum e em (b) base de 1ª classe.

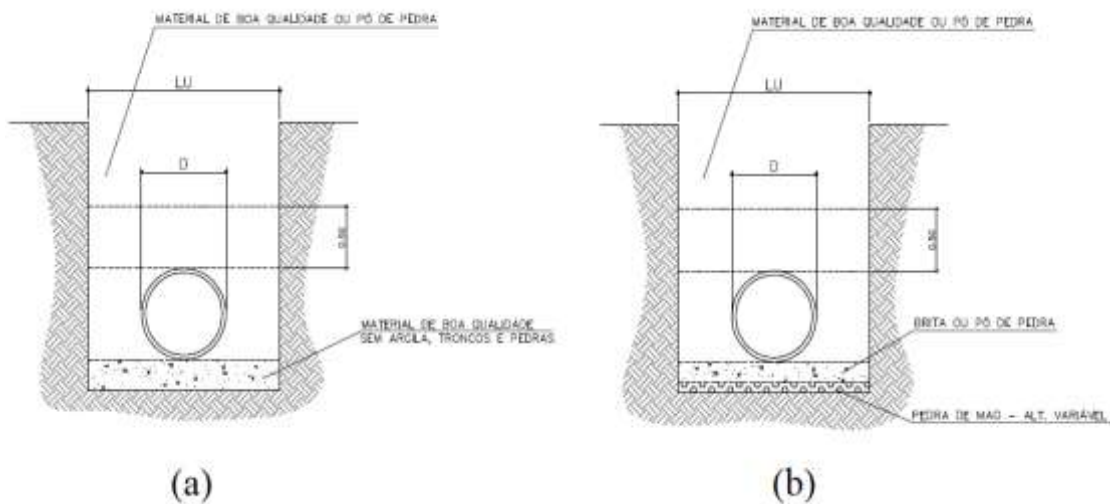


Figura 4.23 - Detalhe construtivo para execução de embasamento.

A figura 4.24a mostra a utilização do colchão drenante em trecho de rede executado na rua Francisco de Paula, e a figura 4.24b a utilização do embasamento comum em trecho de rede assentada na Av. Abelardo Bueno.



Figura 4.24 - Execução de embasamento para tubulação em PVC. Fonte: autor (2021)

#### 4.5.8 Assentamento da Rede

Esta etapa compreende na atividade de posicionamento do tubo no interior da vala e ligação do novo segmento com a rede já executada através do formato ponta e bolsa. Para trazer estanqueidade a rede, utilizou-se anéis de borracha nas juntas dos tubos de PVC e concreto armado.

A rede deve ser executada o mais brevemente possível após a regularização do berço a fim de minimizar os transtornos provenientes da abertura das valas no perímetro urbano, já que o tráfego é impedido e há o risco de que transeuntes possam se acidentarem. (FONSECA, 2014)

A NBR 9814 no item 5.7 apresenta as precauções necessárias para proceder à instalação dos tubos: (ABNT, 1987)



- Tubos devem ser vistoriados antes da colocação na rede;
- A rede deve ser instalada de jusante para montante e a bolsa do tubo deve ficar direcionada para montante.

Na Figura 4.25a pode-se verificar o emprego das recomendações acima, para assentamento de tubo de PVC corrugado, com 300 mm de diâmetro, em trecho executado na Av. Abelardo Bueno, e em 4.25b o assentamento de tubo de concreto armado, de 400 mm de diâmetro, em trecho executado na rua Francisco de Paula.



Figura 4.25 - Assentamento de tubulação em PVC e concreto armado na execução de rede coletora de esgoto.

#### 4.5.9 Execução dos Órgãos Acessórios

Os poços de visita foram construídos com anéis pré-moldados de concreto armado. Esta etapa se iniciou com o assentamento da laje de fundo pré-moldada, com cerca de 15 cm de espessura, no interior da vala, como descreve Crespo (1997), sob um colchão de brita onde os tubos são posicionados para que seja construída a canaleta e a banquetta dependendo do tipo de PV.

De acordo com o projeto executivo, cujo detalhe construtivo está na figura 4.26, o diâmetro interno dos PVs, chamado de balão, deve possuir 1.100 mm para que seja possível a entrada, com facilidade, de um operador para manutenção da rede. Portanto, os anéis que foram assentados para execução dos órgãos acessórios possuíam o diâmetro recomendado. A figura 4.26a representa os PVs com altura menor que 1,5 m e a figura 4.26b os PVs com altura entre 1,5 m e 2,5 m.

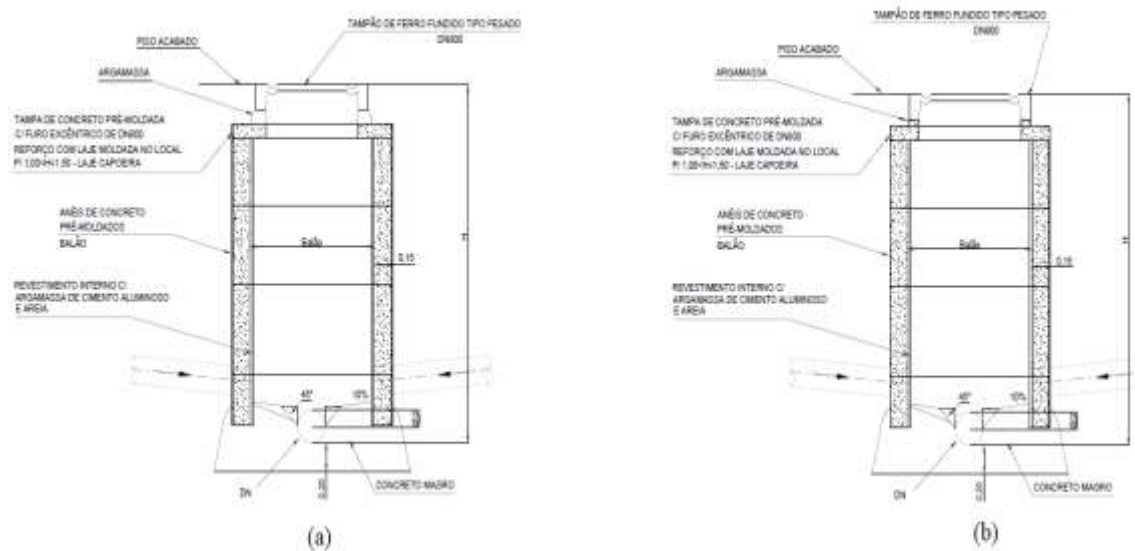


Figura 4.26 - Detalhe construtivo para execução de Poço de Vista.

Na Figura 4.27a, mostra a execução da canaleta em PVC sobre a laje de fundo. Ao lado, a Figura 4.27b mostra o PV com os anéis assentados sendo reaterro até o nível do terreno, ainda sem a tampa de concreto e o tampão de ferro fundido.



Figura 4.27 - Execução de Poço de Visita em rede coletora na Av. Abelardo Bueno.

#### 4.5.10 Reaterro de Vala e Compactação

Após a execução dos PV e do assentamento da rede é feito o reaterro da vala. Devido a qualidade ruim do material escavado e conforme especificado no projeto executivo, o reaterro foi executado com pó de pedra e o material retirado não foi reaproveitado, sendo transportado para bota fora licenciado pelos órgãos ambientais responsáveis. A figura 4.28a mostra o momento em que o material é lançado cuidadosamente pelo operário para o interior da vala e, em seguida, na figura 4.28b, o espalhamento do material para nivelamento da altura da camada antes de iniciar a compactação.



Figura 4.28 - Reaterro de vala. Fonte: autor (2021).

A recomendação da NBR 9814 é que a camada inicial do aterro que envolverá o conduto deve apresentar uma camada de 0,3 m, devendo ser compactada manualmente, sem o uso de força excessiva. As demais camadas devem ter espessura de 0,2 m sendo compactadas mecanicamente ou manualmente desde que vigorosamente a fim de atingir grau de compactação próximo ao do solo vizinho. (ABNT, 1987)

O reaterro deve ser feito em camadas com espessura de 20 cm (material solto), compactado através de compactadores manuais ou mecânicos. Deve-se iniciar a compactação a partir do centro para as laterais da vala tomando-se os devidos cuidados nas camadas iniciais para não danificar a tubulação. A compactação em camadas de pequena espessura (máximo de 20cm) visa evitar bolsões sem compactação, deve-se compactar com maior vigor nas últimas camadas (último metro). O reaterro e a compactação da vala devem ser feitos concomitantemente com a retirada do escoramento. (NUVOLARI. 2003, p. 168).

A figura 4.29a mostra o momento em que foi realizada a compactação manual da primeira camada que recobre o tubo utilizando soquete. Já na Figura 4.29b, a compactação mecânica no último metro utilizando o compactador do tipo sapo.



Figura 4.29 - Compactação manual e mecânica em reaterro com pó de pedra.

#### 4.5.11 Recomposição do Pavimento

A NBR 9814 apresenta as atividades que devem ser realizadas pelo executor a fim de não gerar transtorno algum aos habitantes: (ABNT, 1987)

- (i) Os reparos devem ser no mínimo iguais ao pavimento danificado;

- (ii) A pavimentação asfáltica deve respeitar as especificações do município;
- (iii) Após o término dos reparos do pavimento é dever dos executores remover restos de materiais e realizar a varrição das vias e passeios não podendo deixar solo esparramado no piso.

Em pista, primeiro foi feita a fresagem asfáltica do pavimento de concreto ao redor da vala. Segundo especificações do Órgão Fiscalizador, na Avenida Abelardo Bueno e na Francisco de Paula, principais ruas do bairro, foram feitas fresagem e recomposição total da faixa onde a rede foi executada para evitar desníveis e desconforto aos motoristas. Depois da limpeza dos resíduos, conforme figura 4.30a, é feita a pintura de ligação do pavimento antigo com o novo, conforme figura 4.30b. Por último, o concreto asfáltico betuminoso foi lançado e espalhado, manualmente, sob a superfície, e o acabamento feito mecanicamente com a Acabadora de asfalto, visto na figura 4.30c e 4.30d.



Figura 4.30 -Recomposição do pavimento asfáltico em trecho de rede executado em pista.

Nos trechos executados no passeio, também foi recomposto o pavimento original, logo onde havia vegetação foi feita o replantio de grama conforme figura 4.31a, reposição do piso intertravado conforme figura 4.31b, concretagem de passeio conforme 4.31c e concretagem de ciclovia conforme 4.31d.





(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.31 - Recomposição de passeio em trechos executados em diferentes superfícies.

## 4.6 PROPOSTA DE ALTERAÇÃO DO MÉTODO CONSTRUTIVO

### 4.6.1 Generalidades

Devido a região ser considerada um centro urbano e conter algumas infraestruturas já instaladas, foram necessárias diversas etapas para a implantação da rede coletora de esgoto pelo método destrutivo, conforme apresentado nos subitens anteriores. Muitas delas, só foram realizadas devido a região conter certo grau de infraestrutura, o que não ocorreria se a rede coletora de esgoto fosse a primeira intervenção a ser feita, antes dos dispositivos de drenagem, da rede de telecomunicações, da pavimentação das superfícies, das tubulações para abastecimento de água e da ocupação urbana. Portanto, essas etapas geraram um custo extra no orçamento da obra e um aumento do prazo em seu cronograma.

De uma forma geral, a solução mais adequada para reduzir custo e tempo, seria estudar a viabilidade técnica e financeira da utilização de métodos não destrutivos em determinados trechos, ou em toda a obra.

A seguir apresentam-se algumas circunstâncias especiais de projeto que podem tornar o MND mais vantajoso e eficiente, comparado ao MD:

- Profundidades de escavação (acima de 2,5m);
- Tubulações com grandes diâmetros (acima de DN900);
- Travessias de Ferrovias, Rodovias, corpos hídricos, ou em regiões com grande quantidade de edifícios e condomínios;
- Em regiões com subsolo congestionado por outras redes (água, gás, esgoto, energia, telecomunicações, etc);
- Em regiões já pavimentadas;
- Em terrenos com o nível de lençol freático elevado;
- Em grandes centros urbanos.

Com efeito, conforme apresentado no projeto executivo, grande parte da rede proposta possui características suficientes para adoção do método destrutivo, entretanto, em alguns trechos que apresentam as circunstâncias especiais, deveria ser cogitado se a adoção do MND seria viável para o melhor andamento da obra. Assim, o ideal seria que em todos os trechos que possuem as características favoráveis a adoção do MND fossem investigados. Porém, devido à natureza desta pesquisa estar associada a um trabalho de final de curso, resolveu-se definir apenas um trecho, chamado de trecho crítico, para que a verificação fosse executada.

#### 4.6.2 Caracterização do trecho crítico

Dentre os trechos executados, o autor identificou um trecho de maior complexidade localizado na Av. Embaixador Abelardo Bueno, por se tratar de uma avenida de grande movimento de veículos e pedestres, e apresentar similaridade em grande parte das circunstâncias listadas anteriormente. Assim, para dar andamento na proposta de estudar a viabilidade da adoção do método não destrutivo na obra, foi necessário eleger um trecho para empregar os dois critérios mencionados (“MD versus MND” e “qual tipo de MND mais adequado”).

Vale destacar, que neste trecho a rede foi projetada para ser executada majoritariamente no passeio. O trecho possui ao total cerca de 340 metros de comprimento, dos quais, cerca de 90 metros de tubulação com 300 mm de diâmetro e cerca de 250 metros com diâmetro de 250 mm. A figura 4.32 ilustra, de uma forma geral, as características do projeto executivo no trecho considerado crítico.

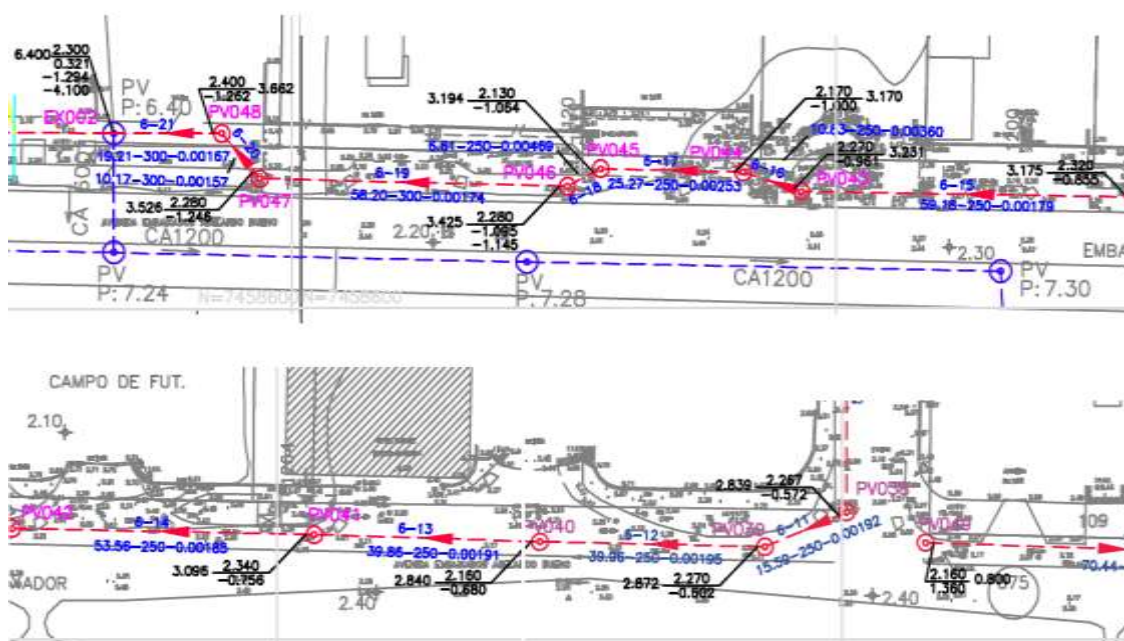


Figura 4.32 – Recorte do trecho crítico apresentado no projeto executivo.

O referido trecho contém os PVs: PV048, PV047, PV046, PV045, PV044, PV043, PV042, PV041, PV040, PV039 e PV038. Ressalta-se que a maior profundidade do trecho é de aproximadamente 3,66 metros, na interligação com o PV EX002. Já a menor profundidade é de cerca de 2,80 metros no PV038, esquina da rua Jorge Faraj, sendo a profundidade média no trecho de 3,23 metros. A figura 4.33a mostra uma vista aérea com um detalhe do trecho escolhido. Já a figura 4.33b apresenta a vista desde a pista de

veículos da Av. Embaixador Abelardo Bueno em direção a Av. Salvador Allende, altura do cruzamento com a rua Jorge Faraj, próximo à estação do BRT Parque Olímpico.



Figura 4.33 – Detalhe de localização do trecho crítico. Fonte: adaptado de <https://www.google.com.br/maps/@-22.9709435,-43.3920009,1248m/data=!3m1!1e3> (acessado em 27/07/2021).

A figura 4.34 apresenta algumas das interferências encontradas no passeio do trecho crítico, na Av. Embaixador Abelardo Bueno, durante diversas etapas do projeto executivo, tais como sondagens, escavações mecânicas de parte da rede e dos PVs etc. É importante frisar que essas interferências motivaram uma alteração no projeto, e com efeito, a rede teve sua localização alterada, passando do passeio para a pista de rolamento. Na figura 4.34a mostra uma tubulação de água de PVC DN 200 danificada durante a execução da sondagem, ao lado um tubo de PVC DN150 com esgoto pressurizado, na figura 4.34b mostra um tubo gás de PEAD DN 150, na figura 4.34c mostra um ramal predial danificado no momento da escavação mecânica, e a figura 4.34d mostra eletrodutos de PVC com cabos de energia e telecomunicações.

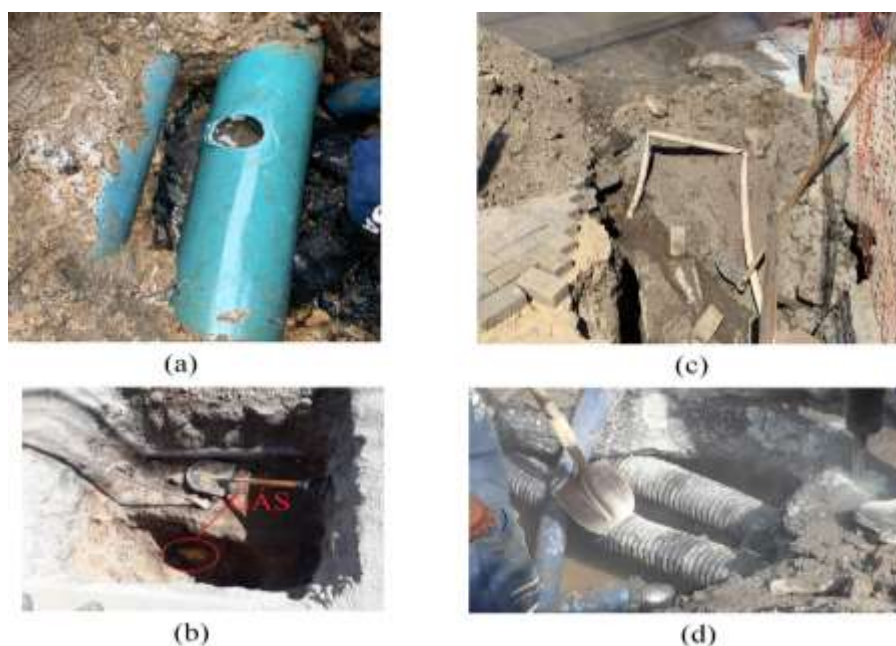


Figura 4.34 – Exemplos de interferências encontradas na Av. Emb. Abelardo Bueno.



Todas essas condicionantes, e a vivência do autor deste trabalho durante a execução da obra, motivaram a escolha desse trecho para aplicar os critérios desenvolvidos. Após verificar se seria indicado a utilização de métodos não destrutivos no trecho considerado crítico, a pergunta a se fazer é: “Qual dos MNDs deveria ser mais adequado?”.

#### 4.6.3 Aplicação do critério de escolha entre MD e MND

De acordo com o exposto anteriormente o autor propôs a aplicação do critério de escolha entre método destrutivo e método não destrutivo. Para o preenchimento da tabela foram seguidas as sugestões sobre as informações importantes acerca de cada observação que compõem a tabela elaborada neste trabalho. Portanto, a tabela 4.4 foi preenchida com essas informações, naturalmente associadas ao trecho crítico do local onde a RCE foi projetada.

O resultado da tabela permite uma análise subjetiva do engenheiro responsável por escolher o método de escavação, sendo necessária uma tomada de decisão: MD ou MND.

Alguns pontos importantes utilizados para a tomada de decisão foram: a região é densamente povoada, possui condomínios de edifícios residenciais e comerciais com grande circulação de veículos e pedestres durante todo o dia. Devido a região já ser um centro urbano existe a possibilidade de existência de infraestrutura de gás, água, drenagem e telecomunicação como futuras interferências a serem remanejadas. Em paralelo, observa-se que em alguns trechos com profundidades maiores que 2,5 metros, onde é recomendável o uso de escavadeiras hidráulicas. As ruas são todas pavimentadas e o nível d'água é elevado.

Tabela 4.4 – Aplicação do critério prático de escolha entre MD versus MND para a obra de esgotamento sanitário em Jacarepaguá.

Item	Características	Obra: Esgotamento Sanitário em Jacarepaguá - RJ		
		Trecho:		
		Responsável: Autor		
		Situação		OBSERVAÇÕES
SIM	NÃO			
<b>1</b>	<b>Região povoada</b>	x		cerca de 25 mil habitantes
1.1	Casas		x	
1.2	Condôminios de casas		x	
1.3	Edifícios Residenciais		x	
1.4	Condomínio de prédios residenciais	x		cerca de 26 condomínios
1.5	Edifícios Comerciais/Empresariais	x		cerca de 12 Edifícios
1.6	Outros		x	
<b>2</b>	<b>Centro urbano</b>	x		
2.1	Lojas comerciais	x		2 centros comerciais
2.2	Shoppings centers		x	1 shopping de grande porte
2.3	Supermercados	x		2 supermercados
2.4	Casas de shows	x		1 Arena multiuso
2.5	Estádios	x		
2.6	Posto de combustível	x		1
2.7	Outros	x		rede de fast food, agências bancárias
<b>3</b>	<b>Transporte público</b>	x		
3.1	Ônibus	x		cerca de 6 paradas
3.2	BRT	x		2 estações
3.3	Metro		x	
3.4	Trem		x	
3.5	Outros	x		transporte alternativo e por app
<b>4</b>	<b>Pavimentação</b>	x		
4.1	Asfáltica	x		100% da pista
4.2	Pavers	x		35% do passeio
4.3	Concreto	x		60% do passeio
4.4	Outros	x		5% do passeio em grama
<b>5</b>	<b>Redes Subterrâneas</b>	x		
5.1	Água	x		PVC DN200 e ramal (passeio)
5.2	Esgoto	x		PVC DN150 (passeio)
5.3	Gás	x		PEAD DN150 (passeio)
5.4	Drenagem Pluvial	x		CA 600 (pista)
5.5	Rede Elétrica	x		Alta e Média Tensão (passeio e pista)
5.6	Telecomunicações	x		Fibra óptica e CET-Rio (passeio e pista)
5.7	Outros		x	
<b>6</b>	<b>Travessias</b>	x		
6.1	Ruas	x		Cruzamento Rua Jorge Faraj e Aroazes
6.2	Estradas/Avenidas	x		Estrada Pedro Correa
6.3	Rodovias		x	
6.4	Rios		x	
6.5	Ferrovias		x	
6.6	Portarias/Garagens	x		cerca de 40 portarias
6.7	Outros		x	
<b>7</b>	<b>Previsão profundidade rede</b>			
7.1	0m-2,5m	x		cerca de 60% (1.320 metros)
7.2	2,5m-6m	x		cerca de 40% (905 metros)
7.3	maior que 6m		x	
<b>8</b>	<b>Nível D'água elevado</b>	x		cerca de 2,0m
<b>9</b>	<b>Característica do terreno</b>			Predominantemente arenoso
9.1	Areia	x		
9.2	Silte	x		Silte arenoso
9.3	Argila	x		Argila arenosa
9.4	Rocha		x	Não foi encontrada

Essas características dão indício da aplicabilidade de metodologia não destrutiva para tornar a execução da rede no trecho considerado crítico mais eficiente e menos impactante.

#### 4.6.4 Aplicação de critério para escolha do MND mais adequado.

De acordo com o resultado da aplicação do primeiro critério (MD versus MND) surge agora a necessidade de saber quais dentre os métodos não destrutivos seria o mais adequado para o trecho escolhido como crítico. Vale lembrar que, os MNDs apresentados neste trabalho, são os mesmos considerados pela ABRATT (2016), ou seja: (i) perfuração por percussão “*mole*”; (ii) perfuração por cravação “*pipe ramming*”; (iii) perfuração horizontal direcional “*HDD*”; (iv) Cravação de tubos “*pipejacking*”; (v) micro-túneis.

A coluna associada ao peso da tabela foi preenchida de acordo com as particularidades do projeto executivo, dos resultados encontrados na investigação do subsolo e das características do trecho crítico. Para ponderar cada tipo de restrição foram aplicadas notas de 0 a 5, de acordo com a escala apresentada anteriormente (capítulo 3).

A tabela 4.5 apresenta a aplicação deste novo critério de escolha de qual MND é o mais adequado. Naturalmente a sensibilidade e experiência do autor, que estagiou na obra, ajudou a preencher a coluna referente ao peso das restrições. Por fim, vale lembrar que este critério é uma adaptação de um critério prático elaborado por Gomes de Moraes (2018).

Tabela 4.5 – Aplicação do critério prático de escolha entre MNDs para o trecho crítico da obra de esgotamento sanitário em Jacarepaguá.

RESTRIÇÃO	PESO	MÉTODOS NÃO DESTRUTIVOS				
		Perfuração Horizontal Direcional (HDD)	Cravação de tubos ("pipejacking")	Micro-túneis	Perfuração por cravação ("piperamming")	Perfuração por percussão ("mole")
Solos arenosos	1	3	0	1	2	2
Solos argilosos	5	5	3	2	1	1
Solos Rochosos	0	4	4	4	5	5
Nível do lençol freático	5	0	0	0	4	3
Acompanhamento topográfico	3	2	2	2	2	1
Produtividade	5	1	3	4	1	1
Segurança do trabalho	5	1	3	2	3	1
Limitação em função da declividade da rede	5	4	0	0	1	1
Limitação em função de diâmetros de pequeno porte (até 900mm)	5	1	3	3	2	3
Limitação em função de diâmetros de grande porte (acima de 900mm)	0	2	1	3	1	5
Utilização de lama e sua disposição final	5	4	3	1	0	0
Espaço ocupado na superfície	4	3	5	3	3	1
Mudanças de direção	3	0	5	5	5	5
Nível de instrução da equipe	5	4	5	5	4	2
Tensão na tubulação durante a execução	1	5	3	3	3	2
Custo de aquisição dos equipamentos	5	4	5	4	4	1
Recalque na superfície	5	3	3	3	2	2
Sensibilidade a interferências	2	5	5	5	5	5
<b>SOMATÓRIO</b>		<b>171</b>	<b>194</b>	<b>167</b>	<b>158</b>	<b>111</b>

O método de perfuração por percussão “*mole*”, foi o que apresentou menor somatório, ou seja, 111 pontos. Em seguida, com 158 pontos, o segundo na classificação foi o método de perfuração por cravação “*pipe ramming*”. Em terceiro lugar com 167 pontos, os micro-túneis. Já o HDD foi o quarto método classificado, com 171 pontos. Por último o método de cravação de tubos “*pipejacking*”, com 194 pontos.

Com base neste resultado, algumas considerações devem ser realizadas pelo engenheiro responsável por tomar a decisão final.

Embora o método de perfuração por percussão tenha se apresentado como mais adequado para o trecho, vale lembrar que este método só é recomendado para tubulações com diâmetros de até 200 mm. Assim, o autor do trabalho sugere que ele seja descartado como solução definitiva para esse trecho específico, pois as tubulações têm diâmetros de 250 mm e 300 mm.

Analogamente, Silva (2019) menciona que para diâmetros de pequeno porte há métodos executivos mais viáveis economicamente do que o método de perfuração por cravação, portanto, o autor também sugere que este método não seja utilizado como solução definitiva.

Segundo Abraham et al. (2002), a faixa mais usual para a execução de micro-túneis é de diâmetros que variam entre 600 mm e 1200 mm, o que pode indicar uma possível vantagem na utilização do HDD no trecho considerado crítico da obra de esgotamento em Jacarepaguá, mas não se pode descartar a utilização do micro-túnel.

Assim, restaram o micro-túnel e o HDD. Como eles possuem praticamente a mesma pontuação e não há nenhuma restrição total quanto a utilização dos métodos, consideram-se esses métodos como as soluções mais adequadas.

#### 4.6.5 Comparação entre os custos do MD e MND

Após a verificação da aplicabilidade de cunho técnico dos métodos não destrutivos para o trecho crítico da obra em questão, naturalmente, o próximo passo é realizar uma comparação entre os custos das metodologias.

A comparação dos custos não é trivial. Em primeiro lugar, vale a pena caracterizar o que seria os custos diretos e os custos indiretos, chamados custos suciais neste trabalho.

- Custo direto: Segundo Dezotti (2008), incluem os custos de mão-de-obra, materiais, subcontratação e equipamentos, necessários para execução da obra. O

escoramento, rebaixamento do nível d'água, fornecimento de tubo, remoção de rejeito, aterro e compactação, e outros, também são custos diretos de construção de uma obra.

- Custo indireto (social): Segundo Dezotti (2008), os custos sociais englobam os desconfortos gerados ao público e os danos ao meio e às estruturas existentes. Já Campos (1996), define custo social como sendo o sacrifício, perda de bem-estar, que a sociedade tem que fazer devido aos efeitos maléficos causados pelas externalidades não absorvidas de algum processo de produção.

Por outro lado, para os MNDs, existe uma falta de referências atuais com valores confiáveis. Além disso, muitas vezes, os custos existentes que podem ser utilizados como base para comparações, são de obras que não necessariamente possuem as mesmas características da obra em epígrafe.

Mesmo com essas dificuldades, uma comparação superficial entre os custos do método destrutivo e os custos dos métodos não destrutivos foi realizada com intuito de motivar uma análise mais detalhada da viabilidade financeira dos métodos na obra em questão.

Para isso, dois trabalhos foram utilizados como base para realizar as comparações: Dezotti (2008) e Rodrigues et al. (2017).

#### 4.6.5.1 Dezotti (2008)

Dezotti (2008) compara os custos diretos de construção e os custos sociais referentes à implantação de uma rede hipotética de gás natural, com diâmetro nominal de 225 mm, sob via arterial com 3 faixas de rolamentos, a uma profundidade de 1,5 metros abaixo da superfície, em terreno argilo-siltoso, pelos métodos destrutivos e não destrutivos. Neste caso o MND considerado foi o HDD. Nada é mencionado com relação ao nível do lençol freático. A figura 4.35 apresenta a configuração da obra pelos diferentes métodos construtivos.

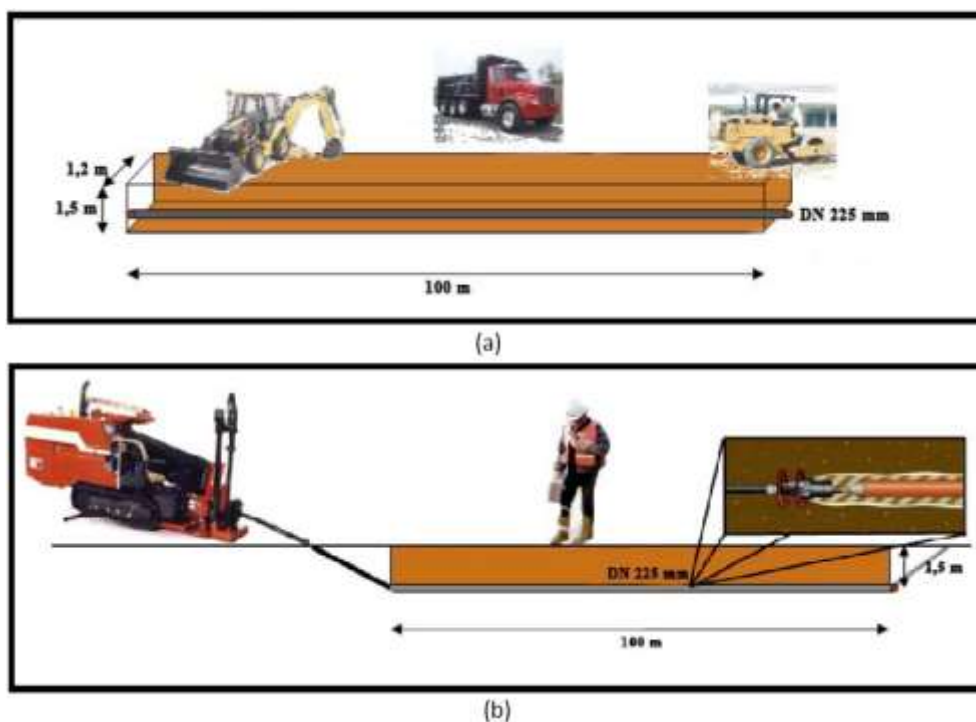


Figura 4.35 – Configuração da obra utilizando (a) método destrutivo (b) método não destrutivo (HDD).  
Fonte: DEZOTTI (2008).

O custo direto de Dezotti (2008) está relacionado ao tipo de material e à mão de obra empregada, e foi determinado a partir da tabela de preços de junho de 2007, fornecida pela concessionária de gás natural que atua na região de São Carlos, no estado de São Paulo. A tabela 4.6 apresenta um resumo dos custos para ambos os métodos construtivos.

Tabela 4.6 – Resumo dos custos diretos de construção para ambos os métodos construtivos.

Método Construtivo	Quantidade (m)	Preço unitário (RS/m)		Custo direto
		Material	M.D.O.	
<b>Abertura de vala</b>	100	29,50	168,24	R\$ 19.774,00
<b>Método não destrutivo</b>	100	29,50	176,51	R\$ 20.601,00

Fonte: DEZOTTI (2008).

#### 4.6.5.2 Rodrigues et al. (2017)

Já Rodrigues et al. (2017) se refere a coletores de esgoto sanitário. Os diâmetros das tubulações são de 250 mm e 300 mm, e a profundidade média de 2 metros. Não há menção ao nível d'água. Neste caso são também comparados o MD, chamado de Abertura de vala pelo autor, e o MND. Também neste caso, Rodrigues et al. (2017) considera a execução da rede pelo HDD.

Segundo Rodrigues et al. (2017), para o método de abertura de vala foi adotada como premissa uma rede utilizando uma largura variável de acordo com o diâmetro da

tubulação, dentro dos parâmetros técnicos estabelecidos pela norma NBR 12.266, tubulação em PVC, e considerando ainda, escavação em solo não rochoso. Para o MND (HDD), foi utilizada a mesma profundidade do MD, execução em terreno sem interferência, com o mesmo tipo de solo, e tubulação em PEAD. O diâmetro externo (DE) no MND para tubulação de 250 mm é de 280 mm e para tubulação de 300 mm é de 355 mm. A figura 4.36 mostra o orçamento apresentado por Rodrigues et al. (2017) para execução de 100 metros da rede proposta pelo método destrutivo.

<b>DN 250</b>		
01.01	SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA	R\$ 2.008,44
01.02	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 19.732,22
01.03	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 24.090,21
01.04	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	R\$ 9.992,00
01.05	ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO	R\$ 1.373,00
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA R\$ 57.195,87</b>
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA + BDI 16% R\$ 66.347,21</b>
		<b>CUSTO POR METRO COM BDI R\$ 663,47</b>

<b>DN 300</b>		
01.01	SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA	R\$ 2.008,44
01.02	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 19.936,93
01.03	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 24.090,21
01.04	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	R\$ 15.506,00
01.05	ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO	R\$ 1.615,00
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA R\$ 63.156,58</b>
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA + BDI 16% R\$ 73.261,63</b>
		<b>CUSTO POR METRO COM BDI R\$ 732,62</b>

Figura 4.36 – Orçamento para execução de rede de esgoto sanitário pelo método de abertura de vala (DN 250 e 300). Fonte: RODRIGUES (2017)

A figura 4.37 mostra o orçamento apresentado por Rodrigues et al. (2017) para execução de 100 metros da rede proposta pelo método não destrutivo (HDD).

<b>DE 280</b>		
01.01	SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA	R\$ 782,88
01.02	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 2.012,29
01.03	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 858,53
01.04	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	R\$ 22.472,00
01.05	FURO DIRECIONAL	R\$ 44.500,00
01.06	EQUIPAMENTOS	R\$ 2.873,10
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA R\$ 73.498,80</b>
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA + BDI 16% R\$ 85.258,61</b>
		<b>CUSTO POR METRO COM BDI R\$ 852,59</b>

<b>DE 355</b>		
01.01	SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA	R\$ 782,88
01.02	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 2.012,29
01.03	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 858,53
01.04	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	R\$ 36.263,00
01.05	FURO DIRECIONAL	R\$ 55.750,00
01.06	EQUIPAMENTOS	R\$ 2.873,10
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA R\$ 98.539,80</b>
		<b>CUSTO TOTAL DA OBRA + BDI 16% R\$ 114.306,17</b>
		<b>CUSTO POR METRO COM BDI R\$ 1.143,06</b>

Figura 4.37 – Orçamento para execução de rede de esgoto sanitário pelo Método não Destrutivo - HDD (DE 280 e 355). Fonte: RODRIGUES (2017)

#### 4.6.5.3 Trecho crítico (Estudo de Caso)

##### a) Custo Direto

A fim de facilitar o entendimento da comparação dos custos diretos, vale lembrar de algumas características principais da obra em estudo, particularmente no trecho crítico da Av. Embaixador Abelardo Bueno:

- Profundidade média de escavação de cerca de 3,2 m;
- Nível d'água elevado;
- Perfil de solo: até 2 m composto de areia a silte-arenoso; entre 2-4 m argila orgânica.

Assim, a partir dos custos diretos apresentados por Rodrigues et al. (2017), foi elaborada uma nova planilha considerando as peculiaridades associadas ao trecho crítico. Vale destacar que, o custo relacionado ao rebaixamento do lençol freático, foi retirado da planilha orçamentária da própria obra de esgotamento em Jacarepaguá com preços de dezembro de 2018. Logo, o fator de reajustamento dos preços não foi levado em consideração no orçamento do trecho crítico.

A tabela 4.7 mostra o novo orçamento para execução da rede coletora pelo método destrutivo (Abertura de Vala), incluindo as características associadas ao trecho crítico da obra de esgotamento sanitário no item 01.07 desta tabela.

Tabela 4.7 – Orçamento para execução da rede coletora de esgoto no trecho crítico pelo Método Destrutivo (DN 250 e 300).

		<b>ABERTURA DE VALA</b>	
		<b>DN 250</b>	<b>DN 300</b>
01.01	SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA	R\$ 2.008,44	R\$ 2.008,44
01.02	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 31.867,54	R\$ 32.198,14
01.03	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 24.090,21	R\$ 24.090,21
01.04	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	R\$ 9.992,00	R\$ 15.506,00
01.05	ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO	R\$ 1.373,00	R\$ 1.615,00
01.06	EQUIPAMENTOS	R\$ -	R\$ -
01.07	<b>REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO</b>	<b>R\$ 32.635,50</b>	<b>R\$ 32.635,50</b>
CUSTO TOTAL DA OBRA		R\$ 101.966,69	R\$ 108.053,29
CUSTO TOTAL DA OBRA + BDI 16%		R\$ 118.281,35	R\$ 125.341,82
CUSTO POR METRO COM BDI		R\$ 1.182,81	R\$ 1.253,42

Fonte: adaptado de RODRIGUES (2017).

A tabela 4.8 mostra o novo orçamento para execução da rede coletora pelo método não destrutivo (HDD), neste caso, devido às características do HDD, não foi considerado custos relacionados ao rebaixamento do lençol freático.



Tabela 4.8 – Orçamento para execução da rede coletora de esgoto no trecho crítico pelo Método Destrutivo (DE 280 e 355).

		NÃO DESTRUTIVO (HDD)	
		DE 280	DE 355
01.01	SINALIZAÇÃO E SEGURANÇA	R\$ 782,88	R\$ 782,88
01.02	MOVIMENTO DE TERRA	R\$ 3.249,85	R\$ 3.249,85
01.03	PAVIMENTAÇÃO	R\$ 858,53	R\$ 858,53
01.04	FORNECIMENTO DE MATERIAIS	R\$ 22.472,00	R\$ 36.263,00
01.05	ASSENTAMENTO DA TUBULAÇÃO	R\$ 69.700,00	R\$ 87.700,00
01.06	EQUIPAMENTOS	R\$ 2.873,10	R\$ 2.873,10
01.07	REBAIXAMENTO DO LENÇOL FREÁTICO	R\$ -	R\$ -
CUSTO TOTAL DA OBRA		R\$ 99.936,36	R\$ 131.727,36
CUSTO TOTAL DA OBRA + BDI 16%		R\$ 115.926,18	R\$ 152.803,74
CUSTO POR METRO COM BDI		R\$ 1.159,26	R\$ 1.528,04

Fonte: adaptado de RODRIGUES (2017)

A partir daí, a composição do custo direto final é realizada multiplicando o valor do custo por metro linear de rede, encontrado nas tabelas 4.7 e 4.8, para as extensões propostas no projeto executivo da RCE, no trecho crítico da Av. Embaixador Abelardo Bueno. Ou seja, cerca de 90 metros de tubulação DN 300 e cerca de 250 metros em DN 250. A tabela 4.9 mostra um comparativo entre os orçamentos com os custos diretos ligados à execução do trecho crítico por ambos os métodos.

Tabela 4.9 - Orçamento para execução do trecho crítico.

	DN 250		DN 300		Custo Direto do Trecho Crítico
	Custo por metro	Extensão (m)	Custo por metro	Extensão (m)	
Abertura de Vala	R\$ 1.182,81	250	R\$ 1.253,42	90	R\$ 408.511,02
MND - HDD	R\$ 1.159,26		R\$ 1.528,04		R\$ 427.338,80

b) Custo indireto (social)

De acordo com Dezotti (2008), pode-se mencionar, pelo menos, onze importantes pontos associados aos custos sociais:

- (i) Interrupção ao tráfego veicular;
- (ii) Danos à rodovia e pavimento;
- (iii) Danos às utilidades adjacentes;
- (iv) Danos às estruturas adjacentes;
- (v) Barulho e vibração;
- (vi) Segurança dos pedestres;
- (vii) Perdas para negócios e comércios;

- (viii) Danos às estradas utilizadas com desvios;
- (ix) Segurança local e pública;
- (x) Insatisfação dos cidadãos;
- (xi) Impactos ambientais.

Para a execução da rede pelo método destrutivo no trecho crítico da Av. Embaixador Abelardo Bueno, foi necessária a interrupção de uma faixa de tráfego integralmente. Em alguns momentos isolados, a segunda faixa da via foi interditada para manobra de caminhões e/ou retroescavadeira, o que promovia o bloqueio total do fluxo de veículos na pista lateral da avenida.

Comparando estes cenários com o estudo de Dezotti (2008), para nenhuma e uma faixa interditada, não há modificações. Entretanto, a interrupção total do tráfego na pista lateral da Av. Embaixador Abelardo Bueno ocorre com a interdição de duas faixas, já em Dezotti (2008) ocorre com três. Essa diferença deve ser levada em consideração no cálculo do custo social do trecho crítico.

Rodrigues et al. (2017) segue as diretrizes do trabalho de Dezotti (2008), mas considera a interdição de duas faixas de rolamento para o método de abertura de vala, e para o MND apenas uma. Também adota como critério para assentamento de rede a céu aberto, uma produção diária de 25 metros em 10 horas de trabalho (1 dia), sendo, portanto, necessários 4 dias para a execução/assentamento dos 100 metros de rede utilizado no cálculo do custo direto. Adota-se ainda como premissa, que não há variações significativas nos custos sociais em função dos diferentes diâmetros, para ambas as metodologias consideradas.

Para encontrar os custos sociais associados à construção da rede coletora, segundo a metodologia de Rodrigues et al. (2017), é necessário adaptar os cálculos referentes à produtividade do método destrutivo, visto que no estudo de caso, assentava-se, em média, 1 tubo DN 300 de 6 metros por dia, no trecho considerado crítico da obra. Utilizando essa base e considerando que, quando fosse executada a rede de DN 250 a produtividade poderia aumentar para 2 tubos (12 metros) por dia, devido as profundidades serem menores, a duração da execução do trecho crítico pelo método destrutivo seria de 36 dias (15 dias para executar 90 metros da rede de 300 mm e 21 dias para executar 250 metros da rede de 250 mm).

Para os métodos não destrutivos, Rodrigues et al. (2017) considerou uma produção diária de 100 metros de rede. Portanto, para a obra de Jacarepaguá foi proposto uma duração de 3,4 dias para execução do trecho crítico (340 metros) utilizando o HDD. Como existe uma mudança no diâmetro da tubulação ao longo do trecho, considera-se 5 dias devido ao deslocamento do equipamento, e troca do alargador para realizar um novo furo. A tabela 4.10 mostra a adaptação realizada no cálculo do custo social de Rodrigues (2017) para o trecho crítico da obra em Jacarepaguá.

Tabela 4.10 - Custo Social para execução do trecho crítico. Fonte: adaptado de Rodrigues (2017).

	<b>RODRIGUES (100m)</b>		<b>TRECHO CRÍTICO (340m)</b>	
	Custo Social	Duração	Custo Social	Duração
Abertura de Vala	R\$ 53.380,85	4 dias	R\$ 480.427,65	36 dias
MND - HDD	R\$ 12.970,22	1 dia	R\$ 64.851,10	5 dias

Por fim, encontra-se o valor do custo total da implantação da rede coletora no trecho crítico localizado na Av. Embaixador Abelardo Bueno. A tabela 4.11 mostra os resultados encontrados.

Tabela 4.11 - Resultado dos custos para implantação da rede coletora no trecho crítico.

	<b>DURAÇÃO</b>	<b>CUSTOS DIRETOS</b>	<b>CUSTOS SOCIAIS</b>	<b>CUSTO TOTAL</b>
<b>Abertura de Vala</b>	36 dias	R\$ 408.511,02	R\$ 480.427,65	R\$ 888.938,67
<b>MND - HDD</b>	5 dias	R\$ 427.338,80	R\$ 64.851,10	R\$ 492.189,90

Vale destacar que a estimativa para os custos diretos e indiretos possuem muitas incertezas e foi decidido não utilizar esses valores de forma a não induzir os leitores a cometer algum erro associado à escolha de metodologia. Essas incertezas advêm de muitos fatores, tais como: diferentes características das obras, épocas e locais distintos, falta de algumas informações importantes, etc.

## 5 ASPECTOS FINAIS RELEVANTES

### 5.1 ÚLTIMAS CONSIDERAÇÕES

A realidade do sistema de coleta de esgoto no Brasil ainda é um dos grandes problemas nacionais. De uma forma geral, o número de residências com saneamento básico é muito pequeno diante do que deveria ser. Este fato causa um impacto muito grande para a sociedade e para o meio ambiente.

Muitas cidades brasileiras crescem (ou cresceram) desordenadamente, sem um planejamento adequado. Assim, em muitos casos diversas redes subterrâneas já existem, mas a rede coletora de esgoto ainda não está instalada ou sequer prevista. Diante deste problema há muito que se fazer sobre a execução de redes coletoras de esgoto.

Uma rede coletora de esgoto pode ser executada segundo o método convencional destrutivo ou de acordo com métodos não destrutivos.

As tecnologias não destrutivas estão crescendo cada vez mais no mercado devido a necessidade de se atualizar as técnicas construtivas com viés econômico, ambiental e social. Acompanhado a esse fator, seria extremamente importante padronizar os métodos e criar um respaldo técnico para os engenheiros, através da elaboração de uma norma (ou diretriz) publicada por algum órgão competente (p.ex.: ABNT) relacionada a execução de redes subterrâneas por métodos não destrutivos.

O autor do presente trabalho acredita que, além das condições específicas de cada projeto mencionadas por Dezotti (2008), deve-se considerar também os custos sociais e ambientais relacionados às intervenções de cada obra em cada região.

Atualmente, acredita-se que a solução mais adequada para universalizar o saneamento ambiental em território brasileiro está diretamente relacionada à utilização dos MNDs, pois o maior desafio no setor, é levar a infraestrutura necessária para os grandes centros urbanos já existentes.

Este trabalho apresentou uma revisão bibliográfica dos métodos para implantação de novas redes coletoras de esgoto associado ao tradicional método destrutivo e aos métodos não destrutivos. Dentre os MND's foram abordados os métodos classificados de acordo com ABRATT (2016), ou seja: (i) perfuração por percussão “*mole*”, Perfuração por cravação “*pipe ramming*”, (iii) perfuração direcional e guiada “*HDD*”, (iv) Cravação de tubos “*pipejacking*” e (v) micro-túneis.

Para verificar qual metodologia seria ideal para a instalação de uma nova rede coletora de esgoto em um centro urbano foi realizado o estudo de caso de uma obra no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro. Ressalta-se que o projeto original foi elaborado e executado de acordo com os padrões convencionais, ou seja, com a utilização de métodos destrutivos.

Foram elaborados dois critérios de escolha para serem aplicados em um trecho crítico desta obra. O primeiro critério está associado à utilização do MD ou do MND. Já o segundo critério de escolha ajuda a eleger qual o MND mais adequado para ser empregado. Vale destacar que o trecho crítico foi eleito de acordo com características especiais (p.ex.: experiência adquirida durante a obra pelo autor do trabalho, profundidade de instalação da rede, nível d'água elevado, local muito movimentado etc.).

## 5.2 CONCLUSÕES

A aplicação dos critérios de escolha desenvolvidos neste trabalho, apresentou um bom desempenho quanto a auxiliar o engenheiro para uma tomada de decisão mais assertiva no momento da escolha do método de escavação. Entretanto, para garantir maior confiabilidade no resultado encontrado, é necessário que o engenheiro tenha grande experiência com utilização de métodos não destrutivos e conhecimento multidisciplinar de engenharia. É importante reafirmar a necessidade da presença do engenheiro em campo para observar a dinâmica e as características da região onde o projeto será implantado a fim de escolher o método mais adequado.

A aplicação do critério para escolher entre método destrutivo e método não destrutivo apresentou indícios do emprego de MNDs para a execução da rede no trecho considerado crítico.

Já a aplicação do critério para a escolha do MND mais adequado apresentou a seguinte classificação: (i) método de perfuração por percussão “*mole*” com 111 pontos; (ii) método de perfuração por cravação “*pipe ramming*” com 158 pontos; (iii) micro-túneis com 167 pontos; (iv) HDD com 171 pontos e (v) método de cravação de tubos “*pipejacking*” com 194 pontos.

Assim, com base nos resultados e nas vantagens e desvantagens de cada metodologia, cabe ao engenheiro responsável eleger o melhor método a ser utilizado, desta forma:

a) Embora o método de perfuração por percussão tenha se apresentado como mais adequado para o trecho, vale lembrar que este método só é recomendado para tubulações com diâmetros de até 200 mm. Assim, a execução deste método foi descartada como solução definitiva para esse trecho específico, pois as tubulações têm diâmetros de 250 mm e 300 mm.

b) O segundo método classificado, método de perfuração por cravação, é indicado por Silva (2019) para tubulações com diâmetros maiores. Como entende-se que os diâmetros das tubulações do trecho crítico são de pequenas dimensões, este método também não foi considerado como aplicável ao trecho analisado.

c) Os métodos, micro-túnel e HDD, compreendem as melhores soluções para o trecho considerado crítico da obra de esgotamento sanitário em Jacarepaguá de acordo com a aplicação do critério de escolha.

d) O método de cravação de tubos se apresentou o menos adequado de acordo com a pontuação que recebeu na aplicação do critério de escolha.

Com base na eficiência das técnicas construtivas, conclui-se que a solução mais adequada é utilizar os diferentes métodos em conjunto. Em trechos que possuem as características adequadas para utilização do método destrutivo, como baixas profundidades, pequenos diâmetros, regiões não pavimentadas e com poucas interferências, recomenda-se utilizar o MD se apresentar um baixo custo social. Já em regiões de centros urbanos, com grande circulação de veículos e pedestres, com redes subterrâneas já existentes, profundidades elevadas e grandes diâmetros, os critérios indicam como solução mais favorável, devido ao alto custo social envolvido, o emprego de MND para implantação de novas redes subterrâneas.

O custo social se mostrou diretamente proporcional ao tempo de duração das intervenções realizadas, do número de faixas de trânsito interditadas, e inversamente proporcional à produtividade na execução da rede. A variação no diâmetro da tubulação e no MND considerado, não trouxe diferença relevante no resultado do custo social encontrado.

Por fim, a comparação de custos direto e indireto realizada não se mostrou confiável suficiente para que pudesse ser utilizada como um dos parâmetros para escolha da metodologia ideal a ser empregada para o trecho crítico da obra de implantação da rede coletora de esgoto no bairro de Jacarepaguá, na cidade do Rio de Janeiro.

### 5.3 SUGESTÕES PARA FUTURAS PESQUISAS

- Unificar as classificações existentes para os métodos não destrutivos;
- Criar um banco de dados de obras de implantação de rede subterrâneas a partir de MND's;
- Atualizar os custos diretos e indiretos para os MNDs a fim de realizar uma comparação mais adequada;
- Fazer a análise entre MD e MND de todo o projeto da rede coletora de esgoto em questão;
- Fazer análises comparativas associadas a substituição e reparos de redes subterrâneas por MD e MND;
- Considerar o efeito do peso do solo como a ação sob a tubulação assentada;
- Quantificar os custos ambientais.



## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRAHAM, D. M.; BAIK H. S.; GOKHALE S. Development of decision support system for selection of trenchless technologies to minimize impact of utility construction on roadways. Springfield, VA: National Technical Information Service, 2002. 157 p. (FHWA/IN/JTRP-2002/7, SPR-2453).

ASCE (2001). Standard construction guidelines for microtunneling. Reston: American Society of Civil Engineers, 2001. 56 p. CI/ASCE Standard 36-01.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7968:1983 - Diâmetros nominais em tubulações de saneamento nas áreas de rede de distribuição, adutoras, redes coletoras de esgoto e interceptores. Rio de Janeiro, 1983.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9648:1986 - Estudo de concepção de sistemas de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9649:1986 - Projeto de redes coletoras de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1986b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 9814:1987 - Execução de rede coletora de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1987.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12.266:1992 - Projeto e execução de valas para assentamento de tubulação de água, esgoto ou drenagem urbana. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 12.207:1992 - Projeto de interceptores de esgoto sanitário. Rio de Janeiro, 1992.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 14486:2000 - Sistemas enterrados para condução de esgoto sanitário - Projeto de redes coletoras com tubos de PVC. Rio de Janeiro, 2000.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8890:2007 - Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7362:2005 - Sistemas enterrados para condução de esgoto. Parte 1: Requisitos para tubo de PVC com junta elástica. Rio de Janeiro, 2005.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8890:2007 - Tubo de concreto de seção circular para águas pluviais e esgotos sanitários - Requisitos e métodos de ensaios. Rio de Janeiro, 2007a.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15319:2007 - Tubos de concreto, de seção circular, para cravação - Requisitos e métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2007b.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 15561:2007 - Sistemas para distribuição e adução de água e transporte de esgoto sanitário sob pressão – Requisitos para tubos de polietileno PE 80 e PE 100. Rio de Janeiro, 2007c.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA. ABRATT - Diretrizes dos métodos não destrutivos. São Paulo, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE TECNOLOGIA NÃO DESTRUTIVA. ABRATT – Palestra Completa. São Paulo, 2016.

AZEVEDO NETTO, J. M. Manual de Hidráulica. 6ª Edição Atualizada. São Paulo: Blucher, 1984.

BARROS, R. A história do saneamento básico no Brasil. 2014. Disponível em: <<https://www.rodoinside.com.br/a-historia-do-saneamento-basico-no-brasil/>> Acesso em: 1 agosto 2021.

BARROSO, L. R. A Dignidade da Pessoa Humana no Direito Constitucional Contemporâneo: Natureza Jurídica, Conteúdos Mínimos e Critérios de Aplicação. Versão provisória para debate público. Mimeografado, dezembro de 2010.

BEVILACQUA, N. Materiais de tubulações utilizadas em sistemas de coleta e transporte de esgotos sanitários. Estudo de caso da área norte de São Paulo. 191 f. Dissertação (Mestrado de Engenharia), Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.

BORJA, P. C. Política pública de saneamento básico: uma análise da recente experiência brasileira. Saúde e Sociedade. São Paulo, v. 23, n. 2, 2014, p. 432-447.

CELESTINO, R. N. Método não destrutivo (MND) como alternativa de execução em sistemas de esgotamento sanitário – Estudo de caso envolvendo análise em campo e de projeto. Florianópolis, 2016. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Santa Catarina, Graduação em Engenharia Sanitária e Ambiental. 2016. 121p.

CHAMA NETO, P. J. Tubos de concreto: projeto, dimensionamento, produção e execução de obras. 1.ed. São Paulo: ABTC, 2004.

CAMPOS, L. M. de S. Um estudo para definição e identificação dos custos da qualidade ambiental. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, SC, 1996.

CEDAE. Memorial Descritivo, Memória de Cálculo, Especificações Técnicas, Desenhos E Anexos – RM1639 ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA AROAZES, Rio de Janeiro. 2019.

CERQUEIRA, L. F. F. Os Impactos dos Assentamentos Informais de Baixa Renda nos Recursos Hídricos e na Saúde Coletiva: o caso da bacia hidrográfica da baixada de Jacarepaguá. 2006. 165 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Programa de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ.

DATA RIO. Nota técnica 17: caracterização da região metropolitana do Rio de Janeiro (setembro/2013). Disponível em: <[http://www.data.rio/datasets/nota-t%C3%A9cnica-](http://www.data.rio/datasets/nota-t%C3%A9cnica-17)

17- caracteriza% C3% A7% C3% A3o-da-regi% C3% A3o-metropolitana-do-rio-de-janeiro-setembro2013>. Acesso em: 10 outubro 2019.

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

DRÖSEMEYER, A. Contribuição ao estudo da execução de túneis em “pipejacking”. 173 p. Dissertação (Mestrado em Ciências em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

FONSECA, R. M. C. Práticas executivas de redes coletoras de esgoto sanitário. REEEC – Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Vol. 9, N° 3, 61-29, 2014.

FONSECA, R. M. C. Execução de Redes Coletoras de Esgoto e Proposição de um Manual de Práticas Executivas em Redes de Esgoto Sanitário. Catalão. 2014. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Goiás, Campus Catalão, Departamento de Engenharia Civil. 2014. 65p.

FORTINI, C. e COSTA DE MIRANDA, J. L. A aplicação das sanções do novo Marco Legal Do Saneamento Básico aos contratos em curso, Revista de Direito da Administração Pública, ISSN 2595-5667, a.5, v. 1, n. 3, Dossiê Temático: Estado e Políticas Públicas, 2020, p. 295 – 315.

FREIRE, J. R. P. Análise do sistema separador absoluto no âmbito da drenagem pluvial da cidade de campina grande: estudo de caso do canal das Piabas. 2014. 91 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande, 2014

GILVA. Produtos. Disponível em: <https://gilva.com/producto17-tubos%20boca%20campana.html>>. Acessado em: 01/07/2021.

GOMES DE MORAES, A. Critério Prático para escolha do tipo de MND para implantação de redes novas. Encontro Técnico AESABESP - FENASAN, São Paulo. 2018.

HERRERA, M. High production stitch boring installs cable at high production rates. 2017. Disponível em: <<https://ucononline.com/magazine/2017/march-2017-vol-72-no-3/features/>>. Acessado em: 05/06/2021.

ISTT (2006). Trenchless technology guidelines: impact moling and ramming. International Society for Trenchless Technology, 2006. 8p.

KULICZKOWSKA, E.; GIERCZAK, M. Buckling failure numerical analysis of HDPE pipes used for the trenchless rehabilitation of a reinforced concrete sewer. Engineering Failure Analysis, Kielce, v.32, p. 106-112, 2013.

LEVADA, F. A. M. O direito intertemporal e os limites da proteção ao direito adquirido. Dissertação (Mestrado em Direito), Faculdade de Direito da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009.

MATSUI, M. M.; KOCHEN R. Mini e micro túneis com shield (tatução) e revestimento em tubo cravado (slurry pipe jacking). Engenharia Túneis. 2003. Disponível em: <[http://geocompany.com.br/public/img/materias/6\\_-\\_Artigo7.pdf](http://geocompany.com.br/public/img/materias/6_-_Artigo7.pdf)> acessado em 21/07/2021.

NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário: Coleta, Transporte, Tratamento e Reuso Agrícola. - 2ª ed. rev. atual. e ampl. São Paulo: Blucher, 2011. 565p

NUVOLARI, A. A construção das redes de esgoto sanitário. In: NUVOLARI, A. Esgoto Sanitário: Coleta, transporte, tratamento e reuso agrícola. Edgard Blucher, 2003. cap. 6, p. 147-169

NAFAJI, M; GOKHALE S. Trenchless Technology – Pipeline and utility design, construction and renew. 1.ed. United States of America: McGraw-Hill Companies, 2004.

NAJAFI, M. “Trenchless technology piping: Installation and inspection”. 1ª ed. New York: McGraw-Hill Professional, 2010. 3-4 p.

NAJAFI, M. Tecnologia não destrutiva: Planejamento, equipamentos e métodos. 1º Ed. Arlington, Texas, EUA: Bookman, 2016. 567 p.

PATRUS, A. Saneamento básico: efeitos jurídicos da universalização. Consultor Jurídico. Disponível em: <<https://www.conjur.com.br/2020-nov-17/patrus-saneamento-basico-efeitos-juridicos-universalizacao>>. Acesso em: 31/01/2021.

POSSAMAI, J. Z.; BACK, N. Estudo comparativo entre diferentes tipos de tubulações nas redes de instalações hidráulicas prediais. UNESCO - Universidade do Extremo Sul Catarinense, p.1-15, 2012.

PORTAL DA TV ONLINE. Esgoto Sanitário. Disponível em <<https://www.portaldatvonline.com/post/esgoto-sanitario>>. Acesso em: 01/07/2021.

PIMENTA, L. C.; MARQUES, J. S. Consequências de uma ocupação intensa para o ambiente lagunar de Jacarepaguá: o caso das lagoas de Jacarepaguá, Camorim e Tijuca. Revista Geo-UERJ. v. 1, n. especial, p. 2326-2333, Rio de Janeiro, 2003.

RODRIGUES, P. S. Comparação de custos de utilização de métodos não destrutivos – MND e de ABERTURA DE VALA em obras lineares de saneamento. CONGRESSO ABES, FENASAM, 2017.

REVISTA INFRAESTRUTURA. Saneamento: Como especificar galerias pré-moldadas de concreto. São Paulo: Editora PINI, v.19, outubro/2012.

REVISTA INFRAESTRUTURA. Saneamento: Tubulações Flexíveis. São Paulo: Editora PINI, v. 33, dezembro 2013b.

REVISTA TÉCNICA. Tecnologia: Esgoto com tubos corrugados de parede dupla. São Paulo: Editora PINI, v. 91, outubro/2004.

REVISTA CONSTRUÇÃO. Como comprar tubos PEAD. São Paulo: Editora PINI, v. 131, junho 2012.

RIGHI, R. B. S. Recuperação e implantação de redes subterrâneas pelo método não destrutivo – perfuração horizontal direcional. 2015. 64f. Dissertação (Especialização em Construção Civil) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

RIGUETTI, A. L. Avaliação espaço-temporal do grau de trofia em lagoas costeiras da cidade do Rio de Janeiro: aplicação de índices de estado trófico. Dissertação (Mestrado em Química) Programa de Pós-graduação em Química, UERJ, Rio de Janeiro, 2009.

RODRIGUES, P. S. Utilização de métodos não destrutivos – MND em obras de saneamento. Dissertação (Pós Graduação) – Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2016.

SCGCANADA. Pipe Jacking. Disponível em: <http://scgcanada.ca/pipe-jacking/>. Acessado em: 01/07/2021.

SILVA, S. R. C. Método não destrutivo em alternativa ao método convencional para execução de redes coletoras de esgotos. Monografia (Graduação) – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Centro de Tecnologia, Curso de Engenharia Civil, Natal, 2019.

SARMENTO, A. P. et al. Práticas executivas de rede de esgoto sanitário. REEC - Revista Eletrônica de Engenharia Civil, Goiânia, vol. 9, N° 3, p. 61 - 69

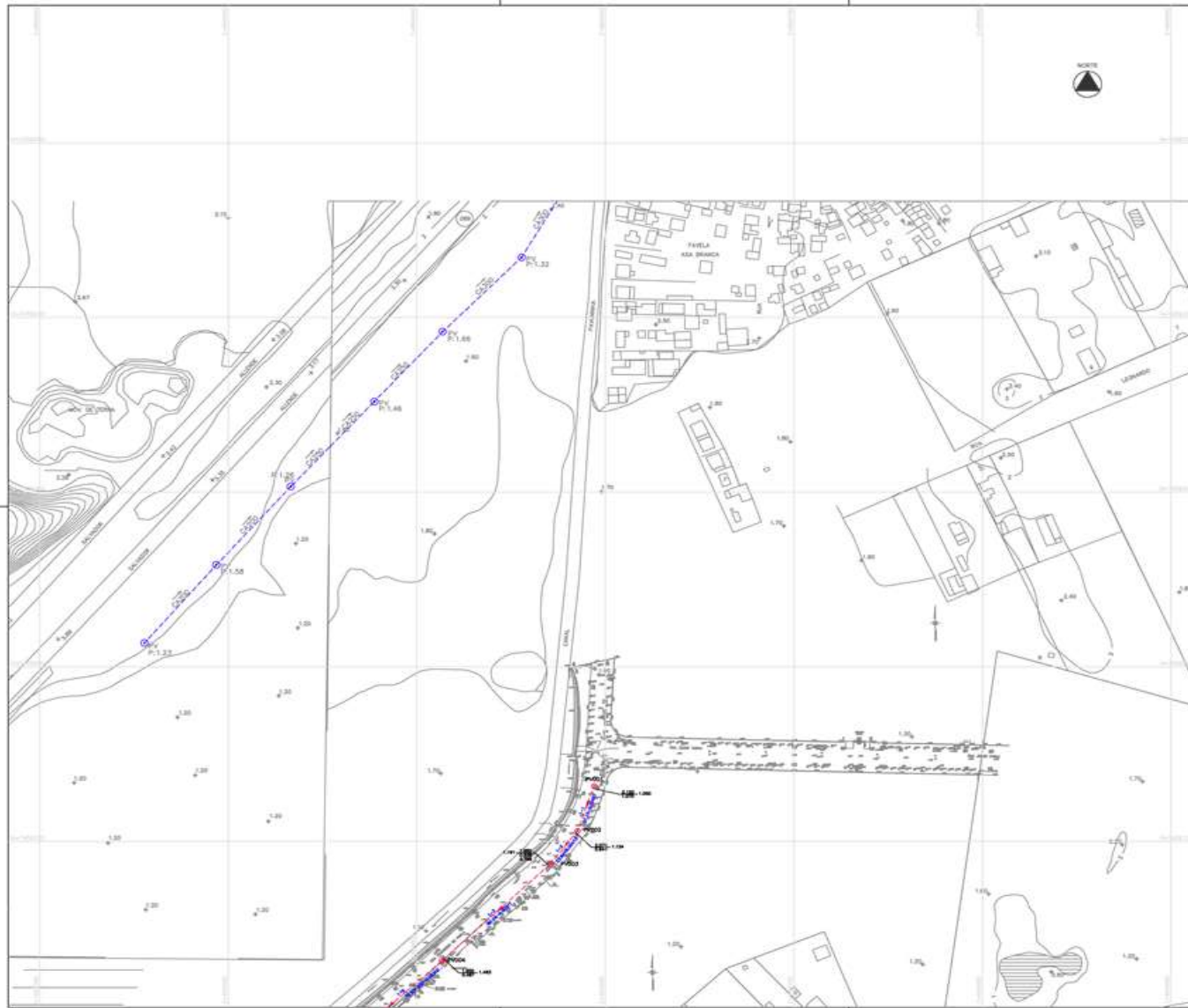
SILVA, G. Impactos ambientais resultantes do processo de ocupação da Barra da Tijuca. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, RJ, 2004.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÃO SOBRE SANEAMENTO – SNIS. 2019. Disponível em: <<http://www.snis.gov.br/painel-informacoes-saneamento-brasil/web/>, 2019> Acesso em 4 julho 2021.

SAE: Perguntas e Respostas - Esgoto. Disponível em: <<http://www.sae.com.br/?sec=esgot&pg=perguntas-e-respostas--esgoto>> Acesso em: 08/12/2014.

TSUTIYA, M. T.; SOBRINHO, P. A. Coleta e Transporte de Esgoto Sanitário. São Paulo: Departamento de Engenharia Hidráulica e Sanitária da Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2000.

# ANEXO A



**LEGENDA**

**NOTAS**

1- PROFUNDIDADES, EXTENSÕES E DISTÂNCIAS EM METROS, ELEVACÕES, COTAS E DIÂMETROS EM MILÍMETRO E DECLIVIDADES EM METRO/METRO, SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.

2- AS INTERFERÊNCIAS A SEREM RECONSIDERADAS OU TRANSFERIDAS, PRESENTES OU NÃO NESTE PROJETO, DEVEM SER CONFIRMADAS NO LOCAL, ANTES DA EXECUÇÃO DAS OBRAS, SENDO DE TOTAL RESPONSABILIDADE DA CONTRATADA.

3- O MÉTODO DE Cálculo DA REDE PROJETADA SEJA O CONCESSIONAL, COM ADEQUAÇÃO DE VARIÁVEIS, DE ACORDO COM AS ESPECIFICAÇÕES GERAIS PARA CONSTRUÇÃO DE COLETORES E GALÉRIAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS DA CEMAE (DIAGRAMA DE SERVIÇO "Y" - SPO - Nº23 DE 04 DE ABRIL DE 1975), SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.

4- AS INTERFERÊNCIAS EXISTENTES DEVEM POSSUIR ESCORAS OU CAULIZES DE APOIO DEBIDO DA VILA, A FIM DE PRESERVAR SEU COMPORTAMENTO ORIGINAL, PORÉM SERÃO REMANEJADAS EM CASOS DE EXTREMA NECESSIDADE, CONFORME ORIENTAÇÕES DAS CONCESSIONARIAS DURANTE A EXECUÇÃO DAS OBRAS.

5- AS LONGIDÕES PROJEADAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS AO LONGO DO TRAJETO DEVEM SER EXECUTADAS PARA OS COLETORES PROJETADOS.

6- OS TUBOS EM PVC DEVEM SEGUIR A NORMA NBR-7242, OS DE CONCRETO, A NORMA NBR-12210, SENDO OS DE CLASSE SA-2 COM JUNTA ELÁSTICA PARA ESGOTO SANITÁRIO E OS DE FERRO FUNDIDO A NORMA NBR-15.425.

7- AS TRECHOS ONDE NÃO FOR INDICADO, DE 150mm.

ID	Tipologia	Dimensão (m)	Tranço	Sub-bacia	Dist. (m)	Cota Topo (m)	Cota Inf. (m)	Margem (m)
01	AF	Dx1,40	1-0	A	18,00	1,800	1,200	0,19
02	AF	Dx1,00	1-0	A	17,40	0,970	-0,030	0,78
03	AF	Dx1,40	1-12	A	3,30	1,640	3,340	0,23
04	AF	Dx1,00	4-6	B	3,30	1,200	0,900	0,18
05	AF	Dx1,40	5-9	C	11,30	1,670	1,670	0,19
06	AF	Dx1,00	6-2	D	25,40	2,330	3,500	0,25
07	AF	Dx1,00	8-8	D	2,70	1,170	0,900	0,21
08	AF	Dx1,00	9-2	H	34,40	1,740	1,440	0,18

**ARTICULAÇÃO**

DI	DIÁMETRO	CLASSE	MATERIAL	UNIDADE
10	1.00	SA-2	PVC	100,00
11	1.50	SA-2	PVC	100,00
12	2.00	SA-2	PVC	100,00
13	3.00	SA-2	PVC	100,00
14	4.00	SA-2	PVC	100,00
15	5.00	SA-2	PVC	100,00
16	6.00	SA-2	PVC	100,00
17	8.00	SA-2	PVC	100,00
18	10.00	SA-2	PVC	100,00

DI	DIÁMETRO	CLASSE	MATERIAL	UNIDADE
19	1.00	SA-2	CONCRETO	100,00
20	1.50	SA-2	CONCRETO	100,00
21	2.00	SA-2	CONCRETO	100,00
22	3.00	SA-2	CONCRETO	100,00
23	4.00	SA-2	CONCRETO	100,00
24	5.00	SA-2	CONCRETO	100,00
25	6.00	SA-2	CONCRETO	100,00
26	8.00	SA-2	CONCRETO	100,00
27	10.00	SA-2	CONCRETO	100,00

**OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE ARROZES**

**CMN** - CONSULTORIA E PROJETOS

**PROJETO BÁSICO**

**CEDAE** - COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUA E ESGOTOS

GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

DIREÇÃO DE DESBARRAÇÃO

RIO DE JANEIRO

ARROZES

BACIA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE ARROZES

REDE COLETORA DE ESGOTOS

PLANTA DA REDE COLETORA CL/04

HIERÁRQUICA

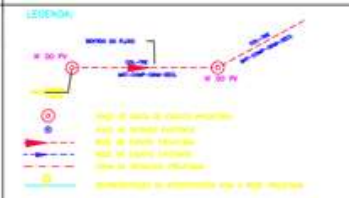
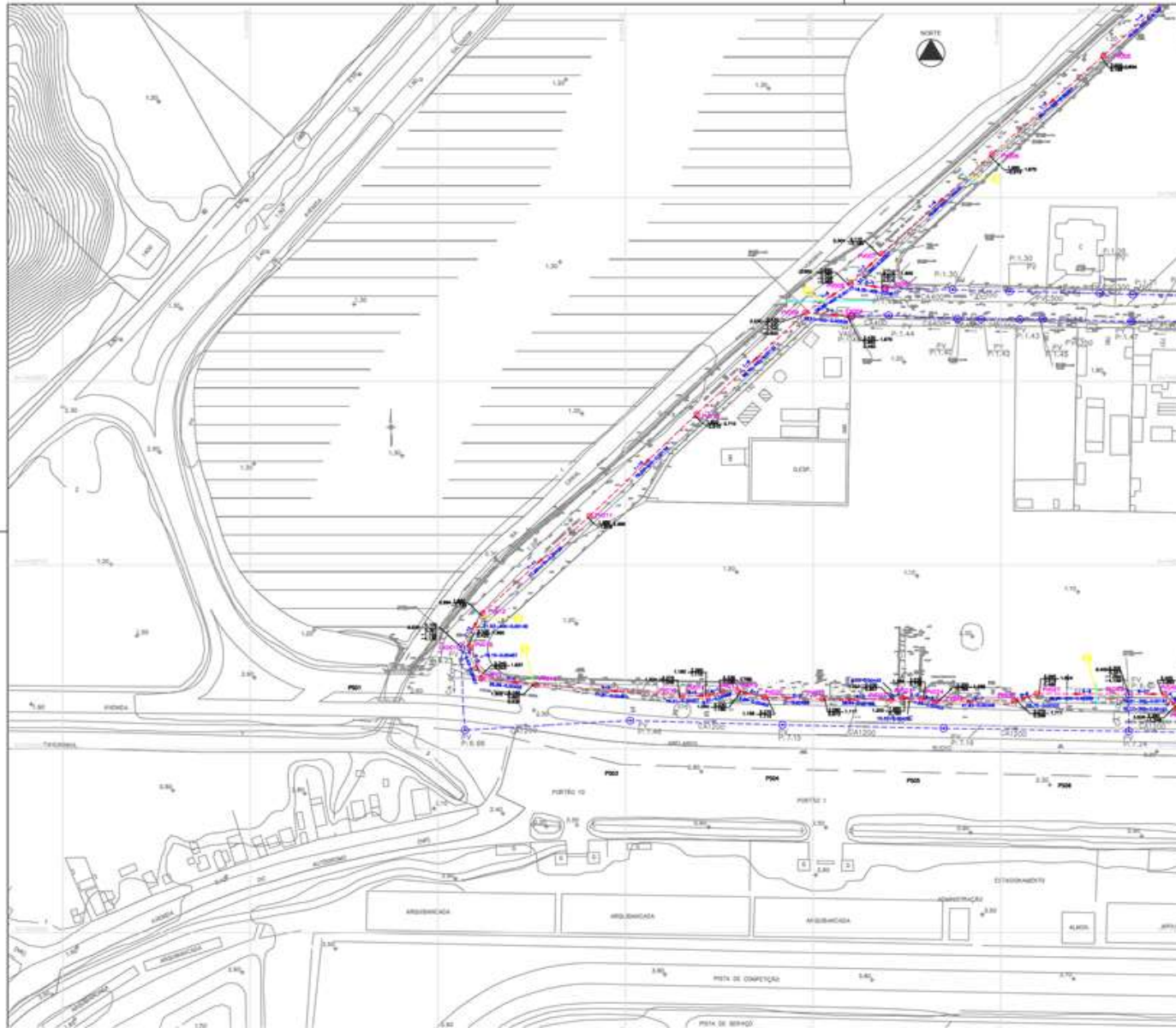
DATA: 11/09

PROJ: 1/10

1:1000

11/10

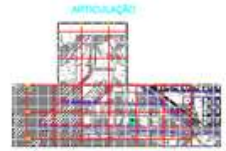
E: 5135-SMT 4537 8128.PE; BCT: 000-01400 DE 007



- NOTAS**
- 1-PROFUNDIDADES, EXTENSÕES E DISTÂNCIAS EM METRO, ELEVÇÕES, COTAS E DIÂMETROS MILÍMETRO E DECLIVIDADES EM METRO/METRO, SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
  - 2-AS INTERFERÊNCIAS A SEREM REAJUSTADAS OU TRANSFERIDAS, PRESENTES OU NÃO, NO PROJETO, DEVEM SER CONFIRMADAS NO LOCAL APÓS DA EXECUÇÃO DAS OBRAS, SENDO DE 3 RESPONSABILIDADE DA CONTRATADA.
  - 3-O MÉTODO EXECUTIVO DA REDE PROJETADA SEM O COMERCIAL, COM ABERTURA DE VAZÃO DE ACORDO COM AS ESPECIFICAÇÕES SEMIS PARA COLETORES E GALERIAS E ESCOPOS SANITÁRIOS DA COTER (SISTEMA DE SERVIÇO Nº 1 - 370 - 473 DE 04 DE ABRIL DE 11 SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA).
  - 4-AS INTERFERÊNCIAS ENCONTRADAS DEVEM POSSUIR ESCOPOS OU CHALETES DE APOIO DO DA VILA, A FIM DE PRESERVAR SEU CARACTERÍSTICO ORIGINAL, PÓS MONTE SEBÃO RECONHECIDO EM CASOS DE EXTREMA NECESSIDADE, CONFORME ORIENTAÇÕES DAS CONCESSIONÁRIAS DURANTE EXECUÇÃO DAS OBRAS.
  - 5-AS LIGAÇÕES PRESSÃO DE ESCOPOS SANITÁRIOS AO LONGO DO TRAJETO DEVEM SER CUIDADOS PARA OS COLETORES PROJETADOS.
  - 6-OS TUBOS EM PVC DEVEM SEGUIR A NORMA NBR-1782, US DE CONCRETO, A NC NBR-1643, SENDO DO TIPO CLASSE 50-2 COM JUNTA SILENCIOSA PARA ESCOPO SANITÁRIO E DE FERRO FUNGIDO A NORMA NBR-15.425.
  - 7-OS TUBOS ONDE NÃO INDICADO, EM 100mm.

**Tabela de Interferências - Bacia de Aroazes**

ID	TIPO	Dimensões [m]	Trancho	Sub	Dist	Cota sup	Cota inf	Margem adôbleza [m]
01	AP	100 x 40	3,8	A	14,70	1,530	1,270	0,27
02	AP	100 x 40	3,8	A	11,40	0,200	0,100	0,20
03	AP	100 x 40	3,8	A	1,30	1,040	1,040	0,00
04	AP	100 x 40	4,4	B	1,70	1,260	0,900	0,36
05	AP	100 x 40	3,8	C	11,30	1,070	1,070	0,00
06	AP	100 x 40	4,2	D	0,80	1,100	1,100	0,00
07	AP	100 x 40	4,4	D	0,70	1,170	0,900	0,27
08	AP	100 x 40	4,2	H	14,80	1,180	1,040	0,14



01	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
02	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
03	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
04	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
05	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
06	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
07	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS
08	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS	TIPO DE OBRAS

**OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE AROAZES**

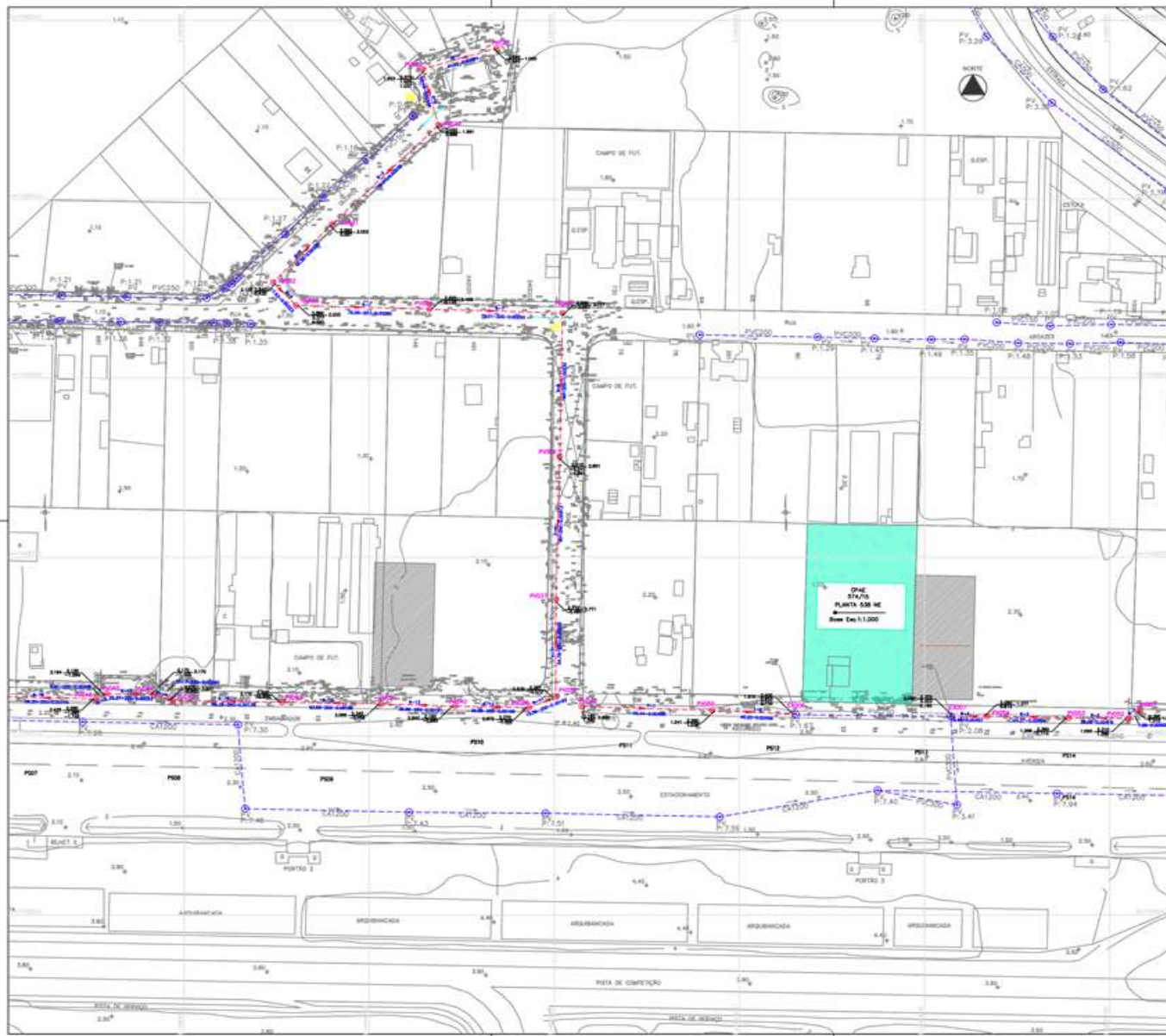
**CMN**  
CONSTRUTORA SUDAM

**PROJETO BÁSICO**

**CEDAE**  
COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUA E ESGOTOS  
GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

Projeto	02/04	Localização	RIO DE JANEIRO	Estado	ARAZES
Nome	OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE AROAZES				
Nome	REDE COLETORA DE ESGOTO				
Nome	PLANTA DA REDE COLETORA 02/04				
Desenhado	Desenhado	Desenhado	Desenhado	Desenhado	Desenhado
Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto	Projeto
Executado	Executado	Executado	Executado	Executado	Executado



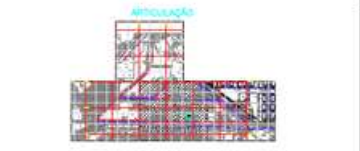


**LEGENDA**

- NOTAS**
- 1-PROFUNDIDADES, EXTENSÕES E DISTÂNCIAS EM METRO, ELEVACOES, COTAS E DIÂMETROS EM MILÍMETRO E DECLIVIDADES DA METRO/METRO, SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
  - 2-AS REFERÊNCIAS A SERVID REMANESCIDAS OU TRANSFERIDAS, PRESENTES OU NÃO NESTE PROJETO, DEVEM SER CONFIRMADAS NO LOCAL ANTES DA EXECUÇÃO DAS OBRAS, SENDO DE TOTAL RESPONSABILIDADE DA CONSTRUÇÃO.
  - 3-O MÉTODO EXECUTIVO DA REDE PROJETADA SEME O CONVENCIONAL (COM ABERTURA DE VAZIOS), DE ACORDO COM AS ESPECIFICAÇÕES GERAIS PARA CONSTRUÇÃO DE COLETORES E GALÉRIAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS DA CEDAE (PROJ. DE SERVIDO 7º - 590 - Nº13 DE 04 DE ABRIL DE 1975), SALVO INDICAÇÃO CONTRÁRIA.
  - 4-AS INTERFERÊNCIAS ENCONTRADAS DEVEM POSSUIR COTAS OU CAVALETE DE APOIO DENTRO DA VALA. A FIM DE PRESERVAR SEU COMPORTAMENTO ORIGINAL, PÓS MONTE SERÃO REMANESCIDAS EM CASOS DE EXTREMA NECESSIDADE, CONFORME ORIENTAÇÕES DAS CONCESSIONÁRIAS DURANTE A EXECUÇÃO DAS OBRAS.
  - 5-AS LIGAÇÕES PRELIMINARES DE ESGOTOS SANITÁRIOS AO LONGO DO TRILHO DEVEM SER EXECUTADAS PARA OS COLETORES PROJETADOS.
  - 6-OS TUBOS EM PVC DEVEM SEGUIR A NORMA NBR-1282, OS DE CONCRETO, A NORMA NBR-4894, SENDO OS DA CLASSE B4-2 COM JANTA ELÁSTICA PARA ESGOTO SANITÁRIO E OS DE FERRO FUNDIDO A NORMA NBR-15.455.
  - 7-NÃO TEREDES ODE NÃO INDICADO, EM 180mm.

Tabela de Interferências - Baixa de Aterros

ID	Rota	Dimensão (m)	Trecho	Sub. baixa (m)	Contra. baixa (m)	Margem (m)		
01	AP	DN.0.40	1-4	A	16.50	1.680	1.230	0,29
02	AP	DN.0.40	1-6	A	17.40	0,700	0,100	0,29
03	AP	DN.0.40	5-13	A	3,30	1,040	1,340	0,29
04	AP	DN.0.30	4-4	B	3,70	1,280	0,960	0,38
05	AP	DN.0.40	5-3	C	31,50	1,870	1,470	0,29
06	AP	DN.0.00	6-2	D	25,80	2,130	1,530	0,25
07	AP	DN.0.80	8-8	D	3,70	1,730	0,800	0,29
08	AP	DN.0.50	9-2	H	16,60	1,740	1,440	0,38



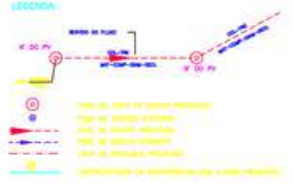
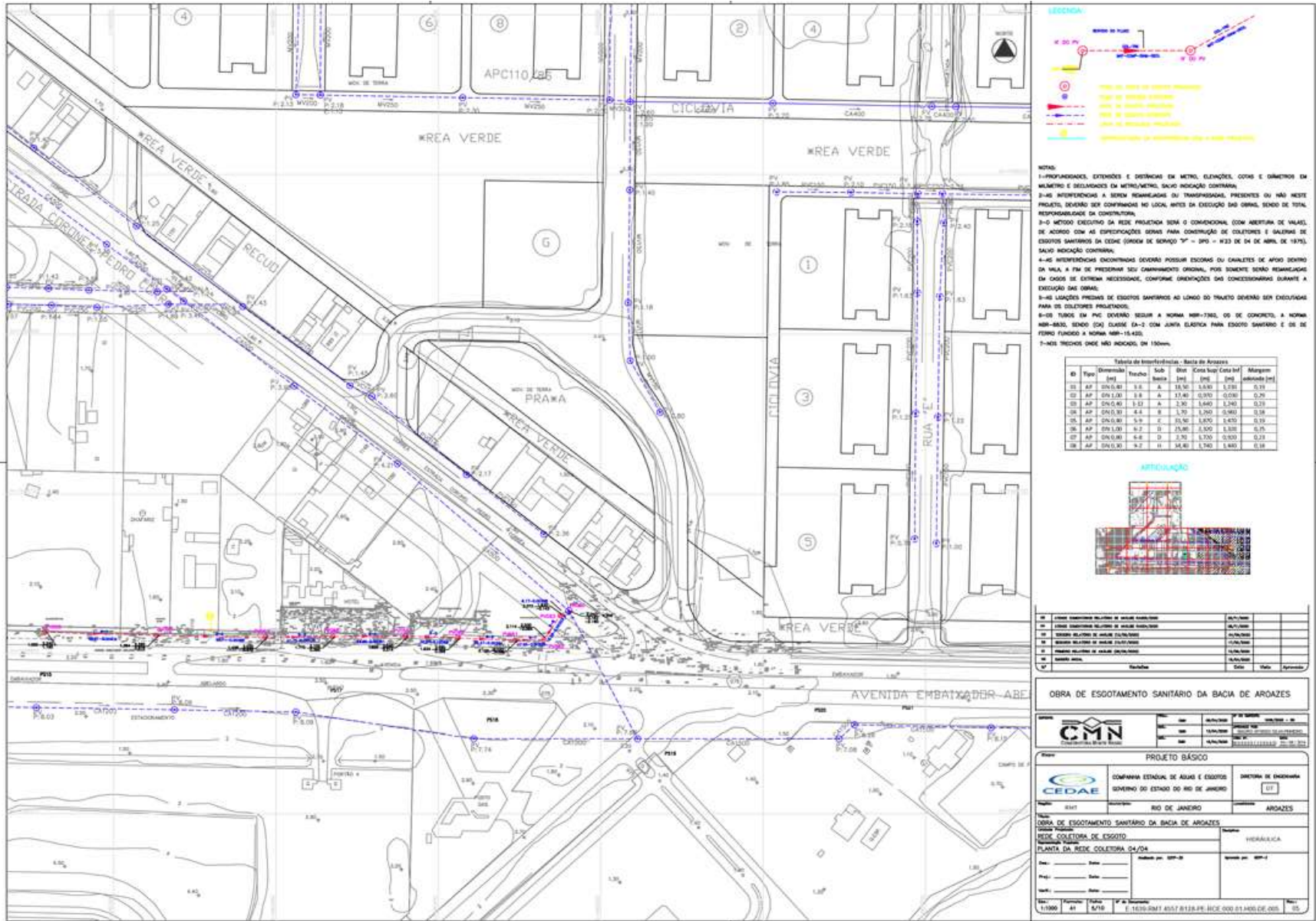
1	1	1	1	1	1
2	2	2	2	2	2
3	3	3	3	3	3
4	4	4	4	4	4
5	5	5	5	5	5
6	6	6	6	6	6
7	7	7	7	7	7
8	8	8	8	8	8
9	9	9	9	9	9
10	10	10	10	10	10
11	11	11	11	11	11
12	12	12	12	12	12
13	13	13	13	13	13
14	14	14	14	14	14
15	15	15	15	15	15
16	16	16	16	16	16
17	17	17	17	17	17
18	18	18	18	18	18
19	19	19	19	19	19
20	20	20	20	20	20
21	21	21	21	21	21
22	22	22	22	22	22
23	23	23	23	23	23
24	24	24	24	24	24
25	25	25	25	25	25
26	26	26	26	26	26
27	27	27	27	27	27
28	28	28	28	28	28
29	29	29	29	29	29
30	30	30	30	30	30
31	31	31	31	31	31
32	32	32	32	32	32
33	33	33	33	33	33
34	34	34	34	34	34
35	35	35	35	35	35
36	36	36	36	36	36
37	37	37	37	37	37
38	38	38	38	38	38
39	39	39	39	39	39
40	40	40	40	40	40
41	41	41	41	41	41
42	42	42	42	42	42
43	43	43	43	43	43
44	44	44	44	44	44
45	45	45	45	45	45
46	46	46	46	46	46
47	47	47	47	47	47
48	48	48	48	48	48
49	49	49	49	49	49
50	50	50	50	50	50
51	51	51	51	51	51
52	52	52	52	52	52
53	53	53	53	53	53
54	54	54	54	54	54
55	55	55	55	55	55
56	56	56	56	56	56
57	57	57	57	57	57
58	58	58	58	58	58
59	59	59	59	59	59
60	60	60	60	60	60
61	61	61	61	61	61
62	62	62	62	62	62
63	63	63	63	63	63
64	64	64	64	64	64
65	65	65	65	65	65
66	66	66	66	66	66
67	67	67	67	67	67
68	68	68	68	68	68
69	69	69	69	69	69
70	70	70	70	70	70
71	71	71	71	71	71
72	72	72	72	72	72
73	73	73	73	73	73
74	74	74	74	74	74
75	75	75	75	75	75
76	76	76	76	76	76
77	77	77	77	77	77
78	78	78	78	78	78
79	79	79	79	79	79
80	80	80	80	80	80
81	81	81	81	81	81
82	82	82	82	82	82
83	83	83	83	83	83
84	84	84	84	84	84
85	85	85	85	85	85
86	86	86	86	86	86
87	87	87	87	87	87
88	88	88	88	88	88
89	89	89	89	89	89
90	90	90	90	90	90
91	91	91	91	91	91
92	92	92	92	92	92
93	93	93	93	93	93
94	94	94	94	94	94
95	95	95	95	95	95
96	96	96	96	96	96
97	97	97	97	97	97
98	98	98	98	98	98
99	99	99	99	99	99
100	100	100	100	100	100

**OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE AROAZES**

**PROJETO BÁSICO**

Nome: **OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE AROAZES**  
 Tipo: **REDE COLETORES DE ESGOTO**  
 Planta: **PLANTA DA REDE COLETORES 03/04**

Escala: 1:1000  
 Data: 14/08/2014  
 Autor: [Assinatura]

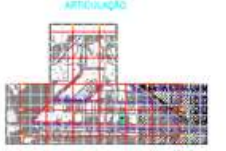


**NOTAS:**

- 1-PROFUNDIDADES, EXTENSÕES E DISTÂNCIAS EM METRO, ELEVAÇÕES, COTAS E DIÂMETROS EM MILÍMETRO E DECLIVIDADES EM METRO/METRO, SAO INDICAÇÃO COMUM.
- 2-AS INTERFERÊNCIAS A SEREM REMEDIADAS OU TRANSFERIDAS, PRESENTES OU NÃO NESTE PROJETO, DEVEM SER COMPROVADAS NO LOCAL ANTES DA EXECUÇÃO DAS OBRAS, SENDO DE TOTAL RESPONSABILIDADE DA CONTRATADA.
- 3-O METODO EXECUTIVO DA REDE PROJETADA SERÁ O COMERCIONAL (COM ABERTURA DE VALAS), DE ACORDO COM AS ESPECIFICAÇÕES GERAIS PARA CONSTRUÇÃO DE COLETORES E GALERIAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS DA CIDE (GRUPO DE NORMAS "P" - IPT - #23 DE 04 DE ABRIL DE 1975), SAO INDICAÇÃO COMUM.
- 4-AS INTERFERÊNCIAS ENCONTRADAS DEVEM POSSUIR ESCALAS OU CHAVETES DE AÇO DENTRO DA MALA, A FIM DE PRESERVAR SEU CARACTER ORIGINAL, POR BOMBEIO SERÃO REABILITADAS EM CASOS DE EXTREMA NECESSIDADE, CONFORME DIRETRIZES DAS CONCESSIONARIAS DURANTE A EXECUÇÃO DAS OBRAS.
- 5-AS LOCALIÇÕES PREVISAS DE ESGOTOS SANITÁRIOS AO LONGO DO TRAJETO DEVEM SER EXECUTADAS PARA OS COLETORES PROJETADOS.
- 6-OS TUBOS EM PVC DEVEM SEGUIR A NORMA NBR-7180, 09 DE CONCRETO, A NORMA NBR-8488, SENDO OSQ, CLASSE SA-2 COM JUNTA ELÉTRICA PARA ESGOTO SANITÁRIO E DE DE FERRO FUNDIDO A NORMA NBR-15.430.
- 7-OS TRECHOS ONDE NÃO INDICADO, EM 150mm.

Tabela de Especificações - Bacia de Arroazas

ID	Diâmetro [mm]	Material	Compr. [m]	Classe	Compr. [m]	Classe	Margem [m]
01	AP 200,00	1,0	A	18,50	1,600	1,200	0,20
02	AP 200,00	1,0	A	12,40	0,900	0,000	0,20
03	AP 200,00	1,0	A	2,30	1,640	1,240	0,20
04	AP 200,00	1,0	A	1,70	1,200	0,900	0,20
05	AP 200,00	1,0	F	15,50	1,000	1,400	0,20
06	AP 200,00	0,2	D	15,80	1,500	1,300	0,20
07	AP 200,00	0,4	D	3,70	1,700	0,900	0,20
08	AP 200,00	0,2	H	34,40	1,740	1,640	0,18



1	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
2	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
3	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
4	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
5	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
6	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
7	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		
8	ÁREA DE INTERFERÊNCIA		

**OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE AROAZAS**

**CMN**  
Comunidade Santa Rosa

**PROJETO BÁSICO**

**CEDAE**  
COMPANHIA ESTADUAL DE ÁGUA E ESGOTO  
GOVERNO DO ESTADO DO RIO DE JANEIRO

DIRETORIA DE ENGENHARIA

Projeto: 4587  
Localidade: RIO DE JANEIRO  
Município: AROAZAS

OBRA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO DA BACIA DE AROAZAS  
REDE COLETORA DE ESGOTO  
PLANTA DA REDE COLETORA 04/04

HEMIRÁULICA

Proj.: \_\_\_\_\_  
Des.: \_\_\_\_\_  
Vet.: \_\_\_\_\_

Esc.: 1:1000  
Folha: 04  
Total: 07/16  
T: 1610-5047 4557 813249 FAX: 000 21 4005 000 05

## ANEXO B

Revestimento		Método cravação		Cota relação R.N.		N.A. Inicial		N.A. Final		Índice de SPT Iniciais/30cm		Índice SPT finais/30cm		Amostras		Camada (m)		Relatório de Sondagem N° 013/2021			
4,0		Tralço final		-2,84						21		27				0,20		Furo SP 01 Cota 2,160			
		CA		-7,84						2		2				0,95		SPT - Standart Penetration Test Camadas - Classificação dos solos			
				-12,84						2		2				1,89					
				-17,84						2		2				3,90		Areia grossa, com pedregulhos (Bica corrida). Areia fina, de cor branca, compacta.			
				-22,84						4		3				5,64		Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa) de cor cinza escuro, de consistência muito mole.			
				-27,84						2		3				7,70		Areia fina, de cor cinza, fofa.			
				-32,84						3		2				9,63		Argila arenosa, de cor cinza clara, de consistência mole.			
										4		2				10,45		Areia fina, pouco argilosa, de cor cinza, fofa.			
										2		2				11		Areia fina, de cor variegada, fofa.			
																12		† Sondagem paralizada por solicitação do cliente.			
																13					
																14					
																15					
																16					
																17					
																18					
																19					
																20					
																21					
																22					
																23					
																24					
																25					
																26					
																27					
																28					
																29					
																30					
																31					
																32					
																33					
																34					
																35					
																36					
																37					
																38					
Nível d'água								Amostrador				Revestimento Ø 2 3/8 "				Data de execução					
N.A. Inicial		1,83 m		28/01/2021		Ø interno		1 3/8 "		Peso		65,0 kg		Início		28/01/2021					
N.A. Final		2,15 m		28/01/2021		Ø externo		2 "		Altura de queda		75,0 cm		término		28/01/2021					

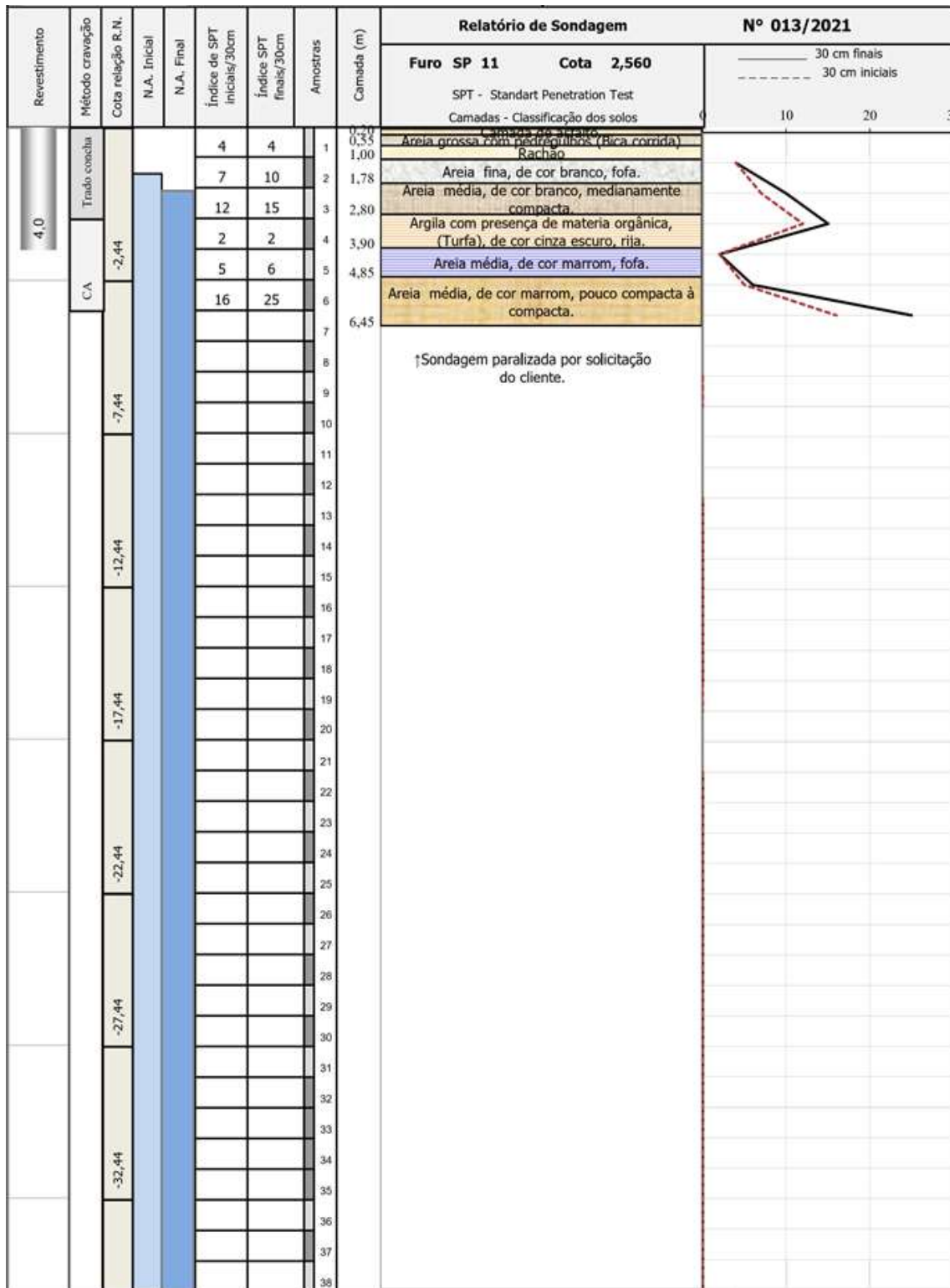
ANEXO B.1 - BOLETIM DE SONDAÇÃO SP 01 LOCALIZADO NA RUA FRANCISCO DE PAULA.



Revestimento		Método emprego		Cota relativo R.N.		N.A. Inicial		N.A. Final		Índice de SPT iniciais/30cm		Índice SPT finais/30cm		Almofitas		Camada (m)		Relatório de Sondagem		Nº 013/2021	
4,0		Tubo escavo		-3,05						4		5						Furo SP 3B		Cota 1,950	
		C.A.		-8,05						3		7						SPT - Standart Penetration Test		30 cm finais	
				-11,05						2		2						Camadas - Classificação dos solos		30 cm iniciais	
				-18,05						2		2									
				-21,05						10		14									
				-28,05						8		11									
				-33,05						17		25									
										50		29,9									
										53		28,7									
										46		54									

Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Camada (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021
									Furo SP 6C	Cota 2,570	
3.0	Trado concha	-2,43			8	5	1	0,20	Camada de areia		
					10	13	2	0,78	Areia grossa, com pedregulhos (Bica corrida).		
					5	4	3	1,90	Areia média, de cor branco, pouco compacta.		
					12	18	4	2,50	Silte arenoso, de cor vermelho, medianamente compacta.		
					16	23	5	4,80	Silte arenoso, de cor vermelho, medianamente compacta.		
					26	32	6	6,45	Areia média, de cor marrom, compacta.		
	CA	-7,43							↑Sondagem paralizada por solicitação do cliente.		
		-12,43									
		-17,43									
		-22,43									
		-27,43									
		-32,43									
Nível d'água		Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução					
N.A. Inici	1,90 m	19/02/2021	Ø interno 1 3/8 "	Peso 65,0 kg	Início 19/02/2021						
N.A. Final	2,05 m	19/02/2021	Ø externo 2 "	Altura de queda 75,0 cm	término 19/02/2021						

ANEXO B.3 - BOLETIM DE SONDAÇÃO SP 6C LOCALIZADO NA RUA QUEIROZ JUNIOR.



ANEXO B.4 - BOLETIM DE SONDAÇÃO SP 11 LOCALIZADO NA RUA AROAZES.

Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Camada (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021	
									Furo SP 15A	Cota 2,680	30 cm finais	30 cm iniciais
3,0	Tubo-enchido	-2,32			2	2	1	0,20	Areia grossa com pedregulhos (Bica corrida)			
					2	2	2	1,98	Silte arenoso, de cor vermelho, fofa.			
					5	7	3	2,87	Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa), de cor cinza escuro, mole.			
					2	2	4	3,95	Areia média, de cor marrom, pouco compacta.			
					6	10	5		Areia média, de cor marrom, medianamente compacta.			
					12	16	6	6,00				
							7					
							8					
							9					
							10					
		11										
		12										
		13										
		14										
		15										
		16										
		17										
		18										
		19										
		20										
		21										
		22										
		23										
		24										
		25										
		26										
		27										
		28										
		29										
		30										
		31										
		32										
		33										
		34										
		35										
		36										
		37										
		38										
Nível d'água					Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução			
N.A. Inicial	1,40	m	09/02/2021	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0	kg	Início 09/02/2021			
N.A. Final	1,85	m	09/02/2021	Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0	cm	término 09/02/2021			

ANEXO B.5 - BOLETIM DE SONDAÇÃO SP 15A LOCALIZADO NA RUA JORGE FARAJ.



Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Camada (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021			
									Furo SP 23	Cota 2,230				
3,0	Tubo concha	CA	-2,77	-	6	7	1	0,20	Areia grossa com pedregulhos (Bica corrida)					
					11	14	2	1,98	Silte arenoso, de cor vermelho, pouco compacta.					
					3	3	3	2,87	Areia fina, de cor branca, medianamente compacta.					
					2	4	4	4,63	Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa), de cor cinza escuro, mole.					
					11	17	5	5,76	Areia fina, de cor marrom, medianamente compacta.					
					27	32	6	6,45	Areia média, de cor marrom, medianamente compacta.					
							7							
							8							
							9							
							10							
							11							
							12							
							13							
							14							
							15							
							16							
							17							
							18							
		19												
		20												
		21												
		22												
		23												
		24												
		25												
		26												
		27												
		28												
		29												
		30												
		31												
		32												
		33												
		34												
		35												
		36												
		37												
		38												
Nível d'água					Amostrador			Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução				
N.A. Inicial	1,30	m	11/02/2021		Ø interno	1 3/8 "		Peso	65,0	kg	Início 11/02/2021			
N.A. Final	1,35	m	11/02/2021		Ø externo	2 "		Altura de queda	75,0	cm	término 11/02/2021			

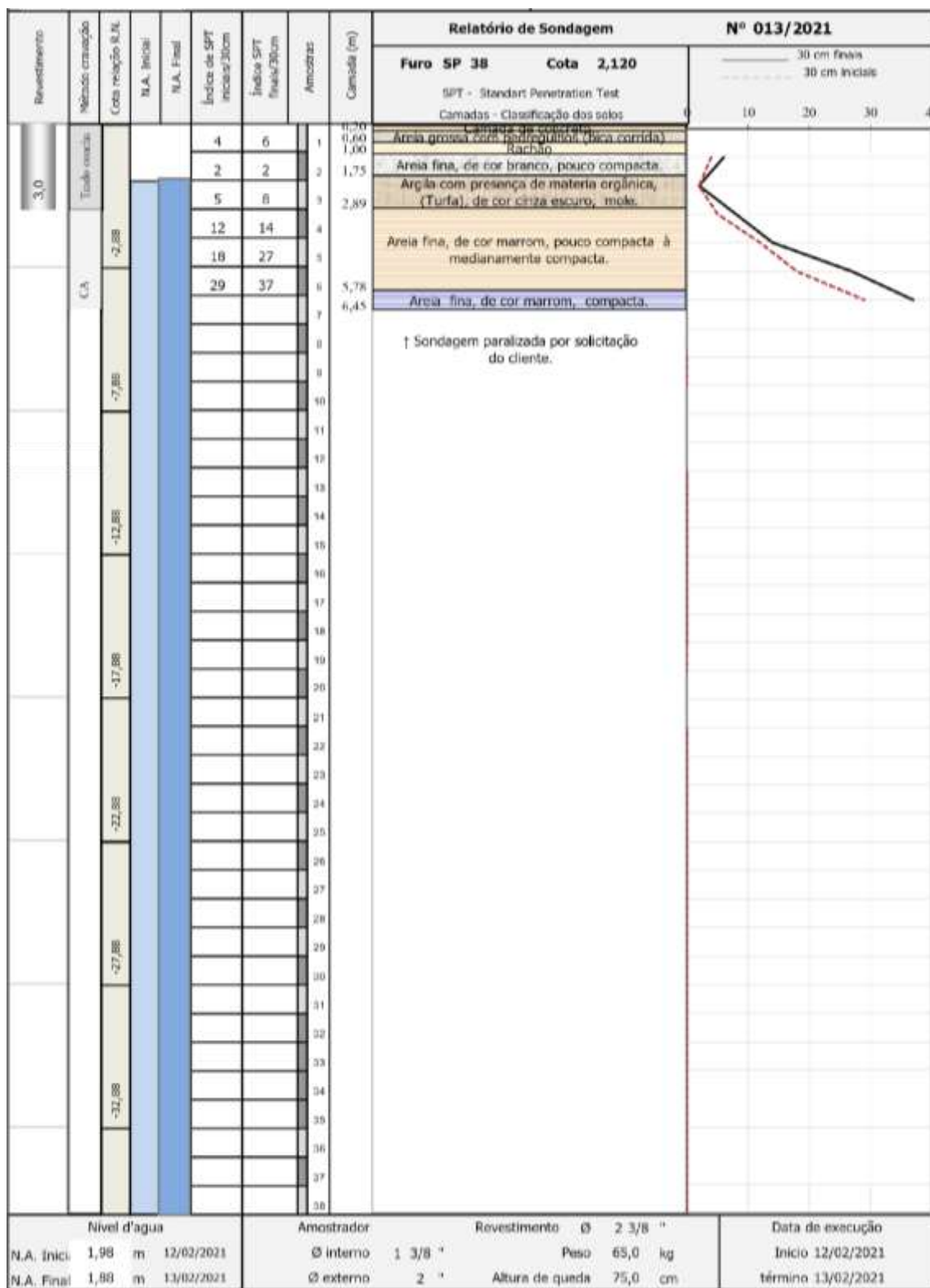
ANEXO B.6 - BOLETIM DE SONDAEM SP 23 LOCALIZADO NA AV. EMBAIXADOR ABELARDO BUENO.

Investimento	Método cravação	Cota relação B.N.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT inicial/30cm	Índice SPT final/30cm	Amostras	Camada (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021	
									Furo SP 28	Cota 2,300	30 cm finais 30 cm iniciais	
3,0	Tímpera aberta	-2,7			5	6	1	0,30	Camada de concreto			
					2	2	2	1,88	Areia grossa com pedregulhos (lisa e arredada)			
					6	8	3	2,65	Areia fina, de cor branco, pouco compacta.			
					14	17	4		Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa), de cor cinza-escuro, mole.			
					19	28	5		Areia fina, de cor marrom, pouco compacta à medianamente compacta.			
					29	34	6	5,34	Areia fina, de cor marrom, compacta.			
							7	6,45				
							8					
							9					
							10					
							11					
							12					
							13					
							14					
							15					
							16					
							17					
							18					
							19					
							20					
							21					
							22					
							23					
							24					
							25					
							26					
							27					
							28					
							29					
							30					
		31										
		32										
		33										
		34										
		35										
		36										
		37										
		38										
		39										
		40										
Nível d'água					Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução			
N.A. Inicial	1,85	m	12/02/2021	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0	kg	Início 12/02/2021			
N.A. Final	1,96	m	12/02/2021	Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0	cm	término 12/02/2021			

ANEXO B.7 - BOLETIM DE SONDAEM SP 28 LOCALIZADO NA AV. EMBAIXADOR ABELARDO BUENO.

Revestimento	Método oração	Cota relação R./L	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice do SPT Inicial/30cm	Índice SPT Final/30cm	Amostras	Cota (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021	
									Furo SP 34	Cota 2,340	30 cm finais	30 cm iniciais
3,0	CA	-2,56			2	2		0,20	SPT - Standard Penetration Test		10	
		-7,56			5	7		1,07	Camadas - Classificação dos solos			
		-12,56			2	2		2,83	Areia grossa com pedregulhos (Bica corrida)			
		-17,56			2	2		3,97	Silte arenoso, de cor vermelho, fofo			
		-22,56			7	9			Areia média, de cor branco, pouco compacta			
		-27,56			9	11		6,00	Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa) de cor cinza escuro, mole			
		-32,56							Areia média, de cor marrom, medianamente compacta			
									† Final de sondagem por solicitação do cliente.			
Nível d'água			Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução					
N.A. Inicial	0,75 m	11/02/2021	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0 kg	Início		11/02/2021			
N.A. Final	1,90 m	11/02/2021	Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0 cm	término		11/02/2021			

ANEXO B.8 - BOLETIM DE SONDAEM SP 34 LOCALIZADO NA AV. EMBAIXADOR ABELARDO BUENO.



ANEXO B.9 - BOLETIM DE SONDAEM SP 38 LOCALIZADO NA AV. EMBAIXADOR ABELARDO BUENO.

Revestimento	Método cravação	Cota relação R.N.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT Iniciais/30cm	Índice SPT finais/30cm	Amostras	Cemada (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021					
									Furo SP 43	Cota 2,310	30 cm finais 30 cm iniciais					
3,0	Enalo concha	-2,69			5	8		0,30	SPT - Standart Penetration Test				10	20	30	4
									Camadas - Classificação dos solos							
	C/A	-7,69			2	2		0,60	Área grossa com pedregulhos (Brita corrida)				10	20	30	4
								Área fina, de cor branco, pouco compacta.								
					5	7		1,95	Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa) de cor cinza escuro, mole.				10	20	30	4
					11	16		2,98	Área fina, de cor marrom, pouco compacta à medianamente compacta.							
					18	28		5,36	Área média, de cor marrom, compacta.				10	20	30	4
					26	37		6,45								
								7	↑ Sondagem paralizada por solicitação do cliente.				10	20	30	4
							8									
							9									
							10									
							11									
							12									
							13									
							14									
							15									
							16									
							17									
							18									
							19									
							20									
							21									
							22									
							23									
							24									
							25									
							26									
							27									
							28									
							29									
							30									
							31									
							32									
							33									
							34									
							35									
							36									
							37									
							38									
Nível d'água				Amostrador				Revestimento Ø 2 3/8 "				Data de execução				
N.A. Inici	1,54	m	16/02/2021	Ø interno	1 3/8 "	Peso	65,0	kg	Início 09/02/2021							
N.A. Final	1,62	m	16/02/2021	Ø externo	2 "	Altura de queda	75,0	cm	término 09/02/2021							

ANEXO B.10 - BOLETIM DE SONDAJEM SP 44 LOCALIZADO NA AV. EMBAIXADOR ABELARDO BUENO.

Revestimento	Método ormeação	Cota rebolo R.L.	N.A. Inicial	N.A. Final	Índice de SPT Inicial/30cm	Índice SPT final/30cm	Amostras	Camada (m)	Relatório de Sondagem		Nº 013/2021	
									Furo SP 50	Cota 2,030	30 cm finais	30 cm iniciais
3,0	Trasb. concha	-2,97			3	4	1	0,20	Aréola grossa com pedregulhos (Bica corvada)			
	CA	-7,97			6	7	2	1,78	Silte arenoso, de cor vermelho, fofo			
		-12,97			2	2	3	2,86	Argila com presença de matéria orgânica, (Turfa) de cor cinza escuro, média			
		-17,97			2	2	4	3,79	Argila com presença de sedimentos biogénicos, de cor cinza escuro, mole			
		-22,97			10	14	5	4,90	Areia fina, pouco argilosa, de cor cinza, fofo.			
		-27,97			9	11	6	6,00	Areia média, de cor marrom, compacta.			
		-32,97					7					
							8					
							9					
							10					
							11					
							12					
							13					
							14					
							15					
							16					
							17					
							18					
							19					
							20					
							21					
							22					
							23					
							24					
							25					
							26					
							27					
							28					
							29					
							30					
							31					
							32					
							33					
							34					
							35					
							36					
							37					
							38					
Nível d'água				Amostrador		Revestimento Ø 2 3/8 "		Data de execução				
N.A. Inici	1,83	m	02/02/2021	Ø interno	1	3/8 "	Peso	65,0	kg	Início 02/02/2021		
N.A. Final	2,15	m	02/02/2021	Ø externo	2	"	Altura de queda	75,0	cm	término 02/02/2021		

ANEXO B.11 - BOLETIM DE SONDAÇÃO SP 50 LOCALIZADO NA AV. EMBAIXADOR ABELARDO BUENO.