

UNIVERSIDADE FEDERAL DE SÃO CARLOS  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

GABRIELA QUEIROZ MOREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE  
BARRAS DE FIBRA DE VIDRO E DE AÇO EM TUBOS  
DE CONCRETO REFORÇADOS PARA SISTEMAS DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

SÃO CARLOS -SP  
2025

GABRIELA QUEIROZ MOREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE BARRAS DE FIBRA DE VIDRO E DE  
AÇO EM TUBOS DE CONCRETO REFORÇADOS PARA SISTEMAS DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho.

São Carlos-SP  
2025

GABRIELA QUEIROZ MOREIRA

**ANÁLISE COMPARATIVA DA UTILIZAÇÃO DE BARRAS DE FIBRA DE VIDRO E DE  
AÇO EM TUBOS DE CONCRETO REFORÇADOS PARA SISTEMAS DE  
ESGOTAMENTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Departamento de Engenharia Civil da Universidade Federal de São Carlos, como parte dos requisitos para a conclusão da graduação em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho.

São Carlos, 11 de julho de 2025.

---

Prof. Dr. Fernando Menezes de Almeida Filho, UFSCar – SP

---

Prof. Dr. Erich Kellner, UFSCar – SP

---

Profa. Dra. Cali Laguna Achon, UFSCar – SP

## AGRADECIMENTOS

Agradeço ao meu professor orientador, Dr. Fernando Menezes, por toda a paciência, disponibilidade e orientação ao longo deste trabalho. Nossas conversas foram fundamentais para que eu pudesse alcançar este objetivo.

Aos meus pais, Cesar e Janaina, pelo amor incondicional, apoio diário, ajuda constante durante toda a graduação e por sempre acreditarem no meu potencial. À Bruna, minha irmã, pelo companheirismo em todos os momentos, especialmente nos mais desafiadores. Sem vocês, nada disso seria possível.

Às minhas amigas, que estiveram ao meu lado com palavras de encorajamento, risos e acolhimento, tornando essa jornada mais leve e significativa.

Ao meu namorado, pelo carinho, apoio incansável, compreensão e por ser uma base segura, especialmente nos momentos em que pensei em procrastinar.

E, por fim, agradeço a Deus, por me sustentar nos momentos de incerteza, renovar minhas forças nas dificuldades e por nunca me deixar sozinha. A Ele, toda a minha gratidão e fé.

## RESUMO

Este trabalho investiga a aplicação de tubos de concreto, conhecidos como manilhas, reforçados com barras de fibra de vidro em sistemas de esgotamento sanitário. Considerando que o esgoto sanitário constitui um ambiente altamente agressivo e comumente negligenciado em termos de manutenção, a corrosão torna-se um dos principais fatores de degradação, comprometendo a durabilidade e a vida útil das manilhas convencionais. Nesse contexto, as barras de fibra de vidro surgem como uma alternativa promissora às armaduras de aço. A pesquisa compara duas soluções estruturais: uma tubulação com armadura de aço e outra armada com fibra de vidro (GFRP), analisando suas vantagens, limitações e desempenho frente às condições de uso. Além do dimensionamento estrutural, foram considerados parâmetros como durabilidade, resistência à corrosão e necessidade de manutenção ao longo da vida útil da estrutura. Entre os resultados obtidos, observou-se que, para uma tubulação de concreto com dimensões previamente definidas, a armadura de aço exige uma área de aproximadamente  $8,6 \text{ cm}^2$ , enquanto a armadura em GFRP requer cerca de  $6,7 \text{ cm}^2$  para resistir aos mesmos esforços, evidenciando a maior eficiência do material compósito. O estudo reforça a necessidade de soluções mais duráveis, sustentáveis e economicamente viáveis, que contribuam para a redução das manifestações patológicas e o aumento da vida útil dessas infraestruturas, especialmente em redes de esgoto sujeitas a ambientes com alta agressividade química.

**Palavras-chave:** barras; fibra de vidro; aço; durabilidade; tubos de concreto; manilha; corrosão; esgoto sanitário.

## ABSTRACT

This study investigates the application of concrete pipes reinforced with fiberglass bars in sanitary sewage systems. Considering that sanitary sewage represents a highly aggressive environment and is often neglected in terms of maintenance, corrosion becomes one of the main degradation factors, compromising the durability and service life of conventional pipes. In this context, fiberglass bars emerge as a promising alternative to steel reinforcement. The research compares two structural solutions: one pipe reinforced with steel bars and the other with fiberglass bars (GFRP), analyzing their advantages, limitations, and performance under operational conditions. In addition to structural sizing, parameters such as durability, corrosion resistance, and maintenance needs throughout the structure's lifespan were considered. Among the results obtained, it was observed that for a concrete pipe with predefined dimensions, the steel reinforcement requires an area of approximately 8.6 cm<sup>2</sup>, while the GFRP reinforcement requires around 6.7 cm<sup>2</sup> to withstand the same stresses, demonstrating greater efficiency of the composite material. The study reinforces the need for more durable, sustainable, and cost-effective solutions that contribute to reducing pathological manifestations and increasing the service life of these infrastructures, especially in sewage networks exposed to high chemical aggressiveness.

Keywords: bars; fiberglass; steel; durability; concrete pipes; corrosion; sanitary sewage.

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO.....</b>	<b>11</b>
1.1 JUSTIFICATIVA.....	12
1.2 OBJETIVO.....	13
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....</b>	<b>14</b>
2.1 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO.....	14
2.1.1 Estrutura e Funcionamento do Sistema de Esgotamento Sanitário... 14	
2.1.2 Caracterização e Composição do Esgoto Sanitário.....	16
2.1.3 Mecanismo de Degradação das Tubulações de Concreto.....	16
2.1.4 Exemplos de Corrosão em Estruturas da Rede Coletoras de Esgoto.....	18
2.2 SISTEMA CONSTRUTIVO DAS TUBULAÇÕES DE CONCRETO ARMADO.....	20
2.2.1 Tipos e Aplicações das Tubulações em Concreto Armado.....	20
2.2.2 Classificação das Tubulações por Desempenho Mecânico.....	22
2.2.3 Processos de Fabricação.....	23
2.2.4 Técnicas de Instalação.....	24
2.3 BARRAS DE FIBRA DE VIDRO COMO ARMADURAS ALTERNATIVAS.....	26
2.3.1 Origem e Evolução do Uso de Barras de Fibra de Vidro.....	26
2.3.2 Propriedades Técnicas e Desempenho das Barras GFRP.....	28
2.3.3 Dimensionamento de Tubos de Concreto para Esgoto com barras GFRP.....	29
<b>3 METODOLOGIA.....</b>	<b>35</b>
3.1 TIPO DE PESQUISA.....	35
3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS.....	35
3.2.1 Levantamento Bibliográfico.....	36
3.2.2 Definição do Modelo de Estudo.....	37
3.2.3 Dimensionamento Estrutural.....	39

3.2.4 Comparação dos Resultados.....	39
3.2.5 Representação em Tabelas.....	39
3.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO.....	39
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>40</b>
4.1 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA TUBULAÇÃO MODELO.....	40
4.1.1 Resultados Obtidos para as Armaduras de Aço.....	42
4.1.1.1 1ª Etapa.....	43
4.1.1.2 2ª Etapa.....	43
4.1.2 Resultados Obtidos para as Armaduras de GFRP.....	45
4.1.3 Comparação dos Resultados Obtidos.....	47
4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA DURABILIDADE, VIDA ÚTIL E NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO DAS ARMADURAS EM AÇO E GFRP .....	48
<b>5 CONCLUSÕES.....</b>	<b>50</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>52</b>

## LISTA DE QUADROS

Quadro 1 – Classe de Agressividade Ambiental de estruturas de concreto armadas com barras GFRP.....	33
Quadro 2 – Classe do Concreto utilizado de acordo com a agressividade ambiental.....	33
Quadro 3 – Cobrimento nominal a ser utilizado.....	33
Quadro 4 – Dimensões dos tubos destinados a esgoto sanitário e água pluvial com junta elástica.....	37
Quadro 5 – Resumo dos Esforços Solicitantes obtidos nos Diagramas.....	41
Quadro 6 – Solicitações e Altura Útil para Cálculo de Armadura Circular Simples...	42

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Principais Tipologias de Tubulações de Concreto.....	21
Tabela 2 – Classe dos Tubos de Concreto de Acordo com o Ensaio de Compressão Diametral (Resumo das Tabelas A.3 e A.4 da norma) .....	22
Tabela 3 – Diferentes Características do Aço e da GFRP.....	30
Tabela 4 – Parâmetros Adotados Para o Modelo de Estudo.....	38
Tabela 5 – Dados Gerais do Objeto de Estudo.....	43
Tabela 6 – Cálculo dos Esforços Solicitantes.....	43
Tabela 7 – 1ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com Aço.....	44
Tabela 8 – 2ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com Aço.....	44
Tabela 9 – 3ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com Aço.....	45
Tabela 10 – 1ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com GFRP.....	46
Tabela 11 – 2ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com GFRP.....	46
Tabela 12 – 3ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com GFRP.....	47

## LISTA DE FIGURAS

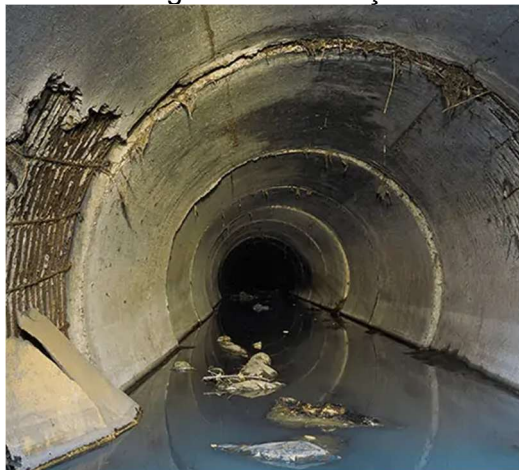
Figura 1 – Patologias em Tubulação de Concreto.....	11
Figura 2 – Unidades Constituintes de um Sistema de Esgotamento Sanitário.....	15
Figura 3 – Corrosão de um duto de concreto por ação dos sulfatos do esgoto.....	18
Figura 4 – Corrosão de Tubulação de Concreto em Rockland, Nova York.....	19
Figura 5 – Principais Tipos Básicos de Instalação de Tubos de Concreto.....	25
Figura 6 – Exemplos de Instalações de Tubos de Concreto.....	26
Figura 7 – Exemplos de Barras de Fibra de Vidro.....	28
Figura 8 – Ensaio de tração do vergalhão de aço CA-50.....	31
Figura 9 – Ensaio de tração do vergalhão de polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP).....	32
Figura 10 – Fluxograma das Etapas Metodológicas do Trabalho.....	36
Figura 11 – Esforços Solicitantes obtidos do Ensaio de Compressão Diametral.....	41
Figura 12 – Arranjo de Armadura Circular Simples.....	42

## 1 INTRODUÇÃO

A maioria das atividades humanas necessitam de água para sua execução. O efluente descartado, após a utilização da mesma, faz parte do esgoto gerado diariamente pela população. Segundo a Lei nº 14.026/2020, que atualiza o marco legal do saneamento básico no Brasil, o sistema de esgotamento sanitário compreende as atividades, infraestruturas e instalações operacionais destinadas à coleta, transporte, tratamento e disposição final dos esgotos sanitários. Nesse sistema, as manilhas de concreto desempenham um papel fundamental, sendo estas, tubos enterrados nas vias urbanas responsáveis por transportar o efluente doméstico desde os pontos de geração (residências, comércios e indústrias) até as unidades de tratamento.

O esgoto é composto por uma variedade de elementos, incluindo sólidos suspensos e dissolvidos, nutrientes, organismos patogênicos e matéria orgânica, que é o principal foco na etapa de tratamento. Nas tubulações de concreto, a concentração de matéria orgânica propicia um ambiente favorável para a proliferação das bactérias, que se alimentam e se reproduzem, liberando gases, como o gás sulfídrico ( $H_2S$ ), que tornam o ambiente agressivo. Isso resulta no desgaste da camada de concreto e na corrosão da armadura, frequentemente feita de aço. Pode-se observar na Figura 1 o exemplo de uma tubulação de concreto na qual ocorreu o deslocamento de parte da camada de concreto e a corrosão da armadura exposta.

Figura 1 – Patologias em Tubulação de Concreto.



Fonte: ZMESCIENCE. *Self-healing concrete for sewage pipes could save billions in repair costs every year.* 2023.

No Brasil, grande parte das construções utilizam aço como material para a armadura das estruturas de concreto. Embora sua importância econômica, tecnológica e cultural seja indiscutível, o aço possui limitações. Estruturas em contato direto com o solo são especialmente vulneráveis à corrosão dos vergalhões de aço e à degradação estrutural, o que exige manutenção rigorosa e frequente. Essa necessidade é constantemente ignorada nas redes de esgoto, devido à dificuldade de monitoramento das tubulações enterradas.

Diante do surgimento constante de novas tecnologias, é essencial buscar soluções mais econômicas, duráveis e sustentáveis que possam superar as desvantagens do aço em determinadas estruturas. As barras de fibra de vidro, por exemplo, foram desenvolvidas para enfrentar essas questões e se apresentam como uma alternativa promissora para determinadas obras, principalmente aquelas que possuem uma elevada classe de agressividade ambiental. Assim, torna-se crucial estudar a aplicação dessas barras em comparação com o aço, avaliando as vantagens e desvantagens de cada material para determinar a opção mais viável em diferentes contextos.

A expectativa é que a utilização dos vergalhões de fibra de vidro nas manilhas de concreto das redes coletoras de esgoto traga resultados positivos, uma vez que apresentam menor suscetibilidade à corrosão, resultando em uma vida útil prolongada da estrutura e na redução da necessidade de manutenção.

## 1.1 JUSTIFICATIVA

Com base nos fatos e análises apresentados anteriormente, nota-se a importância de se estudar novas soluções para a armadura das tubulações de concreto utilizadas nas redes de esgotamento sanitário, buscando evitar a corrosão e a consequente degradação dessas estruturas. Ademais, vale ressaltar que as manutenções desse sistema geralmente são falhas e realizadas de forma corretiva, o que agrava ainda mais o quadro de deterioração progressiva.

Além disso, observa-se que muitas redes de esgoto no Brasil estão se aproximando ou já atingiram o limite de sua vida útil projetada (em média 50 anos), o que aumenta significativamente o risco de falhas estruturais em larga escala. Esse cenário tende a tornar-se uma problemática coletiva, com potencial para

comprometer a segurança sanitária, causar prejuízos ambientais e elevar os custos públicos com intervenções emergenciais.

Dessa forma, a adoção de materiais mais resistentes a ambientes agressivos, como as barras de fibra de vidro, surge como uma alternativa promissora. Seu uso pode ampliar significativamente a durabilidade e a vida útil das tubulações, gerando economia, segurança operacional e benefícios tanto para a população quanto para o meio ambiente.

## 1.2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho foi analisar a problemática enfrentada pelo sistema de esgotamento sanitário, com relação ao desgaste excessivo das armações das estruturas tubulares de concreto e, estudar a utilização de barras reforçadas com fibras de vidro (GRFP) como uma possível alternativa para o cenário apresentado. Foram utilizados para a análise dois objetos de estudo, sendo estes, uma tubulação armada com aço e outra com GRFP. Assim, foi possível visualizar e entender as vantagens e desvantagens do uso dos mesmos. E por fim, proporcionar soluções inovadoras, mais duráveis e conseqüentemente sustentáveis para construção civil.

## 1.3 ESTRUTURA DO TEXTO

A estrutura deste trabalho está organizada em quatro capítulos principais. O capítulo de Revisão Bibliográfica apresenta os conceitos fundamentais sobre tubulações de concreto para esgoto, abordando sua composição, funcionamento, e a aplicação das armaduras em aço e das barras de fibra de vidro (GFRP), com destaque para suas propriedades, vantagens, limitações e aspectos relacionados à durabilidade. O capítulo de Metodologia descreve as etapas de desenvolvimento do trabalho, incluindo os critérios adotados e os dados utilizados no estudo de caso. Por fim, os capítulos de Resultados e Conclusões contêm a comparação entre as soluções estruturais com aço e GFRP, a análise dos pontos relevantes encontrados na pesquisa e propõe sugestões para estudos futuros.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão bibliográfica deste trabalho tem como objetivo fornecer uma base teórica sólida sobre os principais elementos envolvidos na aplicação de tubos de concreto reforçados com barras de fibra de vidro (GFRP) em redes de esgotamento sanitário. Inicialmente, foram abordados o conceito e as partes constituintes desse tipo de infraestrutura, com ênfase na sua importância para a saúde pública e a preservação ambiental. Em seguida, foi analisado o sistema construtivo das tubulações de concreto armado, tradicionalmente utilizadas nessas redes, incluindo suas características, composição e função estrutural. Na sequência, o estudo se volta para as barras de fibra de vidro (GFRP), apresentando suas principais propriedades, vantagens e limitações em relação às armaduras convencionais. Por fim, foi explorada a questão da durabilidade e vida útil das tubulações reforçadas com GFRP, comparando seu desempenho com o das soluções tradicionais, de forma a evidenciar os potenciais benefícios e desafios da sua aplicação.

### 2.1 SISTEMA DE ESGOTAMENTO SANITÁRIO

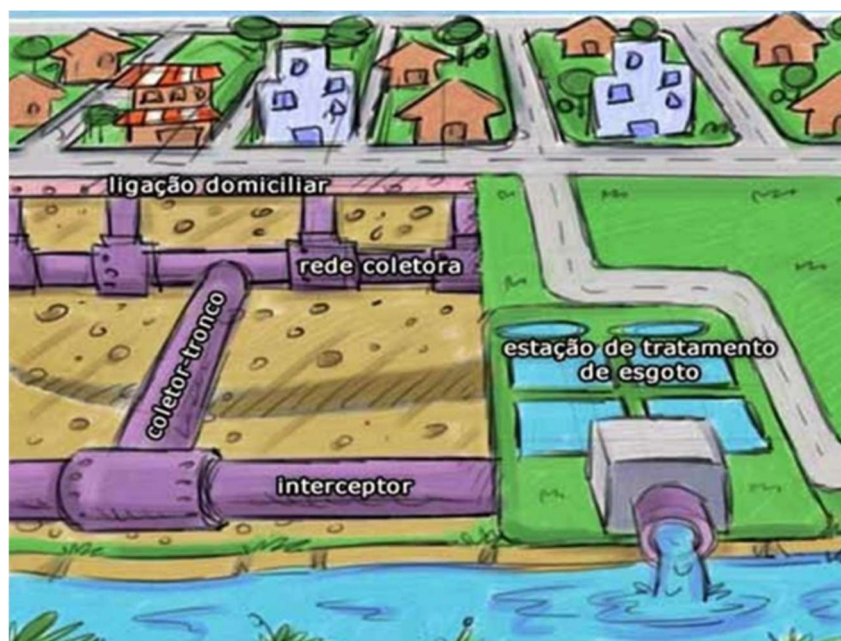
#### 2.1.1 Estrutura e Funcionamento do Sistema de Esgotamento Sanitário

O sistema de esgotamento sanitário é composto por um conjunto de estruturas e equipamentos interligados, cuja função é coletar, transportar, tratar e dispor adequadamente os esgotos gerados em áreas urbanas. De acordo com a ABNT NBR 9648, 1986 (Estudo de Concepção de Sistemas de Esgoto Sanitário – Procedimento), esse sistema deve ser concebido com base em critérios técnicos que assegurem sua eficiência, durabilidade e sustentabilidade ao longo do tempo. Sua organização segue uma hierarquia funcional que garante o fluxo contínuo e eficiente dos efluentes até a sua destinação final, com o objetivo principal de preservar a saúde pública e os recursos ambientais (FUNASA, 2017).

As primeiras unidades do sistema são as ligações domiciliares, responsáveis por conduzir o esgoto dos imóveis até a rede coletora, a qual é composta por tubulações que percorrem vias públicas e reúnem os efluentes de diversas ligações prediais. Essas redes convergem para os coletores tronco e, posteriormente, para

os interceptores, que possuem maior diâmetro e transportam o esgoto em trechos mais extensos, direcionando-o às unidades de tratamento, como pode-se observar na Figura 2 (KISHI, 2013).

Figura 2 – Unidades Constituintes de um Sistema de Esgotamento Sanitário.



Fonte: KISHI, Ruy T. *Sistemas de esgotamento sanitário*. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, Departamento de Hidráulica e Saneamento, 2013.

Nos casos em que o relevo impede o escoamento por gravidade, são utilizadas as estações elevatórias de esgoto, que promovem o bombeamento do efluente para cotas mais altas, por meio da diferença de energia, restabelecendo o fluxo. O esgoto então chega à Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), onde passa por processos físicos, químicos e/ou biológicos destinados à remoção de poluentes. Por fim, após o tratamento, o efluente pode ser lançado em corpos hídricos ou destinado ao reuso em atividades agrícolas, industriais ou de irrigação, dependendo do seu nível de qualidade (FUNASA, 2017).

Essas unidades constituintes operam de forma integrada e devem ser projetadas considerando aspectos técnicos, operacionais, ambientais e econômicos, garantindo a eficiência, durabilidade e sustentabilidade do sistema ao longo do tempo, conforme diretrizes estabelecidas na ABNT NBR 9648, 1986.

### **2.1.2 Caracterização e Composição do Esgoto Sanitário**

De acordo com a norma brasileira ABNT NBR 9648, 1986, o esgoto sanitário é definido como o conjunto de despejos líquidos provenientes do uso da água para fins domésticos, comerciais e, eventualmente, industriais, que são conduzidos por uma rede de esgotamento. Essa definição incluem as águas residuárias originadas de banheiros, cozinhas, lavanderias e demais atividades humanas que envolvem o uso da água em ambientes fechados, principalmente em áreas urbanas.

A composição do esgoto sanitário, conforme estabelecido pela norma, é predominantemente constituída por água (cerca de 99,9%), contendo uma fração muito pequena de sólidos dissolvidos e suspensos (aproximadamente 0,1%). Apesar da baixa concentração de sólidos, estes são os principais responsáveis pelo potencial poluidor do esgoto. Entre os componentes mais relevantes estão os sólidos orgânicos, nutrientes como nitrogênio e fósforo, microrganismos patogênicos e substâncias químicas diversas.

A norma também classifica o esgoto em duas categorias principais: esgoto doméstico e esgoto industrial. O esgoto doméstico é aquele proveniente das atividades humanas residenciais, contendo elevada carga orgânica e presença de agentes patogênicos. Já o esgoto industrial pode variar bastante em sua composição, dependendo do tipo de atividade produtiva, sendo necessário tratamento prévio antes de seu lançamento na rede pública, conforme exigências legais.

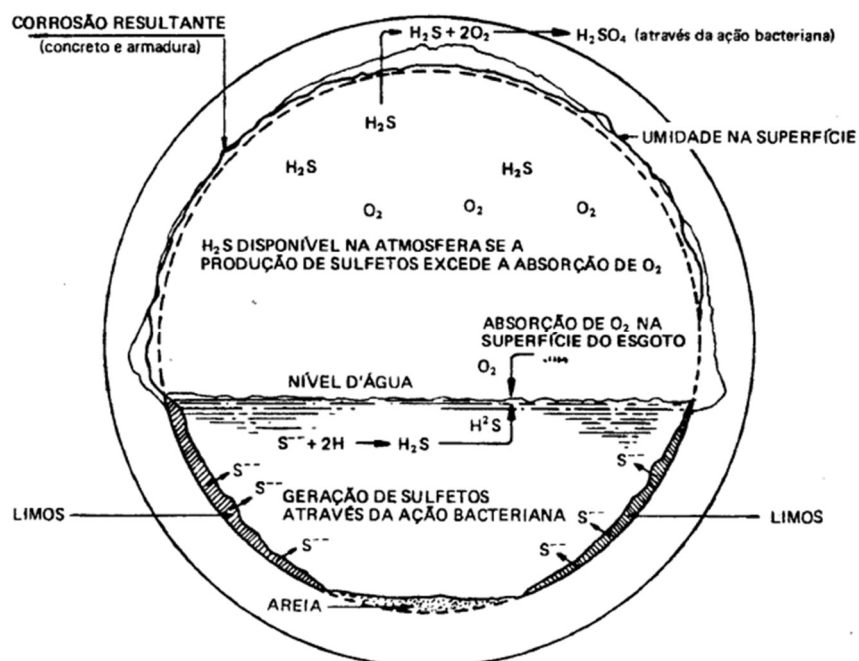
### **2.1.3 Mecanismo de Degradação das Tubulações de Concreto**

Um dos principais fatores responsáveis pela deterioração precoce das estruturas de concreto armado é a corrosão das armaduras, impactando diretamente na sua durabilidade e integridade estrutural. Esse fenômeno ocorre, predominantemente, pela penetração de agentes agressivos, como íons cloreto e dióxido de carbono, que comprometem a camada de óxidos protetora do aço. Uma vez que essa proteção é rompida, a armadura torna-se vulnerável à oxidação, resultando na formação de produtos de corrosão volumosos que geram tensões internas, promovendo fissuras no concreto e acelerando o processo de degradação (MEHTA; MONTEIRO, 2006).

A corrosão nas tubulações de concreto pode ser explicada pela ação química do gás sulfídrico ( $H_2S$ ), que é um dos principais causadores de danos ao concreto em sistemas de esgoto. Esse gás, formado pela decomposição da matéria orgânica na água do esgoto, se acumula nos dutos devido à falta de ventilação adequada. O estudo de Mehta & Monteiro (2006) destaca que a ausência de ventilação forçada é problemática, pois o gás sulfídrico, com seu forte odor, é difícil de ser removido dos dutos sem causar danos diretos para a população ao seu entorno.

A sequência das reações químicas inicia-se com a presença de sulfatos na água potável, cujas concentrações aumentam devido ao uso doméstico e industrial. Bactérias redutoras de sulfatos, quando o oxigênio é escasso, utilizam os íons sulfato ( $SO_4^{2-}$ ) como fonte de oxigênio, liberando íons sulfeto ( $S^{2-}$ ) no meio em que se encontram. A partir da reação dos sulfetos com a água, o gás sulfídrico ( $H_2S$ ) é gerado, o qual, ao ser absorvido pelas superfícies das tubulações de concreto, sofre oxidação. Essa oxidação resulta na formação de ácido sulfúrico ( $H_2SO_4$ ), que ataca o concreto, transformando o hidróxido de cálcio ( $Ca(OH)_2$ ) do concreto em gesso ( $CaSO_4 \cdot 2H_2O$ ), o que compromete a integridade estrutural do material (Bentz, 2002; Kosmatka et al., 2002). Pode-se observar na Figura 3 o esquema que exemplifica o processo de corrosão explicado no tópico.

Figura 3 - Corrosão de um duto de concreto por ação dos sulfatos do esgoto.



Fonte: LUDWIG, Russel G.; ALMEIDA, Sérgio A. Sá. *Corrosão em estruturas de concreto*. São Paulo: Pini, 2005.

#### 2.1.4 Exemplos de Corrosão em Estruturas da Rede Coletoras de Esgoto

A edição nº 101 da Revista DAE “Corrosão de condutos de concreto para esgotos: causas e remédios” 1975, de autoria do engenheiro Rubens Duffles Andrade, apresenta exemplos de estudos de caso relacionados à corrosão em condutos de concreto utilizados nas redes de esgoto de diversas cidades. Entre os casos destacados, encontra-se o de Guanabara, no qual o engenheiro Ademar Della Nina documentou, por meio de fotografias, a corrosão severa ocorrida na laje superior de uma galeria no Rio de Janeiro, em apenas alguns anos de uso. Esse exemplo ilustra de forma clara os danos que a corrosão pode causar em curtos períodos de operação.

Outro caso relevante descrito no artigo da revista foi o de Santo Amaro, em São Paulo, local onde está situada a Usina Termoelétrica de Piratininga, no bairro da Pedreira. Na ocasião, foram instaladas tubulações de concreto armado, com diâmetros internos variando entre 72 e 96 polegadas, destinadas ao transporte das águas poluídas do Rio Pinheiros para o resfriamento das grandes caldeiras da usina. Conforme apontado por Andrade, em apenas três anos de operação, as

superfícies internas dessas tubulações já apresentavam sinais visíveis de corrosão, evidenciando a vulnerabilidade do concreto em condições agressivas.

De acordo com um estudo de Conshield Technologies Inc. (2008), durante uma inspeção de rotina em um interceptor de esgoto de concreto armado de 36 polegadas (aproximadamente 914 mm) de diâmetro, localizado no Condado de Rockland, Nova York, foi identificada uma severa deterioração causada por corrosão microbiologicamente induzida (MIC). A parte superior do tubo, que estava em boas condições cinco anos antes, apresentava-se quase completamente degradada, como pode-se observar na Figura 4. Em trechos de 6 a 9 metros, até mesmo as armaduras de aço haviam desaparecido, restando apenas massas de raízes sustentando o solo acima.

Figura 4 - Corrosão de Tubulação de Concreto em *Rockland, Nova York*



Fonte: Adaptado de CONSHIELD TECHNOLOGIES INC. *Microbiologically Induced Corrosion*. *Water & Wastes Digest*, 2008.

Esses exemplos reforçam a importância de compreender os mecanismos de corrosão em sistemas de esgotamento e de implementar medidas preventivas adequadas. As observações feitas nos casos observados revelam como fatores ambientais e operacionais podem acelerar significativamente os processos de degradação, comprometendo a durabilidade e a funcionalidade das estruturas.

## 2.2 SISTEMA CONSTRUTIVO DAS TUBULAÇÕES DE CONCRETO ARMADO

Tubulações de concreto são sistemas de dutos fabricados com concreto armado, projetados para transportar líquidos ou gases. Estas são amplamente utilizadas em sistemas de drenagem, esgoto, e até para transporte de produtos industriais, devido à sua durabilidade e resistência a diferentes condições ambientais.

Essas tubulações podem ser produzidas de diversas formas, incluindo tubos de concreto simples ou armado, e sua aplicação depende da resistência necessária para suportar as cargas e os tipos de fluidos que irão transportar. O concreto armado é utilizado principalmente em tubos que precisam suportar altas tensões, como em sistemas de esgoto sanitário, devido à sua maior capacidade de resistência mecânica e menor suscetibilidade à degradação em ambientes agressivos, como o contato com ácidos ou sulfatos (Hewlett, 2004; Mehta & Monteiro, 2006).

As tubulações de concreto apresentam vantagens, como resistência ao fogo, boa performance estrutural e durabilidade a longo prazo, mesmo em ambientes agressivos. Além disso, a fabricação dessas tubulações é eficiente, e o custo é relativamente baixo em comparação com outros materiais, como metais ou plásticos (Kosmatka et al., 2002). Entretanto, como citado anteriormente, o concreto utilizado em sistemas de drenagem e esgoto pode ser suscetível a problemas de corrosão, o que pode comprometer sua vida útil.

Esses sistemas de tubulação são fundamentais para infraestruturas de saneamento e construção civil, e a evolução dos métodos de produção tem permitido a criação de soluções mais eficientes e duráveis, com o objetivo de contornar problemáticas como a corrosão dos tubos. A seguir, serão analisados os diferentes tipos de tubos utilizados para esgoto sanitário, além dos métodos de execução e instalação das manilhas.

### 2.2.1 Tipos e Aplicações das Tubulações em Concreto Armado

As tubulações de concreto destinadas ao transporte de esgoto sanitário são projetadas para suportar as condições agressivas desse tipo de fluido, como a presença de agentes químicos e gases corrosivos. Essas tubulações diferenciam-

se quanto ao tipo de junta, método construtivo, revestimento interno e aplicação específica. A Tabela 1 apresenta as principais tipologias utilizadas nas redes coletoras de esgoto, destacando suas aplicações mais comuns, características construtivas, principais vantagens e eventuais limitações de uso.

Tabela 1 – Principais Tipologias de Tubulações de Concreto

<b>Tipo</b>	<b>Aplicação Principal</b>	<b>Características</b>	<b>Vantagens</b>	<b>Limitações</b>
<b>Concreto Simples (TCS)</b>	Redes coletoras de baixa profundidade.	Sem armadura; utilizado em locais com pouca carga.	Mais barato e simples de fabricar.	Baixa resistência estrutural e à pressão.
<b>Concreto Armado (TCA)</b>	Interceptoras, emissários, áreas com tráfego intenso.	Contém armadura; alta resistência mecânica.	Suporta grandes cargas e profundidades.	Mais caro e pesado.
<b>Com Junta Rígida (ponta e bolsa)</b>	Terrenos estáveis, sem grandes movimentações.	Vedação por argamassa ou materiais similares.	Simples e comum em projetos convencionais.	Menor tolerância a recalques e vibrações.
<b>Com Junta Elástica</b>	Regiões com recalques ou vibrações.	Anel de borracha garante estanqueidade e flexibilidade.	Maior vedação e durabilidade.	Custo levemente superior.
<b>Junta Macho-Fêmea</b>	Redes com montagem rápida e prática.	Encaixe direto com geometria Complementar.	Facilidade de instalação, bom alinhamento axial.	Pode exigir vedação adicional para estanqueidade total.
<b>Revestidos Internamente</b>	Áreas com presença elevada de H <sub>2</sub> S ou ambientes agressivos.	Revestidos com epóxi, PVC, polietileno ou argamassa especial.	Alta durabilidade contra corrosão química.	Alto custo e maior complexidade de fabricação.
<b>Premoldados</b>	Obras com logística simples e bom acesso.	Produzidos em fábrica com controle de qualidade.	Padrão de qualidade elevado.	Dificuldade em locais de difícil acesso.
<b>Moldados in loco</b>	Grandes galerias ou locais com difícil transporte.	Produzidos diretamente no local da obra.	Ideal para grandes diâmetros e grandes extensões.	Execução mais lenta e exige mão de obra especializada.

Fonte: Autoria própria, 2025.

As tubulações de concreto utilizadas em redes de esgotamento sanitário

apresentam uma ampla faixa de diâmetros nominais internos, que variam de acordo com o tipo de tubo e as exigências do projeto. No caso de tubos de concreto armado, os diâmetros internos padronizados vão de 300 mm a 2.500 mm, atendendo tanto pequenas redes coletoras quanto grandes interceptores. Já para os tubos de concreto simples (não armados), a norma recomenda um diâmetro máximo de 600 mm, devido à menor capacidade de resistência estrutural, sendo indicados para trechos com solicitações mecânicas menos intensas. Conforme estabelecido pela ABNT NBR 8890, 2020, essas faixas dimensionais visam garantir a compatibilidade entre os elementos, o desempenho hidráulico adequado e a segurança das estruturas frente às cargas atuantes no sistema, promovendo durabilidade e eficiência operacional ao longo do tempo.

### 2.2.2 Classificação das Tubulações por Desempenho Mecânico

De acordo com a ABNT NBR 8890, 2020, os tubos de concreto são classificados com base em três critérios principais: o tipo de aplicação (P para águas pluviais e E para esgoto sanitário), o tipo de reforço (S para tubos simples, sem armadura; e A para tubos armados com aço), e a classe de resistência mecânica, que varia de 1 a 4, conforme os requisitos estabelecidos nas Tabelas A.3 e A.4 da norma. Quanto maior o número da classe, maior é a resistência exigida nos ensaios de compressão diametral. Por exemplo, a sigla EA3 representa um tubo armado com aço, destinado a redes de esgoto, classificado como Classe 3 em termos de resistência. A norma também permite o uso de fibras de aço como reforço alternativo ou complementar, desde que os tubos resultantes atendam aos critérios de desempenho especificados para sua classe de aplicação. A Tabela 2 mostra um resumo das tabelas A.3 e A.4 da norma, a respeito das classes dos tubos de concreto.

Tabela 2 – Classe dos Tubos de Concreto de acordo com o Ensaio de Compressão Diametral.

Classe do Tubo	Aplicação	Tipo de Reforço	Faixa de Diâmetros (mm)	Faixa de Carga Mín. de Ruptura (kN/m)
PS: 1 a 2	Águas Pluviais	Simplex	200 a 600	16 a 36

ES	Esgoto	Simples	200 a 600	36 a 54
PA: 1 a 4	Águas Pluviais	Armado	300 a 2000	18 a 360
EA: 2 a 4	Esgoto	Armado	300 a 2000	27 a 360

Fonte: Autoria própria, 2025.

A seleção da classe adequada da tubulação está diretamente relacionada a fatores como o tipo de solo, a profundidade de assentamento e a intensidade das cargas atuantes sobre o sistema. Em solos mais agressivos ou altamente compactados, bem como em locais com tráfego intenso, são exigidos tubos com maior resistência à compressão. Deve-se também considerar as classes de resistência do concreto conforme a ABNT NBR 6118, 2023, levando em conta o grau de agressividade do ambiente ao qual a estrutura será exposta, a fim de garantir a durabilidade e o desempenho estrutural ao longo do tempo.

Além da resistência, a impermeabilidade dos tubos constitui um critério fundamental estabelecido pela ABNT NBR 8890, 2020, visando evitar o vazamento de esgoto e a consequente contaminação do solo e dos lençóis freáticos. Para verificar essa exigência, são realizados ensaios específicos de estanqueidade, assim como avaliações da uniformidade dimensional e da integridade estrutural dos tubos. As dimensões (como o diâmetro interno e a espessura da parede) também devem atender aos limites estabelecidos pelas normas, assegurando o desempenho hidráulico adequado do sistema.

### 2.2.3 Processos de Fabricação

A fabricação dos tubos de concreto armado destinados às redes de esgoto sanitário segue rigorosos critérios técnicos estabelecidos pela ABNT NBR 8890, 2020, que visa garantir a qualidade, resistência e durabilidade dos elementos estruturais utilizados em sistemas de infraestrutura urbana. O processo inicia-se com a dosagem controlada dos materiais constituintes do concreto, como cimento, agregados miúdos e graúdos, água e aditivos, quando necessários. O fator

água/cimento deve ser rigorosamente observado, visto que influencia nas propriedades mecânicas do concreto, resistência do tubo e na sua durabilidade.

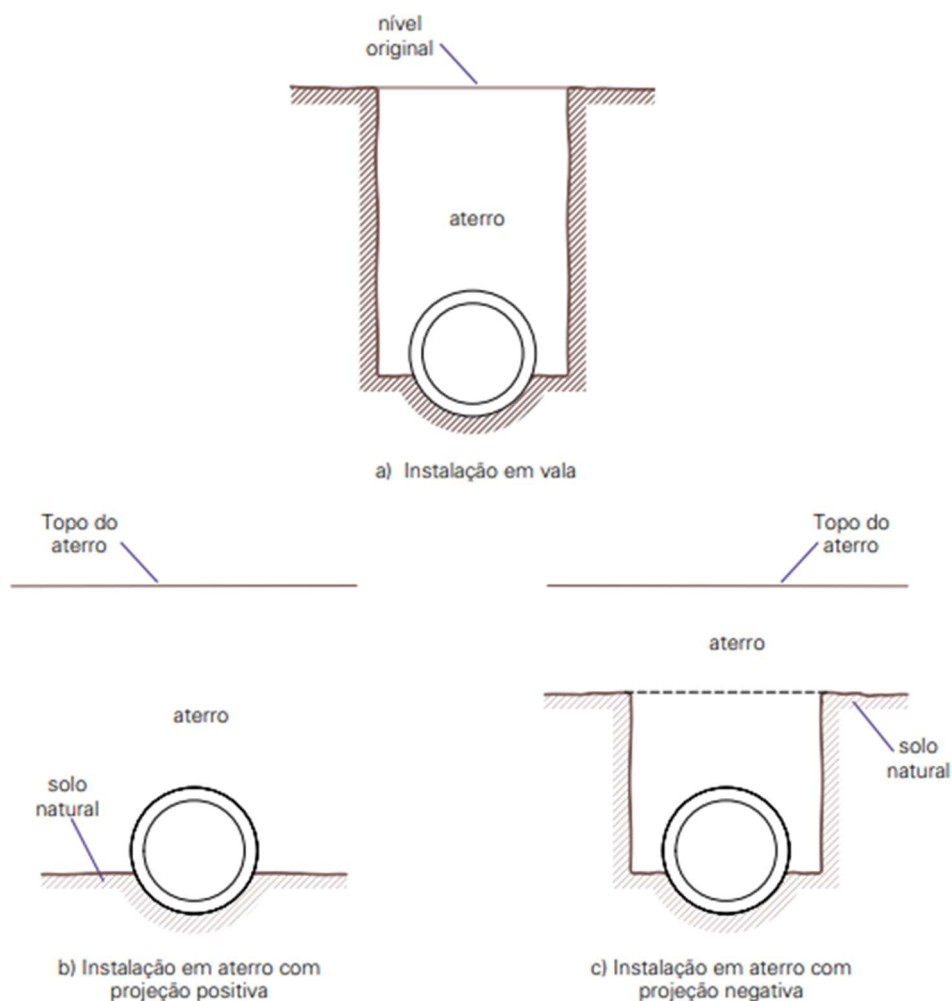
No caso dos tubos de concreto armado, uma armadura (usualmente metálica) é previamente montada e posicionada no interior dos moldes, proporcionando ao tubo maior resistência às cargas atuantes, especialmente quando instalado em profundidades elevadas ou sob tráfego intenso. A moldagem pode ser realizada por diversos métodos, como centrifugação, vibração ou vibrocompactação vertical (comum na fabricação de tubos de grande diâmetro). Após a moldagem, os tubos passam por um processo de cura, geralmente com aplicação de vapor ou cura úmida, que garante o desenvolvimento adequado da resistência mecânica do concreto.

Concluído o processo de cura, os tubos são desenformados, inspecionados visualmente e submetidos a ensaios específicos, como o de compressão diametral e o de estanqueidade. Esses testes asseguram que os tubos atendem aos requisitos normativos de resistência e impermeabilidade. Por fim, cada tubo recebe marcações permanentes com dados como a classe, o número da norma (ABNT NBR 8890, 2020), a data de fabricação e a identificação do fabricante, garantindo rastreabilidade e controle de qualidade.

#### **2.2.4 Técnicas de Instalação**

A instalação correta das tubulações de concreto é essencial para garantir o desempenho estrutural e a durabilidade do sistema, principalmente em redes de esgoto sanitário. De acordo com o Manual de Tubulações de Concreto do Instituto Brasileiro de Telas Soldadas (IBTS), as técnicas de assentamento são classificadas principalmente em dois tipos: assentamento convencional (em vala - trincheira) e assentamento em vala com cama de apoio e reaterro controlado (podendo ser em projeção positiva ou negativa), como está apresentado na Figura 5.

Figura 5 – Principais Tipos Básicos de Instalação de Tubos de Concreto.



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. *Manual de Tubulações de Concreto*. São Paulo, 2003.

O assentamento convencional é caracterizado pela escavação da vala em solo natural, onde o fundo da vala serve como apoio direto para o tubo. Essa técnica é adequada para solos firmes e bem compactados, sendo comum em instalações de pequeno porte ou em terrenos de baixa agressividade.

Já o assentamento com cama de apoio e reaterro controlado é recomendado para situações em que o solo natural não oferece suporte adequado ou em casos de cargas mais elevadas. Nessa técnica, utiliza-se uma camada de material granular compactado (geralmente areia ou brita graduada) para formar uma base regular e uniforme, seguida por reaterros laterais e superiores cuidadosamente compactados, com o objetivo de distribuir adequadamente as tensões atuantes sobre o tubo.

Além disso, o manual destaca a importância do alinhamento e nivelamento corretos, do uso de juntas flexíveis e da verificação das cargas atuantes (cargas de tráfego, sobrecarga de solo e água) no momento do projeto. O não atendimento dessas práticas pode comprometer a integridade da tubulação, resultando em recalques, trincas ou até rupturas estruturais. Na Figura 6 pode-se observar alguns exemplos práticos de instalações reais apresentadas no Manual do IBTS.

Figura 6 – Exemplos de Instalações de Tubos de Concreto.



*Alguns tipos de instalação de tubos de concreto: a) linha dupla de tubos instalados em aterro com projeção positiva; b) linha simples de tubos instalados em aterro com projeção positiva; c) linha simples de tubos instalados em vala com largura variável e d) linha simples de tubos instalados em vala, com escoramento de madeira.*

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. *Manual de Tubulações de Concreto*. São Paulo, 2003.

## 2.3 BARRAS DE FIBRA DE VIDRO COMO ARMADURAS ALTERNATIVAS

### 2.3.1 Origem e Evolução do Uso de Barras de Fibra de Vidro

As barras de polímero reforçado com fibras (FRP) são materiais compósitos, compostos por fibras contínuas, predominantemente longitudinais, imersas em uma matriz polimérica rígida, com a função de atuar como armadura estrutural em

elementos de concreto. De acordo com o relatório técnico ACI 440.1R-15, 2015, essas barras apresentam formato alongado e são projetadas para servir de alternativa as armaduras convencionais de aço em aplicações específicas, sobretudo onde há exposição a ambientes agressivos.

O desenvolvimento dos compósitos FRP teve início no período pós-Segunda Guerra Mundial, quando o setor aeronáutico passou a utilizar intensivamente materiais leves e resistentes. Com a expansão econômica nos Estados Unidos, surgiu a necessidade de métodos produtivos mais eficientes e econômicos, momento em que a pultrusão (processo contínuo de fabricação de perfis com seção constante) se consolidou como técnica viável para a produção em larga escala de componentes estruturais em FRP. Inicialmente empregados em produtos esportivos, como varas de pesca e acessórios para campos de golfe, os compósitos passaram a ser considerados para aplicação em estruturas de concreto a partir da década de 1960 (ACI 440.1R-15, 2015).

Durante os anos 1950 e 1960, aumentaram as preocupações com a durabilidade de estruturas expostas a ambientes marinhos, como pontes e viadutos. As armaduras de aço, mesmo com manutenção frequente, sofriam deterioração acentuada por corrosão, gerando altos custos de recuperação. Nesse contexto, os compósitos reforçados com fibra de vidro (GFRP) começaram a ser avaliados como solução alternativa. Segundo o ACI 440.1R-15, 2015, somente a partir da década de 1970 os sistemas de FRP passaram a ser efetivamente adotados como reforço estrutural em função da sua excelente resistência à corrosão e leveza.

A Figura 7 apresenta diferentes tipos de barras de fibra de vidro. As barras exibidas na figura diferenciam-se principalmente pelo acabamento superficial, coloração, geometria e textura. Algumas apresentam revestimento rugoso com areia ou superfície helicoidal, características que favorecem a aderência ao concreto. Outras possuem acabamento mais liso ou filetes mais suaves, o que pode indicar usos específicos com menor exigência de ancoragem mecânica. As variações de cor e translucidez refletem diferenças na composição da matriz polimérica (como epóxi ou viniléster) e no tipo de fibra utilizada. Essas distinções influenciam diretamente no desempenho estrutural, na resistência química e na adequação a diferentes condições de exposição e aplicação.

Figura 7 – Exemplos de Barras de Fibra de Vidro.



Fonte: ACI COMMITTEE 440. *Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars*. ACI 440.1R-15. Farmington Hills, MI: American Concrete Institute, 2015.

### 2.3.2 Propriedades Técnicas e Desempenho das Barras GFRP

As barras de FRP, como as produzidas com fibras de vidro (GFRP), são materiais anisotrópicos, ou seja, suas propriedades variam de acordo com a direção analisada. Estas podem ser produzidas por diferentes processos industriais, como pultrusão, trançado e tecelagem, sendo o desempenho final influenciado por diversos fatores: tipo e proporção de fibras, tipo de resina polimérica, orientação das fibras, controle dimensional e controle de qualidade durante a produção. Tais variabilidades justificam a necessidade de ensaios específicos, conforme previsto na ABNT NBR 17201, 2025, que estabelece os requisitos mínimos de desempenho físico-mecânico dessas barras para aplicação em estruturas de concreto.

Um dos aspectos mais relevantes do GFRP é sua baixa densidade, variando entre 1,25 a 2,1 g/cm<sup>3</sup>, o que corresponde a cerca de 1/6 a 1/4 da densidade do aço, conforme o ACI 440.1R-15, 2015. Essa característica reduz significativamente o peso próprio das estruturas, facilita o transporte e o manuseio em obra, além de diminuir esforços sobre fundações.

Outro fator de destaque é o coeficiente de dilatação térmica, que varia de

forma significativa entre as direções longitudinal (dominada pelas fibras) e transversal (dominada pela resina). A expansão térmica na direção transversal pode ser consideravelmente superior à do concreto, o que exige cuidados no dimensionamento do cobrimento. O ACI 440.1R-15, 2015 recomenda que a proporção entre a espessura do cobrimento ( $c$ ) e o diâmetro da barra ( $d_c$ ), ou seja,  $c/d_c \geq 1,6$ , seja respeitada para evitar fissuração do concreto sob temperaturas de até 80 °C.

No que se refere ao comportamento mecânico, as barras de GFRP apresentam alta resistência à tração, porém com módulo de elasticidade inferior ao do aço, o que pode influenciar no controle de deformações em projetos estruturais. Sua resistência à compressão é significativamente menor, não sendo indicada para absorver esforços desse tipo. Uma das grandes vantagens do material, conforme ressaltado pelas normas brasileira e americana, é sua alta durabilidade e resistência à corrosão, além de não ser condutivo.

Entretanto, as FRP exigem atenção quanto ao fenômeno de ruptura por fluência (ou fadiga estática), caracterizado pela falha progressiva do material sob tensão constante ao longo do tempo. Esse efeito é acentuado em temperaturas elevadas, como em situações de incêndio, representando uma limitação ao uso irrestrito do material em todas as condições.

### **2.3.3 Dimensionamento de Tubos de Concreto para Esgoto com barras GFRP**

O dimensionamento de armaduras de fibra de vidro (GFRP) em tubulações de concreto armado exige uma abordagem diferenciada em relação ao aço convencional, sobretudo devido ao comportamento anisotrópico do material, à menor rigidez e à ausência de plastificação. Tanto a norma americana ACI 440.1R-15, 2015 quanto a norma brasileira ABNT NBR 17201, 2025 oferecem diretrizes fundamentais para garantir segurança, durabilidade e desempenho estrutural adequado das barras poliméricas aplicadas em estruturas de concreto.

Ao contrário das armaduras de aço, que possuem comportamento dúctil e módulo de elasticidade elevado, as GFRP se caracterizam por um comportamento linear-elástico até a ruptura e módulo de elasticidade reduzido (geralmente entre 40 e 60 GPa), o que requer maior atenção ao controle das deformações e fissuração. A

Tabela 3, apresentada na sequência, aborda as principais diferenças entre as considerações feitas para o dimensionamento do aço e das barras de fibra de vidro em estruturas de concreto.

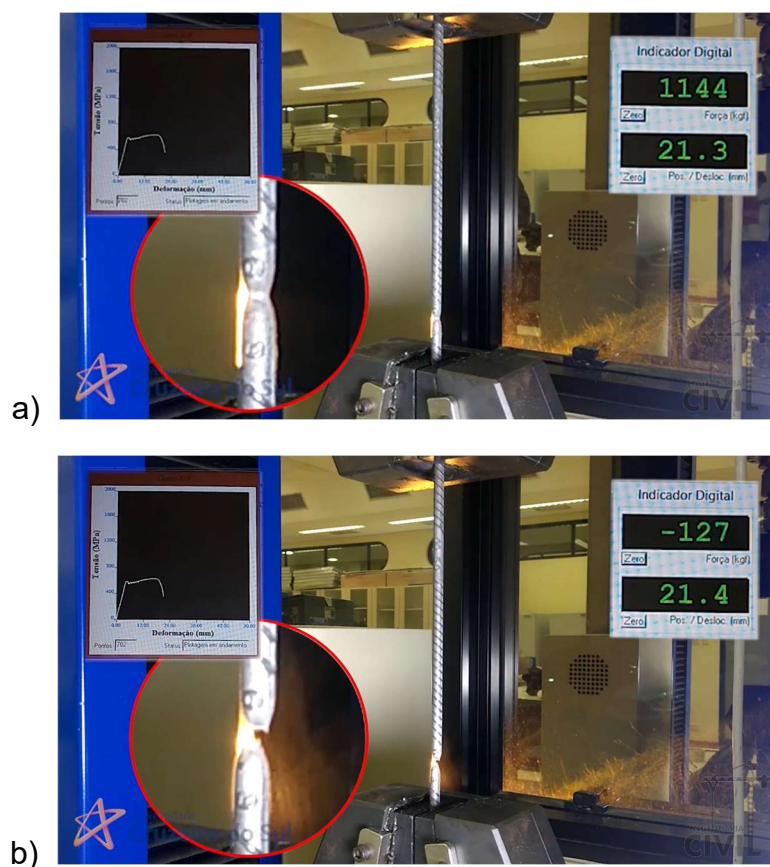
Tabela 3 – Diferentes Características do Aço e da GFRP

<b>Critério</b>	<b>Aço (CA-50)</b>	<b>GFRP (Fibra de Vidro)</b>	<b>Observações</b>
<b>Resistência à tração</b> $f_{yk}$ (Aço) $f_{fu}$ (GFRP)	~500 MPa (Resistência característica ao escoamento)	~600 a 1200 MPa (Resistência à tração Última)	Ambas apresentam resistência à tração elevada, embora o aço tenha comportamento mais previsível.
<b>Módulo de Elasticidade (E)</b>	210 GPa	~50 GPa (Deforma mais com menos carga aplicada)	GFRP tem módulo mais baixo, influenciando diretamente na rigidez e controle de fissuras.
<b>Momento resistente</b> $M_{Rd}$	$M_{Rd} = f_{yd} * A_s * z$ $f_{yd} = \text{resist. de cálculo}$ $A_s = \text{área de aço}$ $z = \text{braço de alavanca}$	$M_{Rd} = f_{fd} * A_f * z$ $A_f = \text{área de GFRP}$ $f_{fd} = \text{resist. de projeto}$ $z = \text{braço de alavanca}$	Quanto maior for o valor de $M_{Rd}$ , maior será a capacidade do material em resistir ao momento fletor antes da ruptura.
<b>Fator de segurança aplicado</b>	Coef. de Segurança $\gamma_s = 1,15 - NBR 6118$ Para cálculo, utiliza-se 87% da resistência característica $\frac{f_{yd}}{f_{yk}} = 0,87$	Redução direta da resistência característica ou aplicação de fator de resistência específico ( $0,55 < \varphi < 0,75$ ): $f_d = \varphi * f_{fu}$	No GFRP não há escoamento; as normas (ex: ACI 440.1R-15, adotam fatores próprios de resistência com base em rupturas por tração ou fluência.)
<b>Ductilidade</b>	Alta (escoamento visível e redistribuição de esforços possível)	Baixa (ruptura frágil, sem aviso prévio)	Em estruturas com GFRP, é necessário garantir que o concreto atinja sua ruptura antes da fibra, invertendo o conceito de ductilidade tradicional.
<b>Critério de falha</b>	Baseado no escoamento do aço	Baseado na ruptura por tração (fluência ou falha súbita)	O concreto não deve falhar antes da barra; logo, é comum aplicar maiores coberturas e critérios mais conservadores com GFRP.
<b>Verificação térmica</b>	Compatível com o concreto	Anisotrópico – coeficiente de expansão diferente nas direções longitudinal e transversal	A diferença entre o coeficiente térmico das barras GFRP e o concreto pode causar fissuras caso não haja cobertura suficiente (ver ACI 440.1R-15).
<b>Fissuração / controle de deformações</b>	Boa rigidez – menor deformação	Maior deformação – risco de fissuração mais elevado	Em projetos com GFRP, pode ser necessário aumentar a área da armadura apenas para limitar fissuras (não por resistência), devido ao módulo de elasticidade reduzido.
<b>Recomendação normativa</b>	ABNT NBR 6118:2023	ACI 440.1R-15 ABNT NBR 17201:2025	A norma americana foi um norte (uma base) para elaboração da norma brasileira.

Fonte: Autoria própria, 2025.

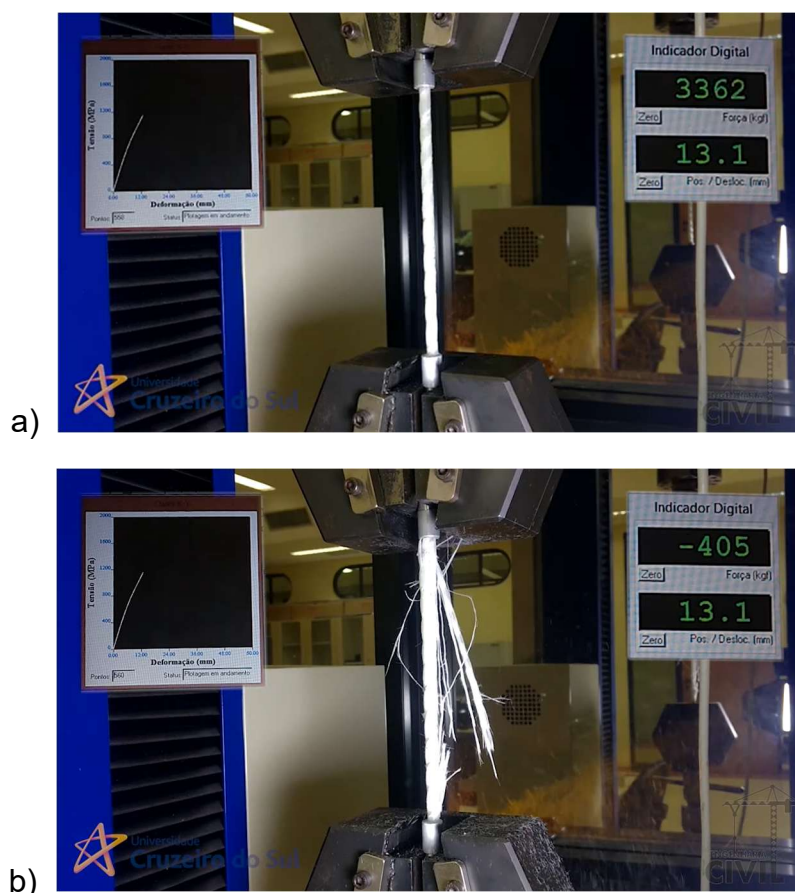
Ainda sobre as características de ductilidade e módulo de elasticidade, pode-se observar nas Figuras 8 e 9 o comportamento distinto das barras de aço e das barras de polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP) quando submetidas a esforços de tração. Nota-se que a barra de aço apresenta grande deformação plástica antes da ruptura, permitindo a identificação visual de seu colapso iminente, comportamento típico de materiais dúcteis. Por outro lado, a barra de GFRP não demonstra sinais perceptíveis de falha, rompendo-se de forma abrupta, característica de materiais frágeis. Essa diferença se deve, principalmente, ao módulo de elasticidade inferior das fibras de vidro e à ausência de escoamento plástico. Esses comportamentos foram registrados em ensaio experimental realizado no Laboratório de Engenharia Civil da Universidade Cruzeiro do Sul (2017), como parte do seminário da disciplina de Tecnologia da Construção Civil II.

Figura 8 – Ensaio de tração do vergalhão de aço CA-50  
(a: na iminência da ruptura; b: elemento rompido)



Fonte: Adaptado de Universidade Cruzeiro do Sul. Ensaio realizado no Laboratório de Engenharia Civil, novembro de 2017.

Figura 9 – Ensaio de tração do vergalhão de polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP).  
(a: na iminência da ruptura; b: elemento rompido)



Fonte: Adaptado de Universidade Cruzeiro do Sul. Ensaio realizado no Laboratório de Engenharia Civil, novembro de 2017.

Para as considerações iniciais de um pré dimensionamento utilizando barras de fibra de vidro, pode-se utilizar a norma ABNT NBR 17196, 2025 como referência de base para o estudo. De acordo com o Quadro 1, retirado da norma, nota-se as classes de agressividade ambiente das estruturas de concreto armadas com GFRP. A partir da definição da classe de agressividade, pode-se definir a classe do concreto utilizado na estrutura e o cobrimento da armadura necessário (apresentado nos Quadros 2 e 3, respectivamente).

Quadro 1 – Classe de Agressividade Ambiental de estruturas de concreto armadas com barras GFRP.

Classe de agressividade ambiental	Agressividade	Classificação geral do tipo de ambiente para efeito de projeto	Risco de deterioração da estrutura
CAA-FRP-I	Fraca	– Estruturas em ambiente urbano ou rural sem contato permanente com água.	Pequeno
CAA-FRP-II	Moderada	– Estruturas em contato permanente com água com teor baixo a moderado de sulfatos. – Estruturas em ambiente marinho ou em contato permanente com água do mar. – Estruturas em contato com solo com concentração baixa a moderada de sulfatos.	Moderada
CAA-FRP-III	Forte	– Estruturas em contato permanente com água com alto teor de sulfatos. – Estruturas em contato com solo contaminado com produtos químicos ou com alta concentração de sulfatos. – Ambientes quimicamente agressivos como tanques industriais (ver 6.5.2)	Grande

Fonte: ABNT NBR 17196, out 2025.

Quadro 2 – Classe do Concreto utilizado de acordo com a agressividade ambiental.

Classe de agressividade ambiental	Relação a/c	Classe do concreto (ver ABNT NBR 8953)
CAA-FRP-I	$\leq 0,60$	$\geq C20$
CAA-FRP-II	$\leq 0,50$	$\geq C30$
CAA-FRP-III	$\leq 0,40$	$\geq C45$

Fonte: ABNT NBR 17196, out 2025.

Quadro 3 – Cobrimento nominal a ser utilizado.

Classe de agressividade ambiental	Cobrimento nominal de vigas, pilares e paredes mm	Cobrimento nominal de lajes mm
CAA-FRP-I	30	20
CAA-FRP-II	40	40
CAA-FRP-III	55	55

Fonte: ABNT NBR 17196, out 2025.

O uso de GFRP em tubulações de concreto armado para esgoto representa uma alternativa eficaz ao aço, especialmente em contextos onde a durabilidade frente à corrosão é uma exigência crítica. No entanto, o projeto estrutural deve ser cuidadosamente ajustado às propriedades do material, sobretudo no que tange à rigidez, à fissuração e à verificação de fluência em longo prazo.

### **3 METODOLOGIA**

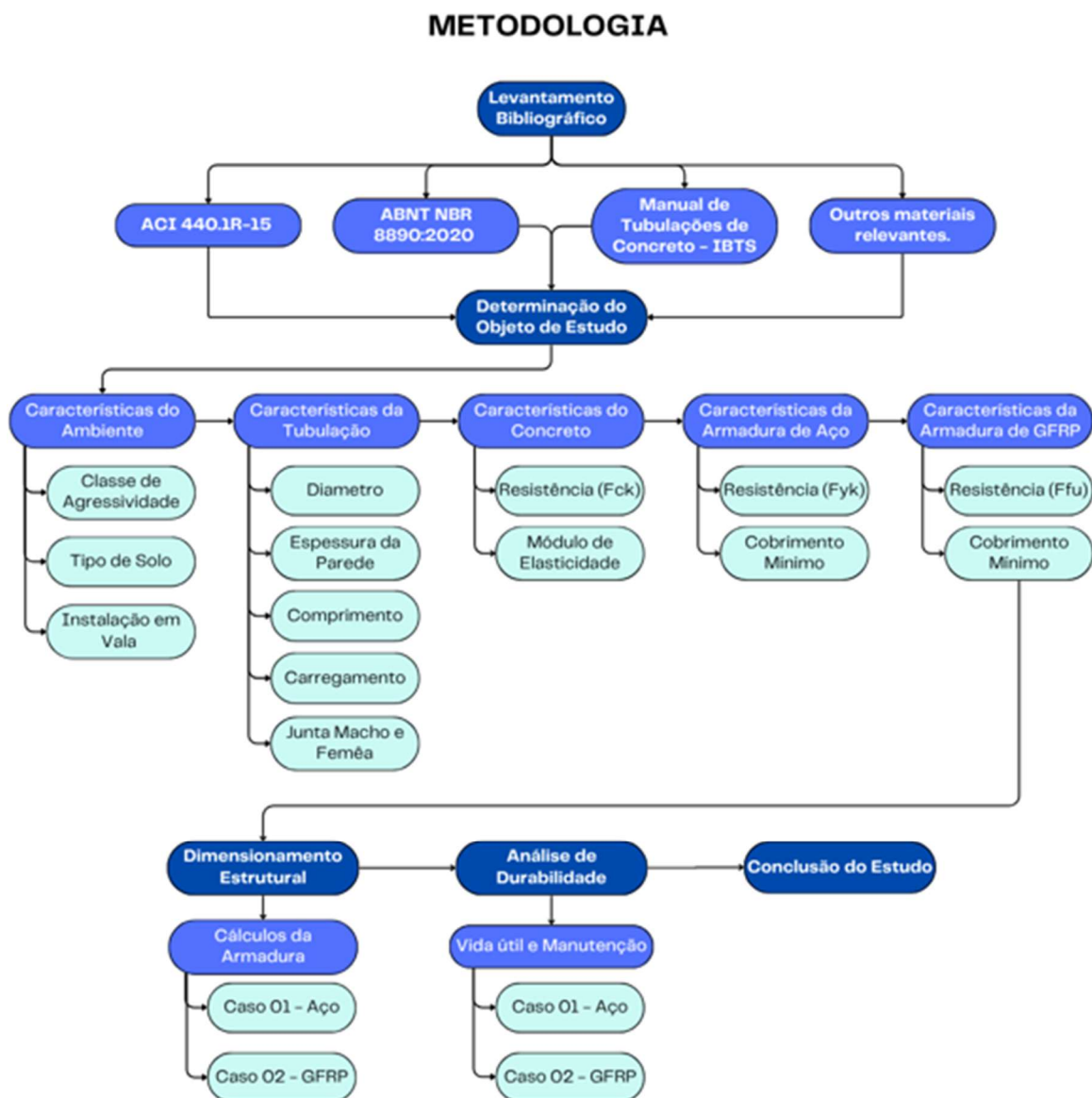
#### **3.1 TIPO DE PESQUISA**

A presente pesquisa caracteriza-se como de natureza exploratória e comparativa, com abordagem quantitativa. O trabalho tem como objetivo principal a análise do comportamento estrutural de tubulações de concreto utilizadas em redes de esgoto, comparando o uso de armaduras convencionais de aço com barras de polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP). Para isso, será realizado um estudo de caso hipotético, com base em dados técnicos e normativos.

#### **3.2 ETAPAS METODOLÓGICAS**

A seguir, estão apresentadas na Figura 10, na forma de um fluxograma, as etapas metodológicas utilizadas para execução do trabalho de conclusão de curso. Posteriormente, estão descritos cada um dos pontos levantados no fluxograma.

Figura 10 – Fluxograma das Etapas Metodológicas do Trabalho



Fonte: Autoria própria, 2025.

### 3.2.1 Levantamento Bibliográfico

- Estudo das normas técnicas aplicáveis:
  - a) ABNT NBR 8890, 2020 - Tubos de concreto de seção circular para águas pluviais e esgoto sanitário.
  - b) ACI 440.1R-15, 2015 - Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with FRP Bars.

- Revisão de literatura sobre o comportamento mecânico dos materiais (aço e GFRP), durabilidade, corrosão e propriedades específicas de uso em concreto armado.

### 3.2.2 Definição do Modelo de Estudo

- Consideração de condições típicas de instalação em rede de esgoto sanitário (instalação em vala) e classe de agressividade ambiental – utilização do Quadro 1.
- Seleção de uma tubulação padrão (diâmetro, espessura da parede, comprimento, tipo de solo e carregamento) – utilização do Quadro 4.
- Definição das características do concreto e das armaduras utilizadas (resistência, cobrimento, módulo de elasticidade) – utilização dos Quadros 2 e 3.

Quadro 4 – Dimensões dos tubos destinados a esgoto sanitário e água pluvial com junta elástica

Diâmetro nominal	Comprimento útil mínimo do tubo	Comprimento mínimo da bolsa	Espessura mínima de parede			
			<i>D</i>			
			ES	EA2	EA3	EA4
DN	L	B				
200	2 000	50	45	–	–	–
300	2 000	60	50	50	50	50
400	2 000	65	50	50	50	50
500	2 000	70	55	55	60	60
600	2 000	75	65	65	70	70
700	2 000	80	–	70	75	80
800	2 000	80	–	80	80	95
900	2 000	80	–	85	90	100
1 000	2 000	80	–	90	100	115
1 100	2 000	80	–	100	112	125
1 200	2 000	90	–	100	125	140
1 300	2 000	90	–	115	130	155
1 500	2 000	90	–	120	155	160
1 750	2 000	100	–	150	165	175
2 000	2 000	100	–	160	170	180

NOTA O atendimento das dimensões estabelecidas nesta Tabela não elimina a necessidade de verificação dos requisitos de resistência à compressão diametral e os demais requisitos estabelecidos nesta Norma.

Fonte: Adaptado de ABNT NBR 8890:2020 (Tabela A.3).

A seguir, na Tabela 4, são apresentados os dados adotados para o desenvolvimento do estudo:

Tabela 4 – Parâmetros Adotados Para o Modelo de Estudo

<b>Características do Ambiente</b>		
<b>Parâmetro</b>	<b>Valor Adotado</b>	<b>Observações</b>
Tipo de solo de apoio	Solo argiloso com N = 10	Compactado moderadamente; ensaio de SPT.
Classe de Agressividade Ambiental (GFRP)	CAA - FRP - III	Em contato com água e solo com alta concentração de sulfatos.
Instalação	Em vala	Condições típicas.
<b>Características da Tubulação</b>		
Diâmetro interno do tubo ( $\Phi$ )	800 mm	Tubo de seção circular padrão para esgoto sanitário (Coletores secundários e interceptores menores).
Classe de Resistência do Tubo	EA4	Tubulação de Concreto Armada para Esgoto Sanitário de Classe 4.
Espessura da parede	100 mm	Considerando boas práticas da ABNT NBR 8890, 2020.
Comprimento do tubo	2500 mm	Tubo comercial pré-moldado padrão.
Carga vertical (sobrecarga)	144 kN/m	Força máxima resistida a ruptura no ensaio de compressão diametral para uma tubulação com essas características.
Tipo de Junta	Macho e Fêmea	Fácil execução e instalação para casos típicos, como o apresentado.
<b>Características do Concreto - Aço - GFRP</b>		
Concreto utilizado	$f_{ck} = 45 \text{ MPa}$	Resistência característica à compressão (em acordo com o Quadro 2 e respeitando o limite de 40MPa da ABNT NBR 6118 para classe de agressividade IV).
Módulo de elasticidade do concreto	37.565 MPa	Obtido conforme ABNT NBR 6118, 2023.
Aço utilizado	CA-50 $f_{yk} = 500 \text{ MPa}$	Aço comum em aplicações estruturais.
Fibra de vidro utilizada (GFRP)	$f_{fu} = 800 \text{ MPa}$	Valor médio para GFRP comercial (ACI 440.1R-15, 2015).

Fonte: Autoria própria, 2025.

### 3.2.3 Dimensionamento Estrutural

- Determinação do momento solicitante atuante na seção com base no modelo de carregamento adotado (pressão do solo, tráfego, etc.).
- Cálculo da armadura necessária em aço (CA-50) com base nas exigências normativas nacionais (ABNT NBR 6118, 2023).
- Cálculo da armadura necessária em GFRP, segundo recomendações da ACI 440.1R-15, 2015 e ABNT NBR 17196, 2025.

### 3.2.4 Comparação dos Resultados

A análise comparativa entre os modelos estudados teve como base o resultado dos seguintes tópicos:

- Área de armadura necessária e peso total.
- Momento resistente.
- Durabilidade, vida útil e manutenção.
- Facilidade de instalação e manuseio.

### 3.2.5 Representação em Tabelas

Tabelas de dimensionamento e resumo dos critérios utilizados.

## 3.3 LIMITAÇÕES DO ESTUDO

É importante destacar que este estudo é de caráter conceitual e teórico, baseado em dados de literatura técnica e em parâmetros normativos. Não foram realizados ensaios experimentais nem medições em campo. Dessa forma, os resultados apresentados devem ser compreendidos como uma etapa inicial, oferecendo subsídios para futuras pesquisas que avaliem, de forma mais aprofundada, a viabilidade e o desempenho do uso de barras de fibra de vidro em tubulações de concreto destinadas a redes de esgoto.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

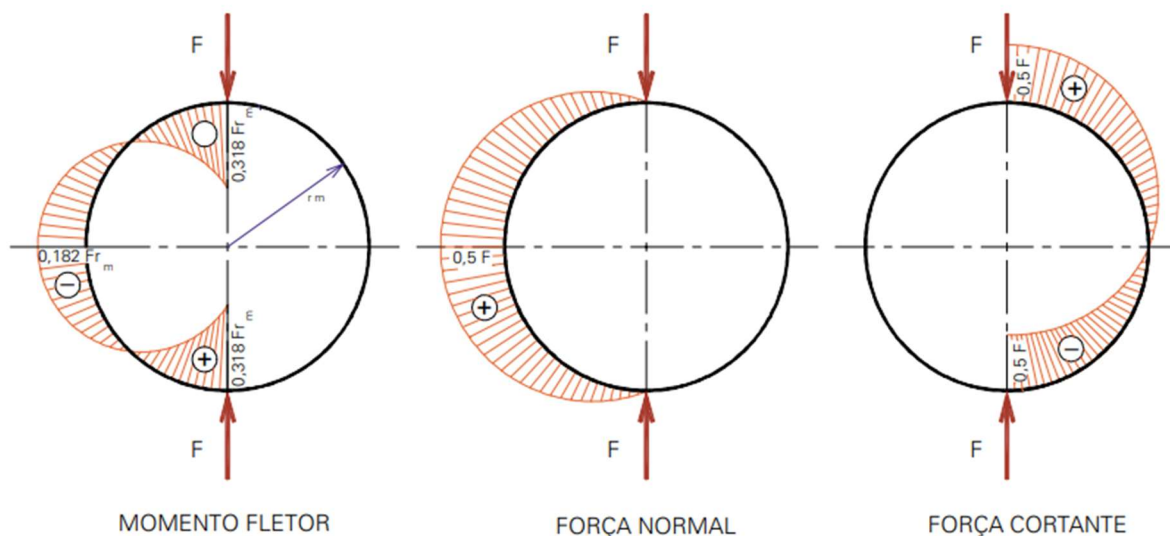
Nesta etapa do trabalho, são apresentados os resultados obtidos a partir do dimensionamento das tubulações de concreto armado considerando dois tipos de armaduras: aço convencional e barras de polímero reforçado com fibra de vidro (GFRP). O objetivo central, deste capítulo, é comparar o desempenho estrutural de ambas as soluções com base em um modelo conceitual previamente definido, conforme descrito no tópico anterior, e analisar as vantagens e desvantagens da alternativa proposta, considerando a durabilidade, vida útil e manutenção de cada caso apresentado.

### 4.1 DIMENSIONAMENTO ESTRUTURAL DA TUBULAÇÃO MODELO

O dimensionamento de tubulações de concreto consiste, fundamentalmente, na determinação da armadura necessária para garantir o atendimento aos Estados Limites Últimos (ELU) e de Serviço (ELS). No ELU, devem ser consideradas as solicitações normais, como o momento fletor e o esforço normal, assegurando que a estrutura suporte adequadamente as ações atuantes. Já no ELS, é essencial verificar a limitação da abertura de fissuras, de modo a garantir o desempenho e a durabilidade da tubulação ao longo de sua vida útil.

Para a execução do dimensionamento da armadura, adotou-se como referência o conteúdo técnico disponibilizado no Manual de Tubulações do IBTS. O tubo foi analisado considerando duas regiões distintas da seção transversal: o coroamento (que abrange a parte superior e inferior da tubulação) e os flancos (correspondentes às laterais). O procedimento de cálculo consiste em determinar os esforços atuantes em cada uma dessas regiões separadamente, avaliando o momento fletor e os esforços normais específicos. A Figura 11 mostra os esforços solicitantes produzidos por duas forças diametralmente opostas (resultados obtidos por meio do ensaio de compressão diametral). Pode-se observar que as variáveis apresentadas nos diagramas são:  $F$  (carga aplicada) e  $r_m$  (raio médio da estrutura). O Quadro 5 apresenta um resumo dos resultados obtidos do ensaio de compressão diametral por meio de diagramas.

Figura 11 – Esforços Solicitantes obtidos do Ensaio de Compressão Diametral



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. *Manual de Tubulações de Concreto*. São Paulo, 2003.

Quadro 5 – Resumo dos Esforços Solicitantes obtidos nos Diagramas

Seção	M	N	V
Coroamento	$0,318 F r_m$	0	$0,5 F$
Flanco	$-0,182 F r_m$	$0,5 F$	0

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. *Manual de Tubulações de Concreto*. São Paulo, 2003.

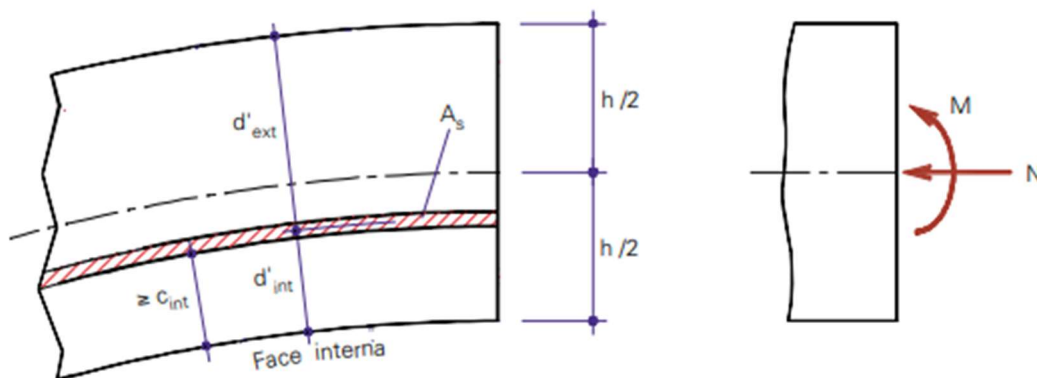
Para o cálculo da armadura, deve-se ainda levar em conta os valores da altura útil da seção do tubo. Considerando que a força aplicada no coroamento, no ensaio de compressão diametral, não é concentrada e que exige uma propagação até a superfície média do tubo, o diagrama de momento fletor fica arredondado, conseqüentemente ocorre uma redução do momento fletor no pico de aproximadamente 8%. Dessa forma, para o cálculo da área de armadura necessária, pode-se utilizar os valores apresentados no Quadro 6. Vale ressaltar que a armadura escolhida para o estudo em questão é simples (não dupla) como mostra a Figura 12, que de acordo com as boas práticas do manual, podem ser utilizadas para tubulações de até 800mm de diâmetro nominal.

Quadro 6 – Solicitações e Altura Útil para Cálculo de Armadura Circular Simples

	Coroamento	Flanco
Momento fletor	$0,293 F r_m$	$0,182 F r_m$
Força normal	0	$0,5 F$
Altura útil d	$d_{ext}$	$d_{int} = (h - d_{ext})$

Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. *Manual de Tubulações de Concreto*. São Paulo, 2003.

Figura 12 – Arranjo de Armadura Circular Simples



Fonte: Adaptado de Instituto Brasileiro de Telas Soldadas – IBTS. *Manual de Tubulações de Concreto*. São Paulo, 2003.

Para o cálculo da armadura, realiza-se uma variação sistemática dos valores de cobrimento interno e externo das mesmas, com o objetivo de encontrar uma configuração em que o número de barras exigido em ambas as regiões se aproxime ou se iguale. Essa abordagem visa otimizar o detalhamento da armadura, garantindo segurança estrutural com a menor quantidade de barras possível, respeitando os limites normativos de cobrimento e desempenho.

#### 4.1.1 Resultados Obtidos Para as Armaduras de Aço

De acordo com o procedimento explicado anteriormente, foi possível obter os resultados apresentados nas Tabelas 5, 6, 7, 8 e 9.

Tabela 5 – Dados Gerais do Objeto de Estudo

Dados Gerais do Objeto de Estudo	
Diâmetro interno do tubo ( $\Phi_i$ )	800 mm
Espessura da Parede (e)	100 mm
Diâmetro externo do tubo ( $\Phi_e$ )	1000 mm
Carga vertical - sobrecarga (F)	144 kN/m
$f_{ck}$ - Concreto Utilizado	45 MPa
Raio Médio (Rm)	450 mm

Fonte: Autoria própria, 2025.

#### 4.1.1.1 1ª Etapa

Cálculo dos Esforços Solicitantes aplicados na tubulação de concreto, de acordo com o quadro 5. Vale ressaltar que os esforços serão os mesmos para ambos os casos (aço e GFRP).

Tabela 6 – Cálculo dos Esforços Solicitantes

1º- Cálculo dos Esforços Solicitantes		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	20,6064 kN.m	-11,7936 kN.m
Força Normal (N)	0 kN	72 kN
Força Cortante (V)	72 kN	0 kN

Fonte: Autoria própria, 2025.

#### 4.1.1.2 2ª Etapa

Cálculo das solicitações e altura útil para diferentes espessuras de cobertura, e assim identificar aquela mais viável. Vale ressaltar que para estruturas de concreto armado com aço, segundo a ABNT NBR 8890, 2020, o cobrimento mínimo interno e externo para tubulações com o diâmetro interno maior que 600mm deve ser de 30mm e 20mm, respectivamente. Foram analisadas 3 opções de disposições da armadura, respeitando os limites impostos anteriormente. A solução mais viável foi a segunda, apresentada na Tabela 8, com a necessidade de uma armadura com área de aproximadamente 8,6 cm<sup>2</sup>, visto que a região que demanda maior área de armadura (coroamento) é a menor dentre as

outras alternativas. Dessa forma, com área de 8,6cm<sup>2</sup> de armadura, todas as regiões da tubulação serão atendidas quanto aos esforços solicitantes.

Tabela 7 – 1ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com Aço

<b>AÇO - 1ª Opção de Cobrimento</b>		
Cobrimento externo	50 mm	
Cobrimento interno	50 mm	
<b>Solicitações e Altura Útil - Armadura Circular Simples</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	18,9864 kN.m	11,7936 kN.m
Força Norma (N)	0 kN	72 kN
Altura Útil (d)	50 mm	50 mm
<b>Cálculo da Armadura Aço</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
$f_{yk}$	500 MPa	500 MPa
$f_{yd}$	434,7826 MPa	434,7826 MPa
$z_f$	42,5 mm	42,5 mm
$A_s$	0,001027 m <sup>2</sup>	0,000638 m <sup>2</sup>
$A_s$	10,2750 cm <sup>2</sup>	6,3824 cm <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria, 2025.

Tabela 8 – 2ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com Aço

<b>AÇO - 2ª Opção de Cobrimento</b>		
Cobrimento externo	60 mm	
Cobrimento interno	40 mm	
<b>Solicitações e Altura Útil - Armadura Circular Simples</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	18,9864 kN.m	11,7936 kN.m
Força Norma (N)	0 kN	72 kN
Altura Útil (d)	60 mm	40 mm
<b>Cálculo da Armadura Aço</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
$f_{yk}$	500 MPa	500 MPa
$f_{yd}$	434,7826 MPa	434,7826 MPa
$z_f$	51 mm	34 mm
$A_s$	0,000856 m <sup>2</sup>	0,000798 m <sup>2</sup>
$A_s$	8,5625 cm <sup>2</sup>	7,9780 cm <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria, 2025.

Tabela 9 – 3ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com Aço

<b>AÇO - 3ª Opção de Cobrimento</b>		
Cobrimento externo	65 mm	
Cobrimento interno	35 mm	
<b>Solicitações e Altura Útil - Armadura Circular Simples</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	18,9864 kN.m	11,7936 kN.m
Força Norma (N)	0 kN	72 kN
Altura Útil (d)	65 mm	35 mm
<b>Cálculo da Armadura Aço</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
$f_{yk}$	500 MPa	500 MPa
$f_{yd}$	434,7826 MPa	434,7826 MPa
$z_f$	55,25 mm	29,75 mm
$A_s$	0,00079 m <sup>2</sup>	0,000912 m <sup>2</sup>
$A_s$	7,9038 cm <sup>2</sup>	9,1177 cm <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria, 2025.

#### 4.1.2 Resultados Obtidos Para as Armaduras de GFRP

Para as barras reforçadas com fibras de vidro (GFRP), o procedimento de dimensionamento seguiu os mesmos princípios adotados para as barras de aço, uma vez que a proposta consiste em uma análise simplificada com finalidade comparativa e didática, voltada à estimativa da área de armadura necessária em cada caso. A principal diferença está no valor da resistência à tração adotado para o material, estipulado em 800 MPa, superior ao do aço convencional. Ressalta-se que foram respeitados os limites de cobertura mínimo estabelecidos para estruturas armadas com GFRP, conforme o Quadro 3, adotando-se 40 mm, em função da classe de agressividade ambiental considerada. Os resultados do dimensionamento encontram-se apresentados nas tabelas a seguir. Assim como no caso do aço, a melhor disposição das barras para as armaduras de GFRP foi a da 2ª opção, apresentada na Tabela 11, que resultou em uma área de armadura necessária de aproximadamente 6,7 cm<sup>2</sup>, a qual atende tanto a região do coroamento quanto os flancos.

Tabela 10 – 1ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com GFRP

<b>GFRP - 1ª Opção de Cobrimento</b>		
Cobrimento externo	50 mm	
Cobrimento interno	50 mm	
<b>Solicitações e Altura Útil - Armadura Circular Simples</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	18,9864 kN.m	11,7936 kN.m
Força Norma (N)	0 kN	72 kN
Altura Útil (d)	50 mm	50 mm
<b>Cálculo da Armadura GFRP</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
$f_{yk}$	800 MPa	800 MPa
$f_{yd}$	560 MPa	560 MPa
$z_f$	42,5 mm	42,5 mm
$A_s$	0,000798 m <sup>2</sup>	0,000496 m <sup>2</sup>
$A_s$	7,9775 cm <sup>2</sup>	4,9553 cm <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria, 2025.

Tabela 11 – 2ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com GFRP

<b>GFRP - 2ª Opção de Cobrimento</b>		
Cobrimento externo	60 mm	
Cobrimento interno	40 mm	
<b>Solicitações e Altura Útil - Armadura Circular Simples</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	18,9864 kN.m	11,7936 kN.m
Força Norma (N)	0 kN	72 kN
Altura Útil (d)	60 mm	40 mm
<b>Cálculo da Armadura GFRP</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
$f_{yk}$	800 MPa	800 MPa
$f_{yd}$	560 MPa	560 MPa
$z_f$	51 mm	34 mm
$A_s$	0,000665 m <sup>2</sup>	0,000619 m <sup>2</sup>
$A_s$	6,6479 cm <sup>2</sup>	6,1941 cm <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria, 2025.

Tabela 12 – 3ª Opção de Cobrimento para Estrutura Armada com GFRP

<b>GFRP - 3ª Opção de Cobrimento</b>		
Cobrimento externo	65 mm	
Cobrimento interno	35 mm	
<b>Solicitações e Altura Útil - Armadura Circular Simples</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
Momento Fletor (M)	18,9864 kN.m	11,7936 kN.m
Força Norma (N)	0 kN	72 kN
Altura Útil (d)	65 mm	35 mm
<b>Cálculo da Armadura GFRP</b>		
Seção:	Coroamento	Flancos
$f_{yk}$	800 MPa	800 MPa
$f_{yd}$	560 MPa	560 MPa
$z_f$	55,25 mm	29,75 mm
$A_s$	0,000614 m <sup>2</sup>	0,000708 m <sup>2</sup>
$A_s$	6,1365 cm <sup>2</sup>	7,0790 cm <sup>2</sup>

Fonte: Autoria própria, 2025.

#### 4.1.3 Comparação dos Resultados Obtidos

Com base na análise quantitativa realizada conforme os procedimentos propostos no manual do IBTS, observou-se uma diferença significativa entre as áreas de armadura necessárias para garantir a segurança estrutural da tubulação em concreto armado utilizando dois materiais distintos: aço CA-50 e barras de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP). Para o caso das armaduras de aço, a área mínima exigida foi de aproximadamente 8,6 cm<sup>2</sup>, enquanto para as armaduras de GFRP, esse valor foi reduzido para cerca de 6,7 cm<sup>2</sup>. Essa diferença está diretamente relacionada à maior resistência à tração característica das barras de GFRP, que, mesmo com menor ductilidade, conseguem resistir aos mesmos esforços com uma menor seção transversal.

Do ponto de vista econômico, embora o custo por metro linear de barras de GFRP seja, em geral, superior ao do aço convencional, a redução na quantidade de material, aliada à durabilidade superior e à redução da frequente manutenção

corretiva relacionada à corrosão, pode tornar essa alternativa competitiva em aplicações com agressividade ambiental, como em redes de esgoto. Além disso, as barras de GFRP apresentam peso significativamente menor, o que facilita o transporte e a instalação, podendo reduzir os custos indiretos da obra. Ainda assim, é importante considerar que, por se tratar de um material com comportamento diferente do aço, sua utilização demanda atenção aos critérios normativos e à capacitação técnica dos profissionais envolvidos no projeto e na execução.

#### 4.2 ANÁLISE COMPARATIVA DA DURABILIDADE, VIDA ÚTIL E NECESSIDADE DE MANUTENÇÃO DAS ARMADURAS EM AÇO E GFRP

A durabilidade dos materiais utilizados como armadura é um fator determinante na performance e longevidade de estruturas de concreto, especialmente em aplicações sujeitas a ambientes agressivos, como é o caso das tubulações de esgoto sanitário. Nesse contexto, a análise comparativa entre as armaduras de aço convencional (CA-50) e de polímero reforçado com fibras de vidro (GFRP) revela diferenças significativas em termos de comportamento ao longo do tempo, exigências de manutenção e expectativa de vida útil.

O aço, embora amplamente utilizado e de fácil aplicação, é suscetível à corrosão em ambientes úmidos e agressivos, como os sistemas de esgoto. A perda de seção das barras por corrosão compromete a resistência estrutural e demanda intervenções de manutenção periódicas, o que impacta diretamente nos custos ao longo da vida útil da estrutura. Já o GFRP, por ser um material não metálico, apresenta alta resistência à corrosão, mesmo em ambientes severamente agressivos. Essa característica resulta em uma durabilidade significativamente superior e, conseqüentemente, em uma redução das necessidades de manutenção corretiva e preventiva.

Além disso, o GFRP possui comportamento estável a longo prazo, sem deterioração significativa mesmo após anos de exposição. Em contraste, a durabilidade do aço está fortemente condicionada à qualidade da impermeabilização do concreto e ao atendimento rigoroso dos cobrimentos mínimos. Em termos de

vida útil, estima-se que estruturas reforçadas com GFRP possam alcançar períodos superiores a 75 anos em ambientes agressivos (ACI 440.1R-15, 2015), enquanto armaduras de aço podem exigir substituições ou reforços estruturais em prazos menores, especialmente se não houver proteção adequada.

Portanto, embora o uso do GFRP exija cuidados específicos de projeto, seu desempenho em termos de durabilidade e manutenção torna esse material uma alternativa técnica viável e promissora para obras que exigem uma elevada resistência à corrosão e maior vida útil, como é o caso das tubulações de esgoto analisadas neste trabalho.

## 5 CONCLUSÕES

Este trabalho teve como objetivo analisar a viabilidade do uso de barras de fibra de vidro (GFRP) como alternativa às armaduras de aço em tubulações de concreto para esgotamento sanitário.

Os resultados mostraram que, mesmo com um módulo de elasticidade inferior ao do aço, as barras de GFRP apresentaram alta resistência à tração e um bom desempenho estrutural, atendendo aos requisitos normativos. Além disso, por não serem suscetíveis à corrosão, garantem maior durabilidade às estruturas e podem reduzir a necessidade de frequente manutenção, o que é um ponto crítico em redes de esgoto sanitário.

Entretanto, apesar dos benefícios observados, é importante destacar alguns pontos de atenção para o uso das GFRP para as estruturas do sistema de esgotamento sanitário. Entre as limitações do material, pode-se destacar seu comportamento frágil à ruptura, sem sinais prévios de deformação plástica, podendo, assim, comprometer a segurança em determinados contextos. Além disso, o controle de deformações desse ser mais rigoroso, visto o risco de fissuração ser mais elevado que o aço. Esses fatores devem ser considerados cuidadosamente no projeto e na especificação do material.

Diante dos resultados apresentados, conclui-se que o uso de armaduras de GFRP em tubulações de concreto para redes de esgoto sanitário pode ser uma alternativa promissora do ponto de vista técnico, se mostrando possível a sua utilização em substituição às barras de aço, o que pode contribuir diretamente para a durabilidade e sustentabilidade das infraestruturas de saneamento.

### 5.1 PROPOSTA DE TRABALHOS FUTUROS

Como proposta de continuidade deste estudo, recomenda-se a realização de pesquisas complementares de caráter experimental, com a execução de ensaios de compressão e flexão em protótipos de tubos armados com barras de GFRP, submetidos a diferentes condições de carregamento e níveis de agressividade ambiental. Esses ensaios permitirão avaliar o comportamento estrutural real do

material.

Também se sugere o desenvolvimento de análises de desempenho em condições reais de uso, por meio da implantação e monitoramento de obras-piloto equipadas com instrumentação adequada. Essa abordagem permitirá verificar o desempenho dos tubos ao longo do tempo, fornecendo dados importantes sobre durabilidade, deformações e possíveis patologias associadas ao uso de GFRP.

Por fim, é recomendada a realização de estudos comparativos de custo-benefício em longo prazo, levando em conta variáveis como vida útil, necessidades de manutenção, custos operacionais e impactos ambientais. Essas análises são fundamentais para embasar tecnicamente a adoção do GFRP em larga escala e justificar seu uso em projetos de infraestrutura de saneamento no Brasil.

## REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE - ACI. **Guide for the design and construction of structural concrete reinforced with fiber-reinforced polymer (FRP) bars.** ACI 440.1R-15. Farmington Hills: ACI, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 8890: Tubos de concreto de seção circular para águas pluviais e esgoto sanitário – Requisitos e métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2020.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - ABNT. **NBR 17201: Barras de polímero reforçado com fibras para armaduras em estruturas de concreto – Requisitos.** Rio de Janeiro, 2025.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 17196: Projeto de estruturas de concreto armado com barras de polímero reforçado com fibras (FRP).** Rio de Janeiro, 2025.

ANDRADE, Rubens Duffles. **Corrosão de condutos de concreto para esgotos: causas e remédios.** *Revista DAE*, São Paulo, n. 101, p. 36–47, 1975.

BASHEER, P. A. M. et al. **Predictive models for permeation properties of concrete.** 1996.

BENTZ, D. P. **Influence of water-to-cement ratio on hydration kinetics: simple models based on spatial considerations.** *Cement and Concrete Research*, v. 32, n. 3, p. 425–429, 2002.

BRASIL. **Lei nº 14.026, de 15 de julho de 2020.** *Marco legal do saneamento básico.* Brasília: Governo Federal, 2020.

CONSHIELD TECHNOLOGIES INC. **Microbiologically Induced Corrosion.** *Water & Wastes Digest*, 2008. Disponível em: <https://www.wwdmag.com/collection-systems/article/10938361/conshield-technologies-inc-microbiologically-induced-corrosion>. Acesso em: 26 maio 2025.

EL DEBS, Mounir Khalil. **Projeto estrutural de tubos circulares de concreto armado.** São Paulo: Instituto Brasileiro de Telas Soldadas, 2003. (1.<sup>a</sup> ed.).

FUNDAÇÃO NACIONAL DE SAÚDE - FUNASA. **Esgotamento sanitário: manual de projetos.** 2. ed. Brasília: FUNASA, 2017. Disponível em: <http://www.funasa.gov.br/documents/20182/300120/Esgotamento+Sanit%C3%A1rio.pdf/8bf6a259-872e-4030-b3ca-af92689d8bd8?version=1.0>. Acesso em: 2 abr. 2025.

HEWLETT, P. C. **Lea's Chemistry of Cement and Concrete.** Butterworth-Heinemann, 2004.

KISHI, R. T. **Sistemas de esgotamento sanitário**. UFPR. Disponível em: [https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH048/TH048\\_06\\_Sistema%20de%20Esgotamento.pdf](https://docs.ufpr.br/~rtkishi.dhs/TH048/TH048_06_Sistema%20de%20Esgotamento.pdf). Acesso em: 14 abr. 2025.

KOSMATKA, S. H. et al. **Design and Control of Concrete Mixtures**. Skokie: PCA, 2002.

LUDWIG, Russel G.; ALMEIDA, Sérgio A. Sá. **Corrosão em estruturas de concreto**. São Paulo: Pini, 2005.

MALHOTRA, V. M.; MEHTA, P. K. **High-performance, high-volume fly ash concrete**. Skokie: PCA, 2004.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concrete: Microstructure, Properties, and Materials**. 3. ed. New York: McGraw-Hill, 2006.

NEVILLE, A. M. **Properties of Concrete**. 5. ed. Harlow: Pearson Education, 2011.

SOUZA DE FRIAS, Grace Abrahão. **Ensaio comparativo de tração entre vergalhão de aço e vergalhão de GFRP**. YouTube, 2017. Disponível em: <https://www.youtube.com/watch?v=Ijnl1pP7OoY>. Acesso em: 13 jun. 2025.