



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

UNIVERSIDADE ESTADUAL DA REGIÃO TOCANTINA DO MARANHÃO  
CAMPUS AÇAILÂNDIA  
CENTRO DE CIÊNCIA HUMANAS, SOCIAIS, TECNOLÓGICAS E LETRAS  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL BACHARELADO

**LUCAS SOUZA COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO  
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE ARAME GALVANIZADO E  
COM FIBRAS DE AÇO**

Açailândia - MA  
2025



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

**LUCAS SOUZA COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO  
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE ARAME GALVANIZADO E  
COM FIBRAS DE AÇO**

Monografia apresentada ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Orientador: Prof. Esp. Ramon Reis Rodrigues

Açailândia - MA  
2025



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

C837a

Costa, Lucas Souza

Análise comparativa das propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras de arame galvanizado e com fibras de aço / Lucas Souza Costa. – Açailândia: UEMASUL, 2025.

75 f. : il.

Monografia (Curso de Bacharel em Engenharia Civil) – Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão – UEMASUL, Açailândia, MA, 2025.

Orientador: Prof. Esp. Ramon Reis Rodrigues.

1. Concreto com fibras. 2. Arame galvanizado. 3. Fibra de aço. 4. Resistência mecânica.
5. Tração na flexão. I. Título.

CDU 691.32



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

**LUCAS SOUZA COSTA**

**ANÁLISE COMPARATIVA DAS PROPRIEDADES MECÂNICAS DO  
CONCRETO REFORÇADO COM FIBRAS DE ARAME GALVANIZADO E  
COM FIBRAS DE AÇO**

Monografia apresentada ao Curso Engenharia Civil Bacharelado do Centro de Ciência Humanas, Sociais, Tecnológicas e Letras da Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão, campus Açailândia, como requisito para obtenção do título de bacharel em Engenharia Civil.

Aprovada em: 18/07/2025.

BANCA EXAMINADORA



Documento assinado digitalmente

**RAMON REIS RODRIGUES**

Data: 29/07/2025 16:58:32-0300

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

---

Prof. Ramon Reis Rodrigues (Orientador)

Especialista em Estruturas e Fundações

Universidade Estadual da Região Tocantina do Maranhão

Documento assinado digitalmente



**JOAO FRANCO FILHO**

Data: 29/07/2025 15:55:48-0300

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

---

Eng. Me João Franco filho

Mestre em Processos Construtivos e Saneamento Urbano

Universidade Federal do Pará



Documento assinado digitalmente

**LUCAS CARVALHO SILVA**

Data: 30/07/2025 09:12:40-0300

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

---

Eng. Me. Lucas Carvalho Silva

Mestre em Engenharia de Infraestrutura e Desenvolvimento

Universidade Federal do Pará



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

*Aos meu pais, Milena de Jesus Souza e José do Ribamar Cutrim Costa. A minha avó materna, Brazilina dos Santos Souza, e ao meu avô materno José Maria Souza (in memorian).*



## AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, em primeiro lugar, pois sem a Sua presença constante essa caminhada não teria sido possível. À Santa Maria, minha devoção e gratidão por sempre interceder junto ao Seu filho amado, Jesus Cristo, levando minhas orações e fortalecendo minha fé nos momentos de dificuldade.

Agradeço com muito carinho à minha família, pelo amor, apoio e confiança em cada etapa da minha vida. Em especial, à minha mãe, Milena Souza, pelo exemplo de força e dedicação; ao meu pai, José do Ribamar Cutrim Costa, por sua presença e incentivo; à minha avó materna, Brazilina Souza, por seu carinho incondicional; e aos meus irmãos, José Miguel e Luane Rafaely, e ao meu padrasto Rafael Silva, por sempre estarem ao meu lado.

Aos meus amigos de infância, que considero verdadeiros irmãos, meu sincero agradecimento: Rodrigo, Ronaldy, Jardeilson, Rafael, Ezequiel e Álvaro. Obrigado por compartilharem tantos momentos importantes da minha vida.

Sou igualmente grato aos amigos que conheci durante minha jornada acadêmica, que contribuíram não apenas para minha formação, mas também para minha convivência pessoal: Nalberth, Blendo, Nadson, Raedson, Lucas Gonçalves, Geanderson e Sebastiana.

Aos irmãos que ganhei ao longo da graduação — Igor, Gabriel, Samuel, Ícaro, Gustavo, Handelom e Lucas Herculano —, meu muito obrigado pela amizade sincera, pelas conversas, risadas e por todo apoio nos momentos em que mais precisei.

Aos meus calouros, que contribuíram ativamente com apoio e auxílio durante a realização desta monografia, expresso minha gratidão: Gustavo Ferreira, Gustavo Roque, Pedro Cutrim e Filipe. A ajuda de vocês foi fundamental em momentos decisivos dessa etapa.

Agradeço especialmente ao meu orientador, professor Ramon Reis Rodrigues, pela dedicação, paciência e disponibilidade em me orientar e guiar ao longo deste estudo. Sua contribuição foi essencial para o desenvolvimento e conclusão deste trabalho.

Estendo também meu agradecimento à minha turma, pela convivência ao longo desses anos, marcados por desafios, aprendizados e superações. Compartilhar essa caminhada com vocês tornou a jornada mais leve e significativa.

A todos, minha eterna gratidão.



## RESUMO

O presente trabalho tem como propósito investigar o desempenho mecânico do concreto incorporado com fibras de arame galvanizado, realizando uma comparação com concretos reforçados com fibras metálicas convencionais, como as de aço. Para isso, foram produzidos corpos de prova com diferentes dosagens de fibras — 20 kg/m<sup>3</sup>, 30 kg/m<sup>3</sup> e 40 kg/m<sup>3</sup> —, avaliando-se suas propriedades por meio de ensaios de resistência à compressão axial e tração na flexão. A metodologia de dosagem foi baseada no procedimento proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP), e todos os materiais empregados passaram por caracterização conforme os critérios estabelecidos pelas normas da ABNT. Os resultados obtidos indicam que o concreto com fibras de arame galvanizado pode apresentar desempenho semelhante ou superior ao concreto com fibras de aço em determinadas condições, com destaque para o ganho em resistência à tração na flexão. A pesquisa reforça o potencial de aplicação de materiais alternativos no setor da construção civil, contribuindo para soluções mais econômicas e sustentáveis, sem comprometer a eficiência estrutural.

**Palavras-chave:** concreto com fibras, arame galvanizado, fibras de aço, resistência mecânica, tração na flexão.



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

## ABSTRACT

This study aims to evaluate the mechanical performance of concrete reinforced with galvanized wire fibers, comparing it to concrete reinforced with conventional steel fibers. Specimens were produced with varying fiber contents — 20 kg/m<sup>3</sup>, 30 kg/m<sup>3</sup>, and 40 kg/m<sup>3</sup> — and tested for compressive strength and flexural tensile strength. The mix design followed the methodology proposed by the Brazilian Portland Cement Association (ABCP), and all materials were characterized according to ABNT technical standards. The results indicate that concrete reinforced with galvanized wire fibers can achieve comparable or superior performance to steel fiber-reinforced concrete under specific conditions, particularly in terms of flexural tensile strength. This research highlights the potential use of alternative materials in civil construction, promoting more cost-effective and sustainable solutions without compromising structural performance.

**Keywords:** fiber-reinforced concrete, galvanized wire, steel fibers, mechanical strength, flexural tension.



## LISTA DE FIGURAS

Figura 1: Dimensão das fibras de arame galvanizado. ....	21
Figura 2: Dimensão da fibra de aço em centímetros. ....	21
Figura 3: Peneiramento manual. ....	24
Figura 4: Frasco de Chapman. ....	25
Figura 5: Adição do agregado miúdo no frasco de Chapman. ....	26
Figura 6: Cesto metálico para a realização do ensaio. ....	27
Figura 7: Pesagem dos agregados. ....	28
Figura 8: Procedimento de compactação das camadas. ....	29
Figura 9: Medida do abatimento. ....	30
Figura 10: Moldes cilíndricos (a) e moldes prismáticos (b). ....	30
Figura 11: Corpos de provas submerso no tanque de cura. ....	32
Figura 12: Corpo de prova cilíndrico posicionado na máquina de ensaio. ....	32
Figura 13: Delimitações no corpo de prova prismático: (a) marcação de dois pontos e (b) interligação dos pontos. ....	34
Figura 14: Dispositivo de ensaio. ....	35
Figura 15: Posicionamento do corpo de prova prismático para o ensaio. ....	35
Figura 16: Fibra com ancoragem nas extremidades (a), fibra com ondulações no corpo (b) e fibra reta sem ancoragens (c). ....	42
Figura 17: Comportamento de tensões após aparecimento de fissuras: Fissura no concreto convencional (a) e fissura no concreto reforçado com fibras (b). ....	46
Figura 18: Fator a/c determinado pela curva de Abrams. ....	54



## LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Corpos de provas e teores de fibras.....	18
Tabela 2: Características do arame galvanizado.....	20
Tabela 3: Características da fibra de aço.....	22
Tabela 4: Massa mínima por amostra de ensaio de granulometria.....	23
Tabela 5: Dimensão e massa mínimas utilizadas no ensaio.....	23
Tabela 6: Conjunto de peneiras das séries norma e intermediária (abertura nominal)...	24
Tabela 7: Características do recipiente.....	28
Tabela 8: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.....	31
Tabela 9: Tolerância de idade para ensaio.....	33
Tabela 10: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.....	37
Tabela 11: Análise granulométrica do agregado miúdo.....	48
Tabela 12: Análise granulométrica do agregado graúdo.....	50
Tabela 13: Densidade real do agregado miúdo.....	51
Tabela 14: Densidade real do agregado graúdo.....	52
Tabela 15: Resultado da massa unitária dos agregados.....	52
Tabela 16: Condições de preparo.....	53
Tabela 17: Consumo de água estimado.....	54
Tabela 18: Volume compactado seco do agregado graúdo por metro cúbico.....	55
Tabela 19: Resumo de materiais do traço.....	57
Tabela 20: Resultado do Slump Test.....	58
Tabela 21: Resistência à compressão com idade de 3 dias.....	59
Tabela 22: Resistência à compressão com idade de 7 dias.....	60
Tabela 23: Resistência à compressão com idade de 14 dias.....	61
Tabela 24: Resistência à compressão com idade de 28 dias.....	62
Tabela 25: Resistência à tração na flexão com idade de 7 dias.....	64
Tabela 26: Resistência à tração na flexão com idade de 28 dias.....	65
Tabela 27: Resumo do ensaio de resistência à compressão.....	68
Tabela 28: Resumo do ensaio de resistência à tração na flexão.....	68



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

### **LISTA DE GRÁFICOS**

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo.....	49
Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo.....	51
Gráfico 3: Evolução da resistência à compressão com o tempo.....	63
Gráfico 4: Evolução da resistência à tração na flexão com o tempo.....	66

### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 1: Mistura dos materiais .....	36
---------------------------------------	----



## LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.....	26
Equação 2.....	27
Equação 3.....	29
Equação 4.....	33
Equação 5.....	36
Equação 6.....	54
Equação 7.....	56
Equação 8.....	57
Equação 9.....	57
Equação 10.....	57
Equação 11.....	58



Universidade Estadual  
da Região Tocantina  
do Maranhão

## LISTA DE SIGLAS

a/c – Relação água cimento

ABCP – Associação Brasileira de Cimento Portland

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – American Society for Testing and Materials

ACI – American Concrete Institute

NBR – Norma Brasileira Regulamentadora

CP – Cimento Portland

l/d – Fator de forma

MPa – MegaPascal

mm – Milímetros

cm – Centímetros

$\mu\text{m}$  – Micrômetro

d – diâmetro

DMC – Diâmetro Máximo Característico do Agregado

MF – Módulo de Finura

Tf – tonelada-força

CRFA – Concreto Reforçado com Fibras de Aço

CRFAG – Concreto Reforçado com Fibras de Aço Galvanizado

Kg – Quilogramas

$\text{m}^3$  - metros cúbicos

$^{\circ}\text{C}$  – graus Celsius



## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	<b>14</b>
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	<b>16</b>
2.1. Objetivo Geral .....	16
2.2. Objetivos específicos.....	16
<b>3. METODOLOGIA</b> .....	<b>17</b>
3.1. Tipo de pesquisa.....	17
3.2. Materiais.....	18
3.2.1. Cimento Portland .....	18
3.2.2. Agregado Graúdo .....	19
3.2.3. Agregado Miúdo .....	19
3.2.4. Aditivo.....	19
3.2.5. Fibras.....	20
3.3. Métodos .....	22
3.3.1. Método ABCP .....	22
3.3.2. Agregados .....	23
3.3.2.1. Granulometria.....	23
3.3.2.2. Massa específica.....	25
3.3.2.2.1. Agregado miúdo .....	25
3.3.2.2.2. Agregado graúdo.....	26
3.3.2.3. Massa unitária.....	27
3.3.3. Abatimento do tronco cone .....	29
3.3.4. Moldagem e cura dos corpos de prova.....	30
3.3.5. Ensaio de resistência à compressão.....	32
3.3.6. Ensaio de resistência à tração na flexão .....	33
<b>4. REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	<b>36</b>
4.1. Concreto .....	36
4.1.1. Composição do concreto .....	36



4.1.1.1. Cimento Portland.....	36
4.1.1.2. Agregados.....	37
4.1.1.2.1. Areia .....	38
4.1.1.2.2. Britas.....	38
4.1.1.3. Água .....	39
4.1.1.4. Aditivos .....	39
4.1.1.5. Fibras.....	41
4.2. Concreto Reforçado com Fibras (CRF).....	42
4.2.1. Fibras de aço .....	44
4.2.2. Arame Galvanizado.....	44
4.3. Interação Matriz-Fibra.....	46
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES.....</b>	<b>47</b>
5.1. Composição granulométrica dos agregados .....	47
5.2. Massa específica.....	51
5.3. Massa unitária.....	52
5.4. Dosagem ABCP .....	52
5.5. Análise do ensaio de abatimento do tronco cone .....	57
5.6. Resistência à compressão .....	58
5.7. Resistência à tração na flexão .....	64
<b>6. CONCLUSÃO.....</b>	<b>68</b>
6.1. Estudos Futuros .....	69
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>71</b>



## 1. INTRODUÇÃO

O concreto, amplamente utilizado na construção civil, tornou-se fundamental devido à sua resistência e versatilidade, sendo mais adotado do que outros métodos construtivos, como as estruturas de madeira e metálicas. Sua aplicação e os efeitos resultantes em termos de esforços solicitantes em peças estruturais são analisados sob diferentes abordagens (Rocha et al., 2019).

Contudo, a ABNT NBR 6118:2023 – Projeto de estruturas de concreto – destaca algumas limitações do material, como seu peso próprio elevado e a dificuldade de controle da qualidade da peça, sendo necessário um período de 28 dias para avaliação do desempenho da estrutura. Além disso, o concreto apresenta baixa resistência aos esforços de tração devido à sua similaridade com as pedras, o que impulsionou o desenvolvimento de soluções que pudessem melhorar suas propriedades, como o reforço com fibras (Pinheiro, 2007).

Uma dessas soluções é o uso de concreto reforçado com fibras, abordado pela ACI 544.1R, que sugere a inclusão de fibras para melhorar o comportamento mecânico do concreto. A adição de fibras altera consideravelmente suas propriedades no estado sólido, proporcionando maior resistência aos esforços de tração e controlando a propagação de fissuras. A quantidade de fibras presentes na mistura tem um impacto direto nas propriedades mecânicas do concreto, sendo que uma maior concentração de fibras está associada a um desempenho superior, reduzindo o surgimento de microfissuras. Em contrapartida, baixos teores de fibras podem prejudicar a tenacidade e o comportamento plástico do compósito, além de influenciar negativamente a resistência à tração após a fissuração (Braz; Nascimento, 2015).

Existem diversas opções de fibras para reforçar o concreto, como as fibras de aço, vidro, carbono, polipropileno, sintéticas, etc. O uso de arame galvanizado neste estudo se justifica devido à sua resistência aprimorada, proporcionada pelo revestimento de zinco, que oferece maior durabilidade e proteção contra corrosão (Islam et al., 2024). Diante desse contexto, o presente estudo busca analisar a forma em que o concreto se comporta ao ser reforçado com fibras de arame galvanizado, comparando suas propriedades mecânicas com o concreto reforçado com fibras de aço.

A investigação visa responder questões cruciais sobre o potencial do arame galvanizado para melhorar a resistência do concreto aos esforços de tração e compressão,



e se, ao ser submetido aos mesmos ensaios, o concreto com fibras de arame galvanizado pode apresentar desempenho semelhante ao do concreto com adição das fibras de aço.

O mérito deste estudo reside em sua contribuição para o aprimoramento do concreto, com implicações diretas no aumento da durabilidade e na redução de custos de manutenção das construções. A comparação entre fibras de arame galvanizado e fibras de aço, materiais amplamente utilizados na engenharia civil, pode oferecer novas perspectivas sobre o desempenho e as aplicações desses compósitos no concreto.

De acordo com Velasco (2008), a adição de fibras de aço a concretos autoadensáveis resulta em melhorias consideráveis nas propriedades físicas e mecânicas, contribuindo para a eficiência das estruturas. Entretanto, o custo elevado das fibras de aço e a preocupação com a durabilidade a longo prazo das estruturas têm incentivado a pesquisa por alternativas mais acessíveis e sustentáveis, como o arame galvanizado, que, conforme Sandoval (2024), pode ser um substituto promissor para as fibras de aço em determinadas aplicações.

A utilização de fibras de arame galvanizado apresenta vantagens significativas, não apenas no aspecto econômico, mas também em termos de durabilidade, visto que seu revestimento é com zinco, lhe conferindo uma resistência superior à corrosão, uma característica essencial para materiais expostos a ambientes agressivos, como áreas costeiras ou ambientes industriais, conforme descrito por Santos (2021). A proteção contra a corrosão é um fator crítico para a longevidade das estruturas de concreto, e essa propriedade do arame galvanizado pode conferir ao concreto um desempenho superior em termos de durabilidade, comparado ao uso exclusivo de fibras de aço.

De forma geral, o estudo da análise comparativa das propriedades mecânicas do concreto reforçado com fibras de arame galvanizado e fibras de aço é fundamental para o avanço da tecnologia do concreto, pois proporciona uma visão crítica sobre o desempenho de diferentes tipos de fibra, suas implicações econômicas e sustentáveis, e seu impacto na durabilidade e resistência das estruturas. Isso contribui diretamente para a construção de infraestruturas mais robustas, eficientes e ambientalmente responsáveis, alinhadas aos desafios e demandas contemporâneos da engenharia civil.



## **2. OBJETIVOS**

### **2.1. Objetivo Geral**

Examinar as propriedades mecânicas do concreto com fibras de arame galvanizado em relação com o concreto reforçado com fibras de aço.

### **2.2. Objetivos específicos**

- Analisar as propriedades mecânicas de resistência à compressão e a tração com os ensaios de resistência à compressão axial e tração à flexão.
- Comparar os resultados obtidos dos ensaios realizados do concreto reforçado com fibras de arame galvanizado em relação com as fibras de aço.
- Observar como as proporções de fibras de arame galvanizado influenciam no desempenho do concreto.



### 3. METODOLOGIA

#### 3.1. Tipo de pesquisa

Esta monografia foi desenvolvida a partir de uma pesquisa de caráter explicativo, que se apoia em métodos práticos para identificar os princípios que originam o fenômeno analisado. A abordagem adotada é quantitativa, utilizando-se da metodologia hipotético-dedutiva. Além disso, a pesquisa apresenta um perfil exploratório, fundamentando-se em levantamento bibliográfico por meio da análise de livros, artigos científicos, monografias, dissertações e teses, com foco no estudo do concreto, especialmente aquele reforçado com fibras de aço.

Na fase inicial, de natureza exploratória, buscou-se desenvolver o senso crítico em relação ao tema, aprofundando o embasamento técnico e favorecendo o entendimento das evoluções do concreto em nível nacional e internacional, com ênfase no concreto reforçado com fibras. Essa etapa também abordou a influência desse material na construção civil, bem como os esforços para a diminuição dos impactos ambientais associados ao seu uso.

Para a consolidação da fundamentação teórica e prática deste trabalho, foram seguidas as normas e diretrizes estabelecidas pelas NBR's pertinentes, assegurando assim a confiabilidade e a validade dos resultados obtidos nos ensaios realizados. Dessa forma, enquanto as normas técnicas definiram os procedimentos para execução dos testes, os estudos bibliográficos contribuíram para a correta interpretação dos resultados.

Na sequência, a etapa de caráter explicativo consistiu na execução de ensaios laboratoriais, cujo objetivo foi avaliar a viabilidade do concreto com adição de arame galvanizado em relação às fibras de aço usuais no mercado. Para isso, realizou-se uma análise comparativa da resistência mecânica entre diferentes teores de adição de fibras, buscando compreender as variações no comportamento dos materiais.

Inicialmente, elaborou-se um traço de referência com o concreto reforçado com fibras de aço, com a aplicação de três teores distintos, sendo eles o de 20 kg/m<sup>3</sup>, 30 kg/m<sup>3</sup> e 40 kg/m<sup>3</sup>, o qual serviu como base para avaliar o concreto reforçado com arame galvanizado nas mesmas condições. A partir dos ensaios de compressão simples e de tração na flexão, foi possível identificar qual dos teores apresentou o melhor desempenho em termos de resistência, a tabela 1 indica as propriedades de ensaio.

Tabela 1: Corpos de provas e teores de fibras.

<b>TABELA DE ENSAIO</b>					
<b>COMPRESSÃO AXIAL</b>					
<b>Tempo de cura</b>	<b>Corpo de Prova</b>	<b>Teor de Arame galvanizado/ Fibra de Aço (Kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>Comprimento da fibra</b>
3 dias	3	20	30	40	40-45 mm
7 dias	3	20	30	40	40-45 mm
14 dias	3	20	30	40	40-45 mm
28 dias	3	20	30	40	40-45 mm
<b>TRAÇÃO NA FLEXÃO</b>					
<b>Tempo de cura</b>	<b>Corpo de Prova</b>	<b>Teor de arame galvanizado/ Fibra de Aço (Kg/m<sup>3</sup>)</b>			<b>Comprimento das fibras</b>
7 dias	3	20	30	40	40-45 mm
28 dias	3	20	30	40	40-45 mm
Total de corpos de prova = 108					

Fonte: Autor (2025)

A caracterização dos agregados foi realizada inicialmente, conforme os critérios estabelecidos pelas normas da ABNT (NBR's), com o objetivo de controlar as variáveis dos materiais utilizados e garantir a qualidade dos insumos empregados. Esse processo foi fundamental para assegurar maior precisão e confiabilidade nos resultados experimentais. Em seguida, foram conduzidos os procedimentos de moldagem e ruptura dos corpos de prova, seguindo as recomendações normativas para avaliação das propriedades mecânicas do concreto no estado endurecido.

Esta pesquisa foi conduzida no laboratório da empresa Franco Engenharia e Geotecnia, situado na cidade de Imperatriz – MA, que disponibilizou os equipamentos necessários para a realização dos ensaios.

## 3.2. Materiais

### 3.2.1. Cimento Portland

O cimento Portland composto com escória, designado como CP II-E, é regulamentado pela ABNT NBR 16697:2018, que estabelece os requisitos e classificações dos cimentos Portland comercializados no Brasil. O CP II-E é um tipo de cimento que possui, em sua composição, entre 6% e 34% de escória granulada de alto-forno em massa, além do clínquer, gesso e, eventualmente, outras adições complementares, como materiais carbonáticos inertes.

### **3.2.2. Agregado Graúdo**

A brita 0, é um agregado graúdo de granulometria fina, geralmente com dimensão nominal máxima entre 4,8 mm e 9,5 mm, conforme a classificação apresentada na ABNT NBR 7211:2022, que trata da descrição dos agregados para concreto. Esse tipo de brita é adquirida a partir da britagem de rochas, como granito, basalto ou gnaisse, sendo um dos agregados mais utilizados em concretos de alto desempenho, argamassas e pré-moldados.

Por apresentar uma granulometria mais fina, a brita 0 proporciona melhor empacotamento dos grãos quando combinada com outros tamanhos de agregados, como brita 1 ou 2, reduzindo os vazios na matriz do concreto e melhorando a coesão e a compacidade da mistura. Isso permite um consumo mais eficiente de pasta de cimento e uma melhoria da trabalhabilidade e acabamento superficial do concreto, especialmente em peças com alto índice de armadura ou geometrias complexas.

### **3.2.3. Agregado Miúdo**

A areia fina é um tipo de agregado miúdo caracterizado por sua granulometria predominante na faixa entre 0,075 mm e 0,42 mm, conforme os critérios estabelecidos na ABNT NBR 7211:2022. É amplamente utilizada em argamassas e concretos de baixa a média resistência, além de aplicações específicas como revestimentos e concretos aparentes, onde se busca maior plasticidade e melhor acabamento superficial.

### **3.2.4. Aditivo**

Os aditivos plastificantes são substâncias químicas incorporadas às misturas de concreto ou argamassa com o objetivo de melhorar sua trabalhabilidade sem aumentar a quantidade de água, ou ainda permitir a redução do fator água/cimento ( $a/c$ ) mantendo a mesma consistência. São amplamente utilizados para otimizar as propriedades do concreto em seu estado fresco e endurecido, estando classificados segundo a ABNT NBR 11768-1:2019, que trata dos aditivos químicos para concreto.

Do ponto de vista funcional, os plastificantes atuam como dispersantes de partículas de cimento, reduzindo a tensão superficial da água e impedindo o aglomeramento dos grãos. Isso melhora o empacotamento da mistura e reduz a viscosidade da mistura, favorecendo o preenchimento das fôrmas e o adensamento, principalmente em estruturas com alta densidade de armaduras ou formas com geometria complexa (Mehta; Monteiro, 2008).

### 3.2.5. Fibras

Os fios galvanizados são amplamente utilizados nos setores da construção civil e da indústria, sendo, portanto, materiais de fácil acesso. Embora exista uma variedade de bitolas disponíveis no mercado, o arame galvanizado da GERDAU com bitola 18 foi selecionada como matéria-prima para este estudo. As propriedades e características técnicas desse fio comercial estão apresentadas na Tabela 2.

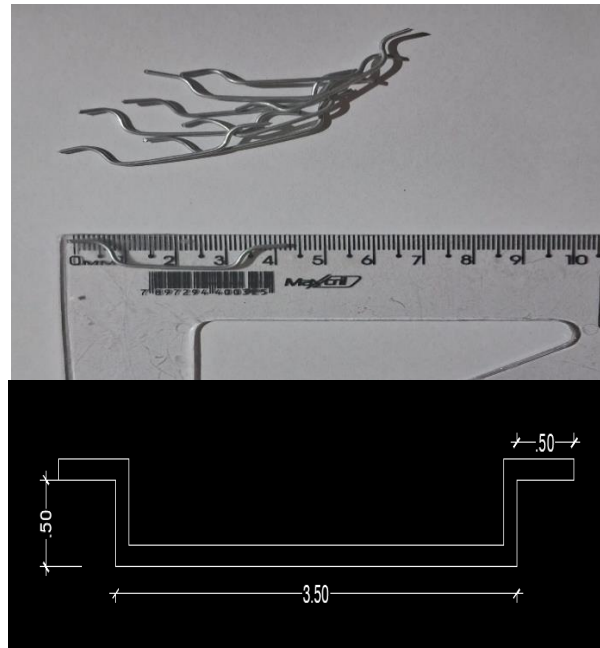
Tabela 2: Características do arame galvanizado.

Bitola	Diâmetro nominal (mm)	Comprimento do rolo (m/kg)	Resistência à tração (MPa)
18	1,24	111	539,37

Fonte: Autor (2025).

Para a confecção das fibras, utilizou-se como referência um segmento de palito com 50 mm de comprimento, o qual serviu de guia para o corte dos fios de arame galvanizado. Com o auxílio de um alicate, o arame foi seccionado em tiras com comprimento variando entre 50 mm e 55 mm. Para a definição da ancoragem, foi fixado um papel com marcação a 5 mm da extremidade do alicate, servindo como guia para a execução da dobra nas extremidades, conforme previsto na NBR 15530 (2019), que trata das fibras de aço para concreto. Considerando a ancoragem de 5 mm em cada extremidade, as fibras resultantes apresentaram comprimento útil entre 45 mm e 50 mm, conforme a figura 1, respeitando a recomendação não ir além do limite correspondente ao dobro do diâmetro máximo do agregado graúdo utilizado.

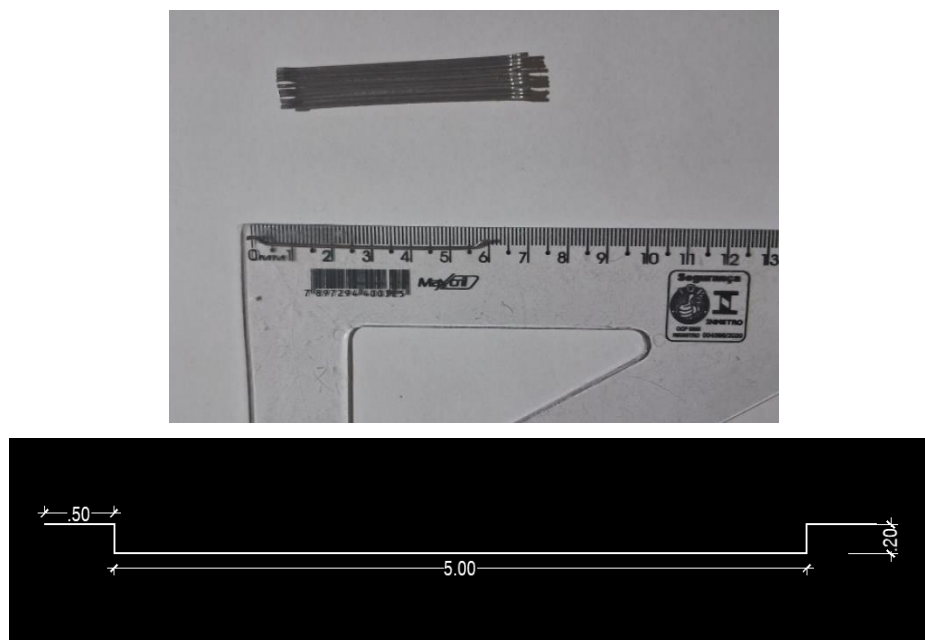
Figura 1: Dimensão das fibras de arame galvanizado.



Fonte: Autor (2025).

As fibras de aço utilizadas neste estudo são de origem comercial da Dramix, com comprimento de 60 mm, como mostra a figura 2 e, suas propriedades físicas e mecânicas estão apresentadas na tabela 3.

Figura 2: Dimensão da fibra de aço em centímetros.



Fonte: Autor (2025).

Tabela 3: Características da fibra de aço.

Fator de forma (l/d)	Diâmetro nominal mm	Resistência à tração (Mpa)
80	0,75	1200

Fonte: Autor (2025).

### 3.3. Métodos

#### 3.3.1. Método ABCP

A dosagem do concreto tem como objetivo a determinação das proporções ideais entre os materiais que o compõem (cimento, agregados, água e aditivos, quando utilizados), a fim de garantir as propriedades desejadas no estado fresco e endurecido, com economia e trabalhabilidade adequadas ao tipo de aplicação. No presente trabalho, o método de dosagem proposto pela Associação Brasileira de Cimento Portland (ABCP) foi adotado, por se tratar de um processo sistemático, amplamente utilizado no meio técnico e com resultados comprovados em obras e pesquisas.

O método de dosagem da ABCP leva em consideração as propriedades dos materiais utilizados, os requisitos específicos da aplicação e as exigências de desempenho do concreto. Por meio de formulações criteriosas, busca-se a otimização dos recursos disponíveis, com o objetivo de obter concretos tecnicamente eficientes e economicamente viáveis, sem prejuízo à trabalhabilidade e à resistência mecânica (Cordeiro; Cabral, 2025).

A dosagem preliminar é iniciada pela definição do traço em massa, tendo como base o fator a/c determinado a partir da resistência característica do concreto especificada, conforme correlações empíricas. Em seguida, é determinada a quantidade de água em função da consistência requerida (slump test), utilizando tabelas específicas elaboradas a partir de dados experimentais. A partir desses parâmetros, calcula-se a massa de cimento necessária, seguido pela definição das quantidades de agregados miúdos e graúdos, levando-se em conta a massa específica e a distribuição granulométrica.

### 3.3.2. Agregados

#### 3.3.2.1. Granulometria

O ensaio de composição granulométrica dos agregados miúdo e graúdo foi realizado conforme a norma ABNT NBR 7211:2022, a qual estabelece o procedimento para identificar a distribuição dos tamanhos das partículas, conforme a tabela 4. Este ensaio é fundamental para avaliar a conformidade dos agregados com as faixas granulométricas exigidas para aplicação em concretos, influenciando diretamente na sua trabalhabilidade, compactidade e desempenho mecânico.

Tabela 4: Massa mínima por amostra de ensaio de granulometria.

Dimensão máxima nominal do agregado em mm	Massa mínima da amostra de ensaio em kg
<4,75	0,3*
9,5	1
12,5	2
19	5
25	10
37,5	15
50	20
63	35
75	60
90	100
100	150
125	300
* após secagem	

Fonte: Adaptado ABNT NBR 17054 (2022).

As amostras foram secas previamente na estufa à temperatura de  $110 \pm 5$  °C até atingirem massa constante. As amostras foram quarteadas após atingirem temperatura ambiente, para obtenção de porções representativas de acordo com a dimensão nominal do agregado, conforme a tabela 5.

Tabela 5: Dimensão e massa mínimas utilizadas no ensaio.

Dimensão máxima nominal do agregado em mm	Massa mínima da amostra de ensaio em kg
<4,75	0,3
9,5	1

Fonte: Autor (2025).

O conjunto de peneiras foi montado em ordem decrescente de abertura, com a peneira de maior malha na parte de cima e a de menor malha na base, seguida de um fundo coletor, conforme a série de peneiras apresentada na tabela 6. A amostra foi colocada na peneira do topo e submetida ao peneiramento manual, conforme a figura 3.

Tabela 6: Conjunto de peneiras das séries norma e intermediária (abertura nominal).

Série normal	Série intermediária
<b>75 mm</b>	-
-	63 mm
-	50 mm
<b>37,5 mm</b>	-
-	31,5 mm
-	25 mm
<b>19 mm</b>	-
-	12,5 mm
<b>9,5 mm</b>	-
-	6,3 mm
<b>4,75 mm</b>	-
<b>2,36 mm</b>	-
<b>1,18 mm</b>	-
<b>600 µm</b>	-
<b>300 µm</b>	-
<b>150 µm</b>	-

Fonte: Adptado ABNT NBR 7211 (2022).

Figura 3: Peneiramento manual.



Fonte: Autor (2025).

Após a conclusão do peneiramento, foram realizadas as pesagens das massas de material retido em cada peneira e no fundo do conjunto. Com base nesses dados, foi possível elaborar a distribuição granulométrica da amostra, a qual serviu de base para a

construção de planilhas e gráficos inseridos neste trabalho. A partir dos resultados obtidos, também foram calculados parâmetros importantes para a caracterização dos agregados, como o Módulo de Finura (MF) e a Dimensão Máxima Característica (DMC).

### **3.3.2.2. Massa específica**

#### **3.3.2.2.1. Agregado miúdo**

Para a determinação do volume ocupado pelo agregado miúdo, foi adotado o método de deslocamento de volume em frasco de Chapman, conforme estabelecido pela ABNT NBR 9775:2011. Inicialmente, adicionou-se água potável ao frasco de Chapman até atingir a marca de 200 mL, como mostra a figura 4.

Figura 4: Frasco de Chapman.



Fonte: Autor (2025).

Na sequência, foi introduzida, de forma cuidadosa, amostra úmida de agregado miúdo pesando 500 g no interior do frasco, conforme a figura 5. Durante essa etapa, foram tomadas precauções para evitar a formação de bolsas de ar entre os grãos. Para promover a liberação de possíveis bolhas, o frasco foi submetido à agitação suave, sendo inclinado aproximadamente a 45°, enquanto se realizava um movimento de rotação com a base do recipiente, conforme recomendação da norma.

Figura 5: Adição do agregado miúdo no frasco de Chapman.



Fonte: Autor (2025).

Após a completa inserção do agregado, o frasco permaneceu em repouso por aproximadamente 45 segundos em uma superfície estável e livre de vibrações. Transcorrido esse tempo, foi realizada a leitura do nível da água presente até a marca no gargalo do frasco, indicando o volume total ocupado pela combinação de água e agregado miúdo, medido em mililitros. Antes da leitura, assegurou-se que as paredes internas do frasco estavam secas e livres de partículas aderidas, a fim de garantir a precisão do resultado.

O teor de umidade superficial presente no agregado miúdo, expresso em percentual, deve ser determinado com base na massa do agregado na condição saturada com superfície seca (SSS). O cálculo é realizado conforme a seguinte expressão:

$$h = \frac{[500 - (v - 200) \cdot \gamma]}{(v - 700) \cdot \gamma} \cdot 100 \quad \text{Equação 1}$$

Onde:

$h$  é o teor de umidade superficial da massa de agregado miúdo na condição SSS (%);

$v$  é a leitura do frasco de Chapman água+agregado miúdo (ml);

$\gamma$  é a densidade na condição SSS do agregado miúdo (g/ml).

#### 3.3.2.2.2. Agregado graúdo

Para a realização deste procedimento, foi adotado o método do cesto ao ar, conforme estabelecido pela norma ABNT NBR NM 53:2009, a qual trata da determinação da massa específica, massa específica aparente e absorção de água do agregado graúdo.

O método consiste na utilização de um cesto metálico de malha, mostrado na figura 6, no qual a amostra de brita previamente saturada é submersa em água para a obtenção de sua massa imersa.

Figura 6: Cesto metálico para a realização do ensaio.



Fonte: Autor (2025).

O ensaio segue as seguintes etapas: inicialmente, realiza-se a pesagem da amostra em condição seca, posteriormente é feita a imersão em água para atingir a condição saturada com superfície seca. A seguir, determina-se a massa da amostra submersa e, por fim, seca-se completamente o material para obtenção da massa seca final.

A partir dessas três medições é possível calcular a massa específica real, conforme a equação a seguir.

$$ME_r = \frac{W}{W-H} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$ME_r$  é a Densidade real em  $g/cm^3$ ;

$W$  é o peso seco do agregado em g;

$H$  é o peso do agregado imerso na água em g.

### 3.3.2.3. Massa unitária

Para a determinação da massa unitária e do índice de vazios dos agregados, foi utilizado os procedimentos conforme estabelecidos pela norma ABNT NBR 16972:2021. O objetivo deste ensaio é determinar a massa do agregado utilizado por unidade de volume, considerando os vazios entre as partículas, sendo essencial para a dosagem do concreto e avaliação da compactidade dos materiais, o recipiente é escolhido com a recomendação da ABNT NBR 16972:2021 como mostra a tabela 7.

Tabela 7: Características do recipiente.

Dimensão máxima característica do agregado (mm)	Recipiente		
	capacidade mínima dm <sup>3</sup>	diâmetro interior mm	altura interior mm
$d \leq 37,5$	10	220	268
$37,5 \leq d \leq 50$	15	260	282
$50 < d \leq 75$	30	360	294

Fonte: Adaptado ABNT NBR 16972 (2021).

De início, o recipiente vazio teve sua massa determinada, que serviu como base para o cálculo da massa do agregado. Logo após, esse recipiente foi preenchido com agregado cerca de 1/3 do seu volume total. Essa primeira camada foi adensada com 25 golpes da haste metálica, distribuídos uniformemente por toda a superfície.

Posteriormente, o recipiente foi preenchido até atingir dois terços da sua capacidade, repetindo-se o processo de adensamento com mais 25 golpes distribuídos uniformemente. Por fim, completou-se o enchimento do recipiente até sua borda superior, realizou-se o nivelamento da superfície e efetuou-se nova compactação com 25 golpes, totalizando três camadas.

Durante o processo, teve-se o cuidado de evitar que a haste tocasse o fundo do recipiente na compactação da primeira camada. Nas camadas posteriores, foi evitada a penetração da haste na camada anterior, assegurando-se uma compactação uniforme. Ao término do enchimento, a superfície do agregado foi nivelada com uma espátula, de modo a deixá-la rasa com a borda do recipiente. Finalmente, foi realizada a pesagem do conjunto contendo o agregado, obtendo-se assim a massa do material compactado, como situada na figura 7.

Figura 7: Pesagem dos agregados.



Com todos os dados coletados conforme os procedimentos estabelecidos na ABNT NBR 16972:2021, a massa unitária dos agregados graúdos e miúdos foi calculada utilizando-se a Equação 3.

$$\rho_{ap} = \frac{m_{ar} - m_r}{V} \quad \text{Equação 3}$$

Onde:

$\rho_{ap}$  é a massa unitária do agregado ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$m_{ar}$  é a massa do recipiente com agregado (kg);

$m_r$  é a massa do recipiente vazio (kg);

$V$  é o volume do recipiente ( $\text{m}^3$ ).

### 3.3.3. Abatimento do tronco cone

A ABNT NBR 16889:2020 estabelece as condições necessárias para verificação da trabalhabilidade do concreto, obtemos a amostra necessária para o teste e a escolha de um local plano, sobre esse local colocar um molde tronco-cônico com as dimensões especificadas de: altura 30 cm, diâmetro inferior de 20 cm e diâmetro superior de 10 cm.

Deve-se encher uma camada de 10 cm com o concreto, após isso, realizar a compactação com 25 golpes com uma haste de 16 mm de diâmetro, realizando o mesmo processo nas duas camadas posteriores, de acordo com a figura 8.

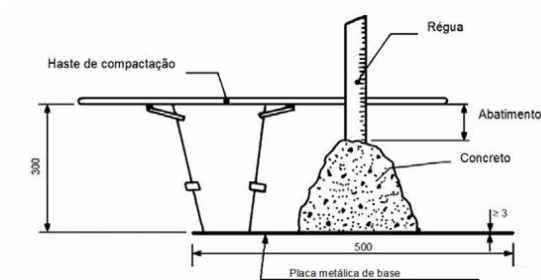
Figura 8: Procedimento de compactação das camadas.



Fonte: Rossi (2018).

Retirar o molde lentamente, colocar a base com o menor diâmetro voltada para baixo, comparar a diferença entre a altura do tronco de cone e a altura do molde com o concreto fresco, denominado slump. Após o teste, verificar se o valor encontrado corresponde com o valor especificado, conforme a figura 9.

Figura 9: Medida do abatimento.

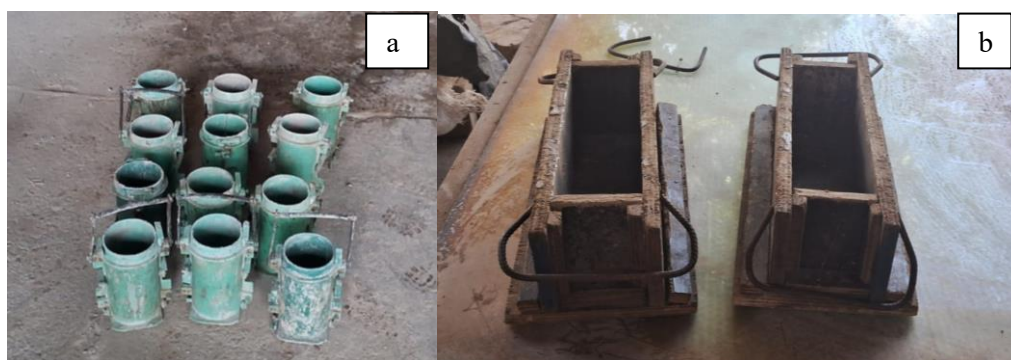


Fonte: Adaptado ABNT NBR 16889 (2020).

### 3.3.4. Moldagem e cura dos corpos de prova

A ABNT NBR 5738:2015 especifica as condições exigidas para a realização da moldagem e cura dos corpos de prova, os corpos devem ter a geometria cilíndrica, com a altura igual a duas vezes o diâmetro, portanto, os moldes com diâmetro igual a 10 cm e com altura de 20 cm foram utilizados, e as dimensões de 10x10x35 cm para os corpos de prova prismáticos, conforme a figura 10.

Figura 10: Moldes cilíndricos (a) e moldes prismáticos (b).



Fonte: Autor (2025).

Os moldes cilíndricos foram previamente abertos e receberam a aplicação de desmoldante em sua superfície interna, com o objetivo de facilitar a desforma após o período de cura inicial. No caso dos moldes prismáticos, o desmoldante foi aplicado em todas as partes que compõem o conjunto. Em seguida, as peças foram montadas em suas devidas posições, sendo fixadas por meio de grampas confeccionadas com vergalhões de

ação, de modo a garantir estabilidade e vedação durante o processo de adensamento do concreto.

Para o adensamento de forma manual dos corpos de prova cilíndricos, são necessárias duas camadas, cada uma das quais é adensada por meio de doze golpes com uma haste metálica, como recomendado pela ABNT NBR 5738:2015. Os golpes devem ser espalhados de forma uniforme na seção do corpo de prova. Na realização dos golpes da primeira camada, evitar que a base do molde seja golpeado. Em toda a espessura das camadas restantes, a haste deve penetrar em cerca de 2 cm a camada anterior.

Para os corpos de prova prismáticos, o preenchimento das formas foi realizado em camada única. Em seguida, utilizou-se o vibrador de imersão, que foi conduzido em todo o corpo de prova, garantindo o adensamento uniforme da massa de concreto em toda a sua extensão, a tabela 8 mostra os procedimentos de adensamento adotados.

Tabela 8: Número de camadas para moldagem dos corpos de prova.

Tipo de corpo de prova	Dimensão básica d (mm)	Número de camadas em função do tipo de adensamento		Número de golpes para adensamento manual
		Mecânico	Manual	
Cilíndrico	100	1	2	12
	150	2	3	25
	200	2	4	50
	250	3	5	75
	300	3	6	100
	450	5	-	-
Prismático	100	1	1	75
	150	1	2	75
	200	2	3	200
	450	3	-	-

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5738 (2015).

Após a realização do adensamento, cada amostra foi devidamente identificada por meio de uma etiqueta de papel contendo as informações referentes aos respectivos teores. Posteriormente, os corpos de prova foram alocados em local apropriado até o término do período de cura inicial, respeitando o tempo previsto para desmoldagem, 24h para os corpos de prova cilíndricos e 48h para os prismáticos. Após esse intervalo, procedeu-se a desforma, e os corpos de prova foram então transferidos para o tanque de

cura, onde permaneceram submersos até o dia da realização dos ensaios, conforme a figura 11.

Figura 11: Corpos de provas submerso no tanque de cura.



Fonte: Autor (2025).

### 3.3.5. Ensaio de resistência à compressão

A ABNT NBR 5739:2018 define as especificações e os procedimentos que devem ser seguidos no ensaio. Antes de iniciarmos o ensaio, as faces do prato e o corpo de prova devem devidamente limpos e secos, após esse processo, colocá-los em posição para a realização do ensaio. O mesmo deve ser centrado no prato inferior, utilizamos círculos concêntricos para referenciar o sentido de moldagem. Na parte superior do CP, colocou-se um suporte metálico para nivelar o topo com a base, como mostrado na figura 12.

Figura 12: Corpo de prova cilíndrico posicionado na máquina de ensaio.



Fonte: Autor (2025).

A escala de força utilizada no ensaio deve garantir que a ruptura do corpo de prova ocorra dentro da faixa de calibração do equipamento. O carregamento precisa ser aplicado de maneira contínua e sem interrupções, respeitando uma taxa de aplicação de carga de  $(0,45 \pm 0,15)$  MPa/s, que deve permanecer constante durante toda a execução. A interrupção do ensaio deve ocorrer somente no momento em que for registrada a queda de força indicativa da falha do corpo de prova.

Conforme previsto em norma, a resistência à compressão é expressa pela seguinte relação matemática:

$$f_c = \frac{4F}{\pi \cdot D^2} \quad \text{Equação 4}$$

Onde:

$f_c$  é a resistência à compressão (MPa);

$F$  é a força máxima registrada na máquina de ensaio (kN);

$D$  é o diâmetro do corpo de prova (mm);

O rompimento dos corpos de prova deve acontecer de acordo com a idade estabelecida para o ensaio, com a tolerância sendo estabelecida pela ABNT NBR 5739:2018 conforme a tabela 9 apresentada abaixo. O início da contagem da idade é feito a partir do momento da moldagem.

Tabela 9: Tolerância de idade para ensaio.

Idade de ensaio	Tolerância permitida (h)
24 h	0,5
3 d	2
7 d	6
28 d	24
63 d	36
91 d	48

Fonte: Adaptado ABNT NBR 5739 (2018).

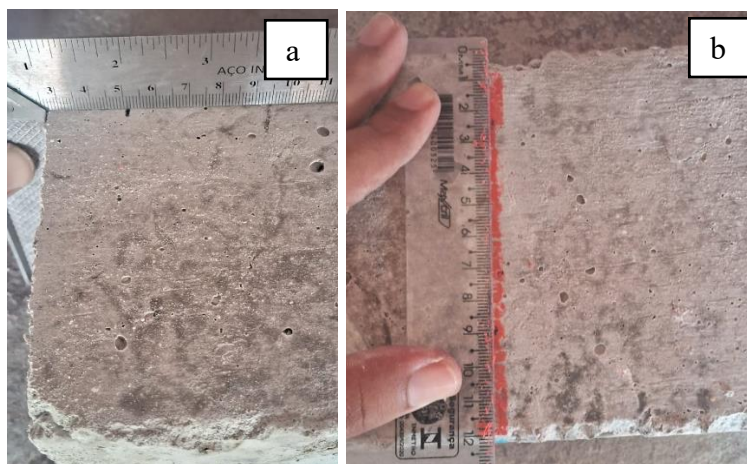
### 3.3.6. Ensaio de resistência à tração na flexão

O ensaio foi realizado em máquina universal de ensaio equipada com dispositivos específicos para aplicação de carga de flexão em quatro pontos, atendendo aos requisitos da ABNT NBR 12142:2010. O equipamento foi devidamente calibrado, com capacidade adequada para atender aos esforços necessários sem comprometer a

precisão da medição.

O ensaio seguiu rigorosamente as orientações da ABNT NBR 12142:2010, sendo desenvolvido conforme os seguintes passos: utilizando um esquadro posicionado paralelo à face do corpo de prova, foram realizadas medições a 25 mm e 125 mm das extremidades em ambos os lados com a marcação de dois pontos em cada face. Esses pontos indicaram as posições correspondentes aos apoios e à aplicação da carga no ensaio. Em seguida, com o auxílio de uma régua, os pontos foram interligados utilizando giz de cera, de modo a garantir o correto posicionamento durante o ensaio, conforme mostra a figura 13.

Figura 13: Delimitações no corpo de prova prismático: (a) marcação de dois pontos e (b) interligação dos pontos.

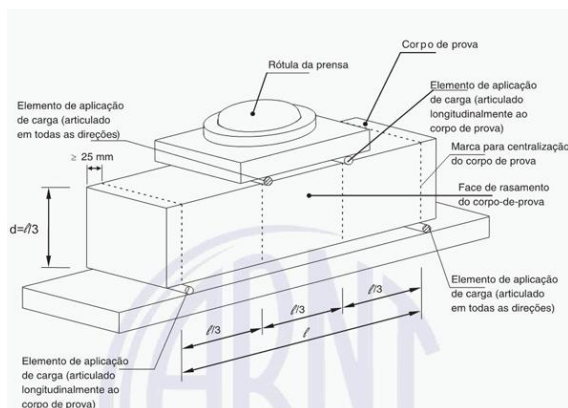


Fonte: Autor (2025).

Foram utilizados suportes com dimensões de 20x40 cm, apropriadas para o posicionamento dos corpos de prova durante o ensaio, sendo feito uma demarcação no prato inferior de 50 mm em cada face e no prato superior, 150 mm. Logo após a delimitação, os apoios foram rosqueados nos pratos com o auxílio de um alicate de pressão, fixando esses elementos para evitar erros posteriores.

O corpo de prova prismático foi posicionado no dispositivo de apoio da máquina de ensaio, sobre dois apoios circulares, com distância entre apoios de  $l = 30$  cm. As cargas foram aplicadas por meio de dois roletes carregadores posicionados a  $1/3$  da distância entre apoios, exemplificado na figura 14 e 15, resultando em uma configuração de ensaio em quatro pontos.

Figura 14: Dispositivo de ensaio.



Fonte: Adaptado ABNT NBR 12142 (2010).

Figura 15: Posicionamento do corpo de prova prismático para o ensaio.



Fonte: Autor (2025).

A carga foi aplicada de maneira contínua e progressiva, sem choques, mantendo-se uma velocidade constante de aplicação, com taxa de 0,05 MPa/s a 0,1 MPa/s, até o corpo de prova se romper.

A resistência à tração na flexão é determinada por meio da seguinte equação:

$$f_{ct,f} = \frac{F \cdot l}{b \cdot d^2} \quad \text{Equação 5}$$

Onde:

$f_{ct,f}$  é a resistência à tração na flexão (MPa);

F é a força máxima registrada na máquina de ensaio (kN);

l é a dimensão do vão entre apoios (mm);

b é a largura média do corpo de prova (mm);

d é a altura média do corpo de prova (mm).

## 4. REFERENCIAL TEÓRICO

### 4.1. Concreto

Sendo um dos materiais mais usados na construção ao redor do mundo, o concreto é o resultado da mistura de um aglomerante (cimento), com agregados ou material fixo, com a possibilidade de ser fino (areia ou pó de pedra) ou graúdo (pedregulho ou pedra britada) e água (Coelho, 2008).

Ao misturar esses materiais, outros podem ser gerados, conforme o quadro 1:

Quadro 1: Mistura dos materiais

Cimento + Água	Pasta
Pasta + Agregado fino	Argamassa
Argamassa + Agregado graúdo	Concreto

Fonte: Coelho (2008).

Novos estudos sobre o concreto estão em andamento, sendo essencial para a melhora desse material e gerando novos tipos de concreto, por exemplo, o concreto leve, concreto de alto desempenho, concreto auto adensável, concreto pesado, concreto projetado, concreto com polímeros, concreto com fibras, entre outros (Gonçalves; Lima; Rodrigues, 2019).

#### 4.1.1. Composição do concreto

##### 4.1.1.1. Cimento Portland

A denominação de cimento Portland, deu-se devido sua cor e sua solidez semelhantes às pedras de Portland, utilizado mundialmente até hoje. É produzido por meio da queima, em temperaturas típicas de clínquerização, de materiais calcários e argilosos ou de outras matérias-primas que contenham alumina, óxidos de ferro e sílica, seguida da moagem do clínquer obtido nesse processo (Neville, 2016).

No Brasil, os cimentos Portland são classificados conforme a ABNT NBR 16697:2018, que estabelece os requisitos técnicos e os tipos disponíveis comercialmente. A norma define cinco tipos principais de cimento (CP I a CP V), cada um com variações quanto à adição de materiais ativos e à resistência ao ataque de agentes agressivos. Essa classificação visa orientar a escolha do tipo de cimento mais adequado em cada aplicação, considerando aspectos como a resistência mecânica, a durabilidade e as condições de

exposição ambiental.

A Tabela 10 apresenta a ABNT NBR 16697:2018 com sua designação, composição e limites percentuais dos constituintes dos cimentos Portland, como escória, pozolana, filer calcário e materiais carbonáticos. Por exemplo, o cimento CP II-E, amplamente utilizado em obras na área de infraestrutura e edificações, apresenta uma composição que varia entre 6% e 34% de escória de alto-forno, o que melhora a trabalhabilidade do concreto e contribui para maior durabilidade, especialmente em ambientes agressivos.

Tabela 10: Designação normalizada, sigla e classe do cimento Portland.

Designação normalizada (tipo)	Subtipo	Sigla	Classe de resistência	Tipo
Cimento Portland comum	Sem adição	CP I	25, 32 ou 40	RS ou BC
	Com adição	CP I-S		
Cimento Portland composto	Com escória granulada de alto forno	CP II-E		
	Com material carbonático	CP II-F		
	Com material pozolânico	CP II-Z		
Cimento Portland de alto-forno		CP III		
Cimento Portland pozolânico		CP IV		
Cimento Portland de alta resistência inicial		CP V	AR I	
Cimento Portland branco	Estrutural	CP B	25, 32 ou 40	
	Não estrutural	CP B	-	-

Fonte: Adaptado ABNT NBR 16697:2018.

#### 4.1.1.2. Agregados

Historicamente, os agregados eram considerados materiais inertes, cuja função principal era ocupar volume na matriz cimentícia, sendo utilizados sobretudo em razão do seu baixo custo. Contudo, foi observado a ligação coesa entre a pasta de cimento e o agregado, semelhante à alvenaria. Foi deixada a ideia inicial de um material inerte, devido sua influência no desempenho do concreto e suas propriedades físicas, térmicas e químicas (Neville, 2016).

O estudo de Weidmann (2008) contribui para a compreensão dos efeitos da forma e da composição granulométrica dos agregados miúdos de britagem sobre as



propriedades do concreto com cimento Portland. O estudo demonstra que a distribuição granulométrica dos agregados miúdos influenciam diretamente o comportamento do concreto, interferindo tanto na sua trabalhabilidade quanto em aspectos relacionados à resistência e desempenho estrutural. Agregados com formas irregulares ou granulometrias inadequadas podem prejudicar a consistência da mistura e reduzir a eficiência da compactação, afetando a qualidade final do concreto. Portanto, a escolha apropriada dos agregados, tanto grãos quanto miúdos, é crucial para garantir a produção de concretos de alto desempenho, atendendo aos requisitos técnicos e econômicos de cada obra.

#### **4.1.1.2.1. Areia**

A areia, tecnicamente denominada agregado miúdo, é um dos principais constituintes do concreto e desempenha papel essencial na composição da mistura, preenchendo os vazios entre os agregados grãos e contribuindo para a coesão e trabalhabilidade do material fresco. De acordo com a ABNT NBR 7211:2022, os agregados miúdos devem ser inertes, limpos, duráveis e isentos de materiais prejudiciais que possam comprometer a hidratação do cimento e a durabilidade do concreto.

A classificação da areia fundamenta-se principalmente em sua granulometria, a qual afeta diretamente a compacidade da mistura e a quantidade de água requerida para alcançar a trabalhabilidade adequada. Areias com distribuição granulométrica adequada promovem melhor empacotamento dos grãos, reduzindo a demanda por pasta de cimento e minimizando a segregação e exsudação. De acordo com Mehta e Monteiro (2008), a granulometria ideal contribui não apenas para a resistência mecânica do concreto, mas também para sua durabilidade e estabilidade dimensional.

#### **4.1.1.2.2. Britas**

Os agregados exercem um papel essencial na composição do concreto, influenciando diretamente suas propriedades físicas e mecânicas, e são determinantes para o desempenho final do material. Conforme a norma ABNT NBR 7211:2022, os agregados grãos são definidos como partículas que passam pela peneira com abertura de malha de 75 mm, mas são retidas na peneira de 4,75 mm. Essa classificação assegura que os agregados grãos possuam características adequadas para a fabricação do concreto, tais como resistência e durabilidade, uma vez que eles constituem a maior parte da massa e da estrutura do concreto, além de ajudarem a diminuir a retração e o custo de

produção.

De acordo com Sandoval (2024), o desempenho do concreto poroso pode ser significativamente influenciado pela escolha dos agregados, especialmente quando se opta por materiais sustentáveis. A pesquisa demonstra que o uso de agregados sustentáveis, como resíduos de construção e materiais reciclados, pode proporcionar benefícios ambientais sem comprometer as propriedades do concreto, como a resistência e a permeabilidade.

#### **4.1.1.3. Água**

A água desempenha um papel fundamental nas propriedades aglomerantes do concreto, sendo essencial para as reações que influenciam na hidratação do cimento. Essas reações colaboram na formação de cristais de hidratação, responsáveis pela resistência e durabilidade do concreto (Gonçalves; Lima; Rodrigues, 2019).

Ainda, conforme os mesmos autores, a água é a chave para a ativação do cimento, permitindo que as partículas de cimento se unam e formem uma matriz sólida. Dessa forma, a quantidade e a qualidade da água usada influenciam diretamente nas propriedades do concreto. Portanto, a correta dosagem da água é um dos aspectos mais críticos na produção de concreto de qualidade.

Teixeira (2007) aborda como a adição de água para compensar a perda de abatimento ao longo do tempo pode prejudicar a resistência à compressão do concreto, uma vez que altera a relação água/cimento, comprometendo assim a qualidade do material. Embora a água seja necessária para manter a trabalhabilidade do concreto, a sua quantidade excessiva pode diluir a mistura e prejudicar a formação adequada de cristais de hidratação, resultando em uma menor resistência do concreto endurecido. Esse fenômeno é especialmente importante em situações em que o concreto precisa ser moldado por períodos prolongados ou armazenado em condições de alta temperatura.

#### **4.1.1.4. Aditivos**

Os aditivos desempenham um papel essencial no controle das propriedades do concreto, em sua fase fresca e endurecida. Segundo Andolfato (2002), os aditivos são substâncias que, quando integrado ao concreto em pequenas quantidades (não ultrapassando 5% da massa do material cimentício), influenciam diretamente nas características estruturais e físicas do concreto. Utilizados para melhorar a trabalhabilidade, controlar o tempo de pega, e otimizar a resistência e a durabilidade do



concreto, os aditivos são ajustados de acordo com às exigências específicas de cada obra.

A ABNT NBR 11768:2011 também estabelece os requisitos para a utilização de aditivos químicos no concreto de cimento Portland, evidenciando a importância de seu uso de forma controlada para garantir os resultados esperados.

A classificação dos aditivos se dá mediante suas funções, como retardadores e aceleradores de pega, que, segundo Garcia, Oliveira e Pandolfelli (2007), alteram o tempo de endurecimento do cimento, um aspecto fundamental em condições climáticas adversas ou quando há a necessidade de garantir a trabalhabilidade do concreto por períodos prolongados. Os retardadores de pega, por exemplo, são especialmente úteis em ambientes com altas temperaturas, onde o concreto tende a endurecer rapidamente. Os aditivos aceleradores de pega são utilizados em condições de baixas temperaturas, com a finalidade de intensificar o processo de hidratação do cimento. Sua ação promove a aceleração da cristalização dos produtos de reação, reduzindo o tempo necessário para a desforma. Esses aditivos atuam pontualmente no processo de hidratação do cimento, influenciando a taxa de desenvolvimento da resistência inicial e final.

O uso de aditivos está diretamente associado à melhoria do processo de dosagem e à otimização das proporções dos materiais constituintes do concreto, como destacam Martins (2005), que investigaram a eficácia dos aditivos em centrais de concreto dosado. A pesquisa demonstrou que a inclusão de aditivos, como plastificantes e superplastificantes, podem melhorar significativamente a trabalhabilidade do concreto, possibilitando a redução do teor de água na mistura sem comprometer sua resistência mecânica.

Portanto, esse tipo de aditivo contribui para a produção de concretos com maior fluidez e menor porosidade, o que resulta em um concreto mais denso e resistente. Além disso, o uso adequado de aditivos pode diminuir o custo do concreto e reduzir o impacto ambiental ao otimizar o uso de recursos naturais (Martins, 2005).

Dessa forma, os aditivos são substâncias de extrema importância na engenharia, oferecendo soluções para diversos desafios relacionados à produção de concreto com características específicas de resistência, durabilidade e trabalhabilidade. O uso adequado de aditivos, conforme as orientações de Andolfato (2002), Martins (2005) e Garcia, Oliveira e Pandolfelli (2007), asseguram a obtenção de concretos de alta performance, otimizando processos, reduzindo custos e aumentando a sustentabilidade das construções. O avanço contínuo na pesquisa e desenvolvimento desses produtos traz novas



possibilidades para a construção civil, permitindo que o concreto atenda às demandas cada vez mais complexas da engenharia moderna.

#### **4.1.1.5. Fibras**

A utilização de fibras como reforço estrutural remonta a centenas de anos, com as árvores sendo um exemplo primordial do uso natural de fibras para garantir a estabilidade estrutural. As fibras presentes nas árvores, compostas por lignina, pectina e celulose, desempenham um papel fundamental na manutenção da integridade estrutural desses seres vivos. A celulose, em particular, é responsável pela função estrutural, conferindo resistência e rigidez às árvores, permitindo-lhes suportar grandes pressões e condições ambientais adversas. Esse princípio de reforço com fibras, presente na natureza, foi adaptado para diversas áreas da engenharia, incluindo a construção civil, em que a aplicação de fibras no concreto tem mostrado grandes benefícios na melhoria de suas propriedades mecânicas e durabilidade (Velasco, 2008).

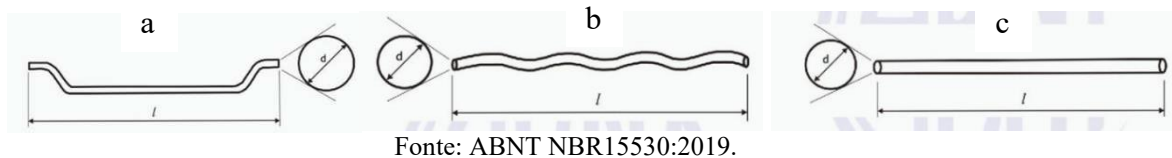
No contexto da construção civil, a adição de fibras ao concreto é uma prática consolidada, especialmente quando se busca aumentar a resistência do material e controlar a propagação de fissuras. Estudos como o de Velasco (2008) evidenciam o uso de fibras de aço em concretos auto-adensáveis, demonstrando que essas fibras melhoram não apenas as propriedades mecânicas, mas também as características reológicas e térmicas do concreto. O reforço com fibras de aço proporciona ao concreto uma maior resistência à tração, maior controle sobre a formação de microfissuras e melhor comportamento diante de esforços dinâmicos, como vibrações e cargas repetidas.

A pesquisa de Costa (2024) sobre o uso de resíduos de britagem em substituição à areia natural em compósitos do tipo SHCC (Strain-Hardening Cementitious Composites) também destaca a importância das fibras na melhoria das propriedades do concreto. A substituição da areia por resíduos de britagem, quando combinada com a incorporação de fibras, resulta em uma matriz mais resistente e mais sustentável, reduzindo a dependência de recursos naturais e agregando valor aos materiais recicláveis. Nesse contexto, as fibras não apenas reforçam as propriedades mecânicas do compósito, mas também colaboram para a redução dos impactos ambientais, oferecendo uma alternativa mais sustentável e tecnicamente eficiente para a construção civil.

Além das fibras de aço, outras formas de fibras também são utilizadas para reforçar o concreto, como as fibras sintéticas e naturais. O estudo de Sodré Neto (2020) sobre a avalia o do desempenho mecânico do concreto com inclusão de resíduos de arame recozido liso confirma que, independentemente do tipo de fibra utilizada, sua incorpora o altera significativamente as propriedades fundamentais do material. A adi o de arame recozido, por exemplo, proporciona ao concreto uma maior resistência   traço e   flexão, além de melhorar sua ductilidade e comportamento frente a esforços de impacto. A flexibilidade e a capacidade de absorver energia sem falhas súbitas são qualidades importantes para garantir a segurança e durabilidade das constru es.

Conforme Velasco (2008) há disponibilidade de fibras diversas para reforço da matriz cimentícia no mercado: fibras de aço lisas e rugosas, geometrias variadas, comprimentos distintos, valores de tensão de ruptura chegando até 2100 MPa e o seu módulo de elasticidade alcançando 210 GPa, fibras em feixe ou isoladas, entre outras. Como mostra a figura 16.

Figura 16: Fibra com ancoragem nas extremidades (a), fibra com ondula es no corpo (b) e fibra reta sem ancoragens (c).



#### 4.2. Concreto Reforçado com Fibras (CRF)

O concreto reforçado com fibras, especialmente as de aço, tem se consolidado como uma soluço eficaz para o aprimoramento das propriedades mecânicas das estruturas de concreto. A adi o de fibras ao concreto tem por objetivo aumentar sua resistência e durabilidade, principalmente em rela o aos esforços de traço e   propaga o de fissuras. A compara o entre essas duas tipologias de fibra, como as fibras de arame galvanizado e as fibras de aço,   essencial para entender os diferentes comportamentos mecânicos que elas proporcionam ao concreto, especialmente quando expostas a cargas dinâmicas ou condi es extremas, como o incêndio (Bolandim, 2021).

A literatura existente destaca diversas abordagens para a avalia o da tenacidade e resistência do concreto reforçado com fibras de aço. Um estudo relevante de Dias (2018) compara dois métodos para determinar a tenacidade do concreto reforçado com fibras de



aço: o ensaio de abertura por encunhamento e o ASTM C1609, ambos essenciais para avaliar o desempenho estrutural do material. O autor conclui que, apesar das diferenças nos resultados, ambos os métodos forneceram uma visão abrangente sobre a capacidade do concreto de resistir a fissuras, sendo que o método ASTM C1609 oferece uma análise mais precisa da resistência à tração pós-fissuração.

Além disso, Arif (2014) conduziram uma avaliação específica da tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço, destacando que o aumento da tenacidade está diretamente relacionado à melhoria do comportamento plástico do material. As fibras de aço, por sua capacidade de interligar as partículas de concreto, permitem uma maior resistência ao cisalhamento e aumentam a durabilidade da estrutura. Esse comportamento é observado em diferentes tipos de estruturas, como as lajes de concreto, que, quando expostas ao fogo, demonstram uma significativa melhoria na resistência à deformação e na prevenção da propagação de fissuras, como evidenciado no trabalho de Bolandim (2021).

O estudo de Caldas, Figueiredo e Bittencourt (2003) sobre as propriedades do concreto reforçado com fibras de aço revela que o uso dessas fibras melhora consideravelmente a resistência ao impacto e à abrasão, dois fatores críticos para a longevidade das estruturas. As fibras de aço têm a capacidade de distribuir de forma mais uniforme os esforços aplicados, evitando o desenvolvimento de grandes fissuras. Por outro lado, a introdução de fibras de arame galvanizado pode ter efeitos semelhantes, mas a diferença no comportamento sob esforços de tração e compressão ainda necessita de mais investigações para confirmar sua eficácia em comparação com as fibras de aço.

Além disso, o uso de fibras no concreto altera a resposta do material a diferentes tipos de esforços solicitantes. A pesquisa de Rodrigues (2019) sobre os efeitos do processo de refusão por laser em um aço SAE 1020 revestido com carbeto de tungstênio via HVOF sugere que o comportamento mecânico das fibras de aço pode ser aprimorado por tratamentos superficiais, aumentando sua resistência à fadiga e ao desgaste. Embora esse estudo se concentre mais em processos de revestimento de aço, ele oferece *insights* importantes sobre como os tratamentos podem influenciar a performance das fibras no concreto, especialmente em relação à resistência a tensões repetidas.

#### 4.2.1. Fibras de aço

As fibras de aço vêm sendo amplamente utilizadas como um reforço complementar ao concreto, especialmente em aplicações onde se exige maior resistência à tração, ductilidade e controle de fissuração. Diferente do reforço convencional com barras, as fibras são incorporadas diretamente à matriz do concreto durante a mistura, promovendo uma distribuição tridimensional e homogênea. Essa característica confere ao CRF uma capacidade superior de absorver tensões de tração e resistir a propagação de fissuras, melhorando seu comportamento pós-fissuração (Mehta; Monteiro, 2008).

Da perspectiva estrutural, incluir fibras de aço contribui principalmente para o aumento da tenacidade e resistência à tração do concreto. Segundo a ABNT NBR 15530:2019, o concreto reforçado com fibras metálicas deve ser ensaiado considerando a resistência à tração na flexão pós-fissuração, com base no desempenho obtido por meio de ensaios padronizados. Essas fibras podem apresentar diferentes geometrias, como retas, com ganchos nas extremidades, onduladas ou ainda torcidas, sendo que sua forma influencia diretamente a capacidade de ancoragem e a eficiência do reforço (Bentur; Mindess, 2007).

A eficácia das fibras de aço também está relacionada a variáveis como comprimento, diâmetro, relação aspecto ( $l/d$ ), teor volumétrico e propriedades superficiais. Estudos demonstram que teores entre 20 a 40 kg/m<sup>3</sup> já são capazes de promover melhorias significativas no desempenho mecânico do concreto, com destaque para o aumento da resistência à tração na flexão e da capacidade de absorção de energia após a fissuração. (ACI COMMITTEE 544, 2009).

Além disso, a utilização de fibras permite, em alguns casos, a redução ou até mesmo a substituição parcial de armaduras convencionais, especialmente em elementos não estruturais ou com baixa responsabilidade estrutural.

#### 4.2.2. Arame Galvanizado

A fibra de arame galvanizado é um fio de aço com revestimento de zinco usado de forma frequente em aplicações variadas. Estudos demonstram que a fibra de aço galvanizado pode ser utilizada como fibra de aço, devido as suas propriedades de fabricação estão de acordo com a padronização ACI e ASTM (Islam *et al.*, 2024).

Segundo Akter *et al.* (2023), a incorporação de arame galvanizado em diferentes teores ao concreto resultou em um aumento de forma progressiva da resistência à

compressão, com ganhos de até 29,85% aos 28 dias, quando comparado ao concreto de referência. O estudo destaca ainda que a adição de 1,4% em volume foi a proporção que gerou o melhor desempenho mecânico geral, mantendo boa trabalhabilidade.

Em outro estudo experimental, Dewagan et al. (2024) observou que o concreto reforçado com fibras de arame galvanizado apresentou melhoria na resistência à tração e na tenacidade. Os autores enfatizam que, além de contribuir para o desempenho mecânico, o uso de arame galvanizado reciclado pode promover benefícios ambientais e econômicos, especialmente em contextos de produção sustentável de materiais de construção.

Além disso, Meza de Luna et al. (2019) analisaram a performance de fibras metálicas com extremidades dobradas, produzidas a partir de arames galvanizados e recozidos. Os resultados apontaram que o concreto com fibras de arame galvanizado obteve desempenho superior em ensaios de flexão, principalmente na fase pós-fissuração, atribuída à melhor ancoragem mecânica proporcionada pelas extremidades conformadas.

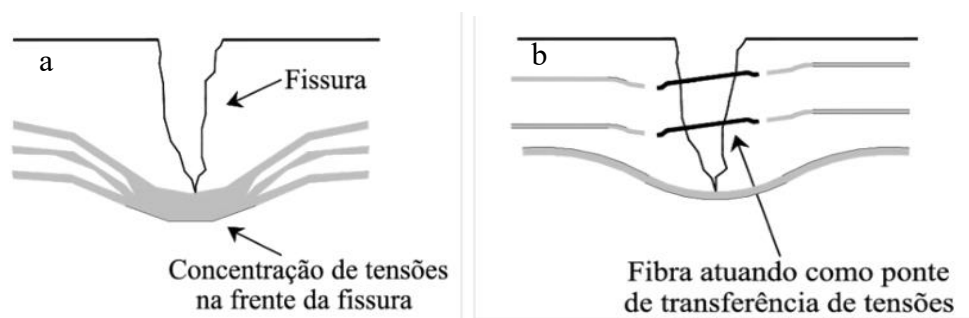
A pesquisa de Santos (2021) reforça a importância do revestimento de zinco na proteção do aço galvanizado, destacando como filmes de silano modificados com o caroço de abacate podem atuar como barreiras adicionais contra a corrosão. Este estudo evidência o potencial de técnicas de modificação superficial para otimizar as propriedades anticorrosivas do aço galvanizado, aumentando ainda mais a sua durabilidade em comparação com outros tipos de aço, como o aço não galvanizado. Tais inovações mostram que a combinação de revestimentos protetores e a utilização de materiais como fibras de aço galvanizado pode ser uma solução eficiente para o aumento da vida útil das estruturas de concreto, especialmente aquelas expostas a condições ambientais agressivas.

O uso do aço galvanizado em fibras para concreto tem, portanto, um impacto significativo não apenas na resistência mecânica do material, mas também na sua capacidade de resistir a fatores externos, como a corrosão, que comprometeriam sua longevidade e desempenho. Lacerda (2021) discute o uso de materiais inovadores na construção a seco, que também contribuem para a melhoria da durabilidade das estruturas. Esses avanços são reflexo de um movimento crescente na engenharia civil que busca otimizar os materiais tradicionais, como o concreto, através do uso de novas tecnologias e materiais mais resistentes.

### 4.3. Interação Matriz-Fibra

A interação entre fibras e a matriz cimentícia é o principal mecanismo responsável pelo desempenho mecânico do concreto reforçado com fibras (CRF). Antes do surgimento de fissuras, essa interação ocorre pela transferência de esforços de cisalhamento na interface fibra-matriz, o que permite que as fibras participem da resistência do compósito como um todo. Após a fissuração, como evidenciado na figura 17, as fibras atuam como pontes entre as faces da trinca, retardando sua propagação, aumentando a energia de fratura e promovendo ganho em ductilidade e tenacidade (Maleki et al., 2023).

Figura 17: Comportamento de tensões após aparecimento de fissuras: Fissura no concreto convencional (a) e fissura no concreto reforçado com fibras (b).



Fonte: Adaptado (Nunes e Agopyan, 1998; Sodré Neto, 2020).

A eficiência desse mecanismo depende fundamentalmente da resistência de aderência na interface, a qual pode se dar por adesão física e química, atrito e, especialmente, pelo intertravamento mecânico. Fibras com ganchos, ondulações ou extremidades conformadas apresentam maior capacidade de ancoragem na matriz, o que resulta em maior resistência à tração na flexão pós-fissuração. No entanto, uma interface muito fraca gera deslizamento precoce (pull-out), enquanto uma ligação excessivamente rígida pode levar à ruptura da fibra antes da dissipação ideal de energia (Mehta; Monteiro, 2008).

Um ponto crítico na interação fibra-matriz é a chamada zona de transição interfacial (ZTI), uma região ao redor da fibra com maior porosidade e menor densidade devido à exsudação local de água e partículas finas durante o adensamento. Essa zona, mais frágil, compromete a transferência de tensões caso não seja controlada. Para mitigar seus efeitos negativos, estudos recomendam o uso de adições minerais reativas, como sílica ativa, ou o tratamento superficial das fibras para aumentar sua rugosidade e afinidade química com a matriz (Zhao et al., 2022; Yoo et al., 2022).

## **5. RESULTADOS E DISCUSSÕES**

As análises dos resultados obtidos a partir dos ensaios realizados com os traços desenvolvidos ao longo da pesquisa, estão presentes nesta seção. Os dados experimentais são interpretados de forma crítica, com base em normas técnicas e em estudos disponíveis na literatura, buscando-se compreender o comportamento dos materiais utilizados e a influência das variáveis envolvidas no desempenho do concreto. A análise comparativa entre os diferentes traços permite verificar o impacto de cada adição ou alteração proposta, contribuindo para a avaliação da viabilidade técnica da solução estudada.

### **5.1. Composição granulométrica dos agregados**

A correta dosagem do concreto está diretamente condicionada à caracterização adequada dos materiais constituintes, em especial dos agregados. Entre os ensaios fundamentais nesse processo, destaca-se a análise granulométrica, cuja finalidade é determinar a distribuição dimensional das partículas do agregado, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 7211:2022.

Esse ensaio fornece dois parâmetros essenciais para o processo de dosagem do concreto pelo método ABCP/ACI. O primeiro é o Diâmetro Máximo Característico (DMC), que está relacionado à distribuição das partículas do agregado e influencia diretamente na estimativa do consumo de água por metro cúbico de concreto, conforme define a NBR 7211:2022. O segundo é o Módulo de Finura (MF), calculado a partir da soma das porcentagens retidas acumuladas nas peneiras da série normal, dividida por 100.

A tabela 11 nos fornece os dados do agregado miúdo:

Tabela 11: Análise granulométrica do agregado miúdo.

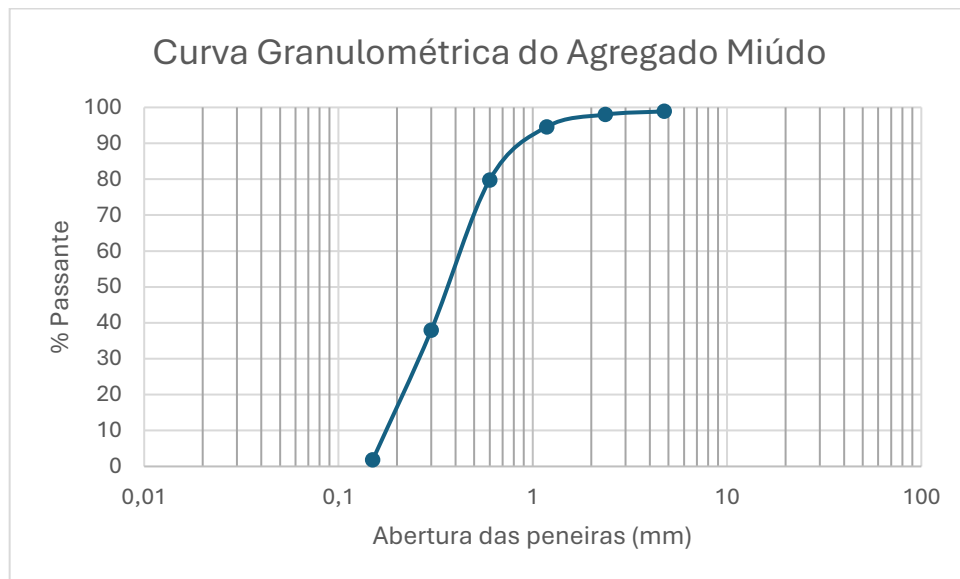
Peneiras (mm)				
Série Normal	Série Intermediária	Peso da Amostra (g)	Retida (%)	Retida Acum. (%)
75	-	0,0	0,00	0
-	63	0,0	0,00	0,00
-	50	0,0	0,00	0,00
37,5	-	0,0	0,00	0,00
-	31,5	0,0	0,00	0,00
-	25	0,0	0,00	0,00
19	-	0,0	0,00	0,00
.	12,5	0,0	0,00	0,00
9,5	-	1,6	0,32	0,32
-	6,3	2,6	0,52	0,84
4,75	-	1,3	0,26	1,10
2,36	-	4,5	0,90	2,00
1,18	-	17,1	3,43	5,43
0,6	-	73,9	14,81	20,24
0,3	-	209,0	41,88	62,11
0,15	-	180,1	36,08	98,20
-	0,075	0,0	0,00	98,20
-	FUNDO	9,0	1,80	100,00
<b>TOTAL</b>	499,1		100,00	
Caracterização				
	MF	1,90		
	DMC	2,36 mm		

Fonte: Autor (2025).

Os resultados da análise demonstram que a maior fração da amostra foi retida nas peneiras de 0,3 mm (41,88%) e 0,15 mm (36,01%), totalizando 77,89% da massa retida nessas duas malhas. As demais peneiras apresentaram porcentagens significativamente menores, como a peneira de 0,6 mm com 14,81% e a de 1,18 mm com 3,4%. As peneiras superiores a 4,75 mm não apresentaram retenção de partículas, o que é característico de agregados miúdos.

O valor obtido para o MF foi de 1,90, o que classifica a areia como fina, de acordo com os critérios normativos. E o nosso DMC foi de 2,36 mm. O gráfico 1 apresenta a curva granulométrica desse agregado.

Gráfico 1: Curva granulométrica do agregado miúdo.



Fonte: Autor (2025).

A tabela 12 nos fornece as informações do ensaio de peneiramento do agregado graúdo.

Tabela 12: Análise granulométrica do agregado graúdo.

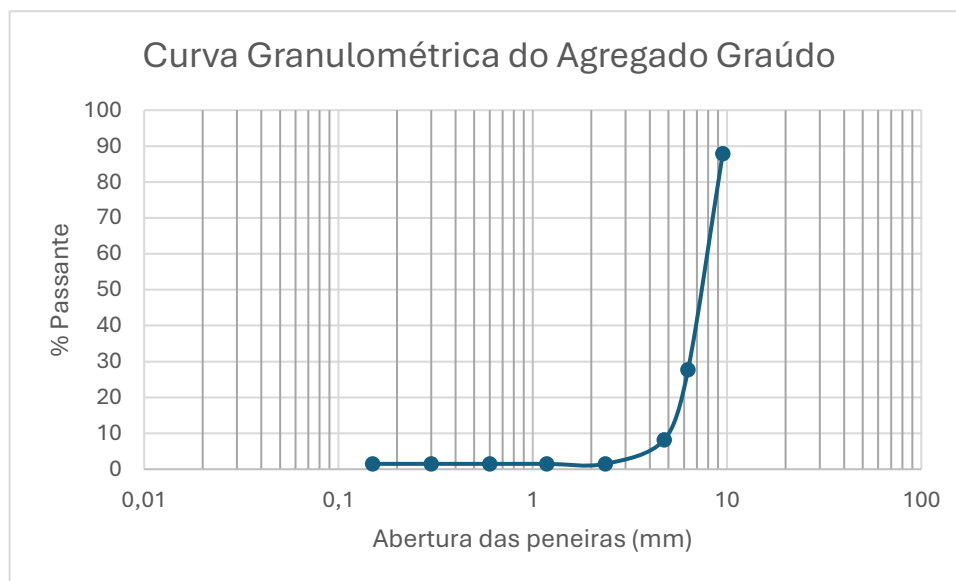
Peneiras (mm)				
Série Normal	Série Intermediária	Peso da Amostra (g)	Retida (%)	Retida Acum. (%)
75	-	0,0	0,00	0
-	63	0,0	0,00	0,00
-	50	0,0	0,00	0,00
37,5	-	0,0	0,00	0,00
-	31,5	0,0	0,00	0,00
-	25	0,0	0,00	0,00
19	-	0,0	0,00	0,00
-	12,5	0,0	0,00	0,00
9,5	-	360,0	12,07	12,07
-	6,3	1797,1	60,26	72,33
4,75	-	580,2	19,45	91,78
2,36	-	200,5	6,72	98,51
1,18	-	0,0	0,00	98,51
0,6	-	0,0	0,00	98,51
0,3	-	0,0	0,00	98,51
0,15	-	0,0	0,00	98,51
-	0,075	0,0	0,00	98,51
-	FUNDO	44,5	1,49	100,00
<b>TOTAL</b>	2982,3		100,00	
	MF	6,03		
	DMC	9,5 mm		

Fonte: Autor (2025).

Verifica-se que o material possui predominância de partículas retidas nas peneiras de 6,3 mm (60,26%) e 4,75 mm (19,45%). A peneira de 9,5 mm reteve 12,07% da amostra, indicando que o agregado analisado apresenta um DMC de 9,5 mm, conforme definido pela norma.

A porcentagem retida acumulada atingiu 98,51% até a peneira de 2,36 mm, não havendo retenções significativas nas peneiras inferiores, o que confirma a classificação do material como agregado graúdo. A análise também permitiu o cálculo do módulo de finura, cujo valor obtido foi de 6,03, típico de materiais dessa natureza. No gráfico 2, observa-se a curva granulométrica da brita tipo 0.

Gráfico 2: Curva granulométrica do agregado graúdo.



Fonte: Autor (2025).

## 5.2. Massa específica

A determinação da massa específica do agregado miúdo foi realizada conforme os procedimentos estabelecidos na norma ABNT NBR 9775:2011, foi determinada a massa específica do agregado miúdo. Com base nos dados obtidos experimentalmente, aplicou-se a equação 1, que permitiu o cálculo da massa específica da amostra analisada. O valor resultante está apresentado na tabela 13.

Tabela 13: Densidade real do agregado miúdo.

Agregado miúdo	
Massa inicial seca	500 g
Volume inicial	200 ml = 200 cm <sup>3</sup>
Volume deslocado após inserção do agregado	386 ml = 386 cm <sup>3</sup>
Densidade real	2,67 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2025).

Com as diretrizes proposta pela ABNT NBR NM 53:2009, obtemos os resultados da massa específica do agregado graúdo pelo método do cesto ao ar, conforme a tabela 14.

Tabela 14: Densidade real do agregado graúdo.

Agregado graúdo	
Densidade real	
Peso do cesto	145,2 g
Peso do cesto mais o agregado ao ar	1145,2 g
Peso do Agregado seco	1000 g
Peso do cesto imerso	127,9 g
Peso do cesto imerso mais o agregado	764,9 g/cm <sup>3</sup>
Peso do agregado imerso	638,7 g/cm <sup>3</sup>
Volume deslocado	362,3 cm <sup>3</sup>
Densidade real	2,76 g/cm <sup>3</sup>

Fonte: Autor (2025).

### 5.3. Massa unitária

A massa unitária é uma propriedade fundamental na caracterização dos materiais utilizados na produção do concreto, especialmente quando se adota o método de dosagem ABCP. Essa propriedade permite a conversão adequada de unidades de massa para volume, além de ser essencial para a definição das proporções dos materiais na mistura do concreto.

A determinação da massa unitária foi realizada conforme os procedimentos descritos na norma ABNT NBR 16972:2021. A partir dos dados obtidos experimentalmente, foi obtido os valores de massa unitária nas condições de agregado solto e compactado. Os resultados encontram-se apresentados na tabela 15.

Tabela 15: Resultado da massa unitária dos agregados.

Massa unitária dos agregados		
Agregados	Estado	Massa unitária (kg/m <sup>3</sup> )
Areia Natural	Solto	1616,4
	Compactado	1728
Brita 0	Solto	1445,5
	Compactado	1728

Fonte: Autor (2025).

### 5.4. Dosagem ABCP

A metodologia de dosagem seguida neste trabalho baseou-se no método ABCP, visando definir as proporções dos materiais constituintes do concreto de forma a atender aos requisitos de resistência, trabalhabilidade e durabilidade.

A seguir, descrevem-se as principais etapas do processo de dosagem, com base nos dados obtidos em laboratório e nas normas técnicas vigentes.

Inicialmente, estabeleceu-se a resistência característica à compressão do concreto aos 28 dias ( $f_{ck}$ ), adotando-se o valor de 25 MPa, correspondente à classe C25. Essa classe de resistência é amplamente empregada em estruturas usuais de concreto armado, sendo adequada para ambientes classificados como de classe de agressividade ambiental II, conforme os critérios estabelecidos pela ABNT NBR 6118:2023

Em sequência, a resistência do concreto deve ser majorado, visando atender as condições de variabilidade que podem ocorrer nas obras, a ABNT NBR 12655:2022 nos estabelece desvio-padrão mediante as condições de preparo, conforme a tabela 16.

Tabela 16: Condições de preparo.

Condição de preparo de concreto	Desvio-padrão (Mpa)
<b>A</b>	4,0
<b>B</b>	5,5
<b>C</b>	7,0

Fonte: Autor (2025).

Foi adotada a condição B, o cimento é usualmente quantificado em termos de massa, enquanto a água de amassamento é medida em volume por meio de dispositivo dosador, os agregados, por sua vez, podem ser dosados combinando critérios de massa e volume, sendo o desvio-padrão de 5,5 MPa.

Para determinar a resistência média do concreto aos 28 dias, utiliza-se a equação 5, disposta na ABNT NBR 12655:2022.

$$f_{c28} = f_{ck} + 1,65 \cdot sd \quad \text{Equação 6}$$

Onde:

$f_{c28}$  é a resistência média do concreto à compressão (Mpa);

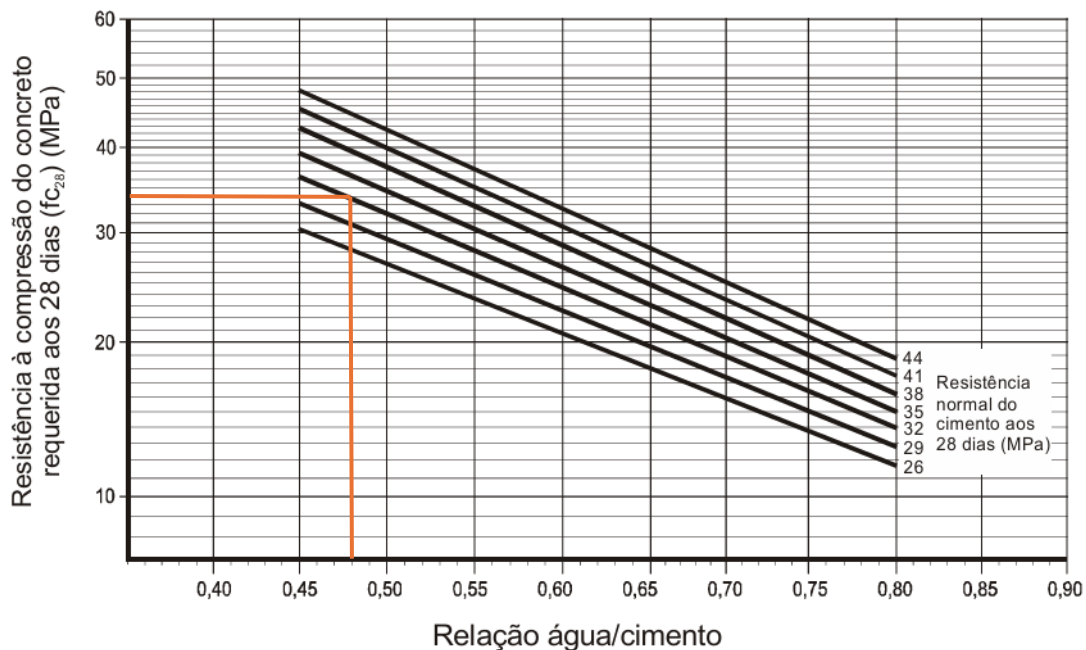
$f_{ck}$  é a resistência característica do concreto à compressão (MPa);

$sd$  é o desvio-padrão da dosagem (MPa).

Após a definição da resistência média à compressão aos 28 dias, que foi de 34,08 MPa, procedeu-se a estimativa da relação água/cimento (a/c) por meio da curva de Abrams, que correlaciona essa relação com a resistência do concreto, figura 18. Ao ser traçada uma linha horizontal conectando a nossa resistência para 28 dias com a classe do

nosso cimento Portland na curva de Abrams, permitiu determinar o fator  $a/c$  adequado ao traço proposto, assegurando o atendimento aos requisitos de desempenho mecânico estabelecidos para o concreto.

Figura 18: Fator  $a/c$  determinado pela curva de Abrams.



Fonte: Adaptado Assunção (2002).

Com o fator  $a/c$  determinado, utilizamos a tabela 14 para estimar o consumo de água. O abatimento definido foi de 80 a 100 mm com o agregado graúdo tendo a dimensão máxima de 9,5 mm.

Tabela 17: Consumo de água estimado.

Abatimento do tronco cone	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
40 a 60 mm	220 l/m <sup>3</sup>	195 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>	185 l/m <sup>3</sup>	180 l/m <sup>3</sup>
60 a 80 mm	225 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	195 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>	185 l/m <sup>3</sup>
80 a 100mm	230 l/m <sup>3</sup>	205 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	200 l/m <sup>3</sup>	190 l/m <sup>3</sup>

Fonte: Adaptado Rodrigues (1998).

Com base no consumo de água estimado para o traço, e a partir da relação  $a/c$  previamente determinada por meio da curva de Abrams, foi possível calcular o consumo de cimento necessário. Essa etapa é fundamental para garantir que o traço atenda à resistência média desejada, mantendo a proporção adequada entre os materiais que compõem a mistura.

$$C_c = \frac{C_a}{a/c} \quad \text{Equação 7}$$

Onde:

$C_c$  é o consumo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_a$  é o consumo de água ( $\text{l}/\text{m}^3$ );

$a/c$  é a relação água cimento.

Após a definição da relação água/cimento, bem como dos consumos de água e de cimento, procedeu-se à estimativa das quantidades de agregados a serem utilizadas no traço. O primeiro passo consistiu na determinação do volume de agregado graúdo, utilizando-se, para isso, a tabela 18, elaborada com base em ensaios realizados pela ABCP. Essa tabela relaciona o volume seco compactado do agregado graúdo com base em dois parâmetros: o diâmetro máximo característico do agregado graúdo e o módulo de finura do agregado miúdo.

No presente estudo, o módulo de finura do agregado miúdo foi determinado como 1,90 mm. Já o diâmetro máximo característico do agregado graúdo foi de 9,5 mm. A partir desses valores, foi possível realizar a interpolação para obtenção do volume específico do agregado graúdo a ser utilizado na composição do traço de concreto.

Tabela 18: Volume compactado seco do agregado graúdo por metro cúbico.

Módulo de finura	Dimensão máxima característica do agregado				
	9,5 mm	19 mm	25 mm	32 mm	38 mm
<b>1,8</b>	0,645	0,770	0,795	0,820	0,845
<b>2,0</b>	0,625	0,750	0,775	0,800	0,825
<b>2,2</b>	0,605	0,730	0,755	0,780	0,805
<b>2,4</b>	0,585	0,710	0,735	0,760	0,785
<b>2,6</b>	0,565	0,690	0,715	0,740	0,765
<b>2,8</b>	0,545	0,670	0,695	0,720	0,745
<b>3,0</b>	0,525	0,650	0,675	0,700	0,725
<b>3,2</b>	0,505	0,630	0,655	0,680	0,705
<b>3,4</b>	0,485	0,610	0,635	0,660	0,685
<b>3,6</b>	0,465	0,590	0,615	0,640	0,665

Fonte: Adaptado Rodrigues (1998).

O MF que obtivemos no ensaio, encontra-se entre os módulos de finura apresentados na tabela x, por interpolação, o volume compactado seco por  $\text{m}^3$  é de 0,635. Dispondo dessa informações, podemos obter o consumo de agregado graúdo, no caso a



brita 0, para o nosso traço de concreto.

$$C_b = V_b \cdot M_u \quad \text{Equação 8}$$

Onde:

$C_b$  é o consumo de agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$V_b$  é o volume compactado seco por  $\text{m}^3$ ;

$M_u$  massa unitária compactada do agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Para obter o consumo de areia para o traço, deduzimos o volume de areia do volume total do concreto por meio da equação x. Como o consumo de cimento, brita 0 e água são conhecidos, o agregado miúdo é o restante desse volume.

$$V_{am} = 1 - \left( \frac{C_c}{\gamma_c} + \frac{C_b}{\gamma_b} + \frac{C_a}{\gamma_a} \right) \quad \text{Equação 9}$$

Onde:

$V_{am}$  é o volume de agregado miúdo ( $\text{m}^3$ );

$C_c$  é o consumo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\gamma_c$  é a massa específica do cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_b$  é o consumo de agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\gamma_b$  é a massa específica do agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_a$  é o consumo de água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ )

$\gamma_a$  é a massa específica da água ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Com o valor do volume do agregado miúdo conhecido, calculamos o valor do consumo de areia com a expressão a seguir:

$$C_{am} = V_{am} \cdot \gamma_{am} \quad \text{Equação 10}$$

Onde:

$C_{am}$  é o consumo de agregado miúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$V_{am}$  é o volume de agregado miúdo ( $\text{m}^3$ );

$\gamma_{am}$  é a massa específica da agregado miúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Com os consumos de todos os materiais devidamente determinados, torna-se possível estabelecer o traço unitário do concreto. Esse traço representa a proporção em massa de cada componente por metro cúbico de concreto, expresso na equação 11.

$$1,0 : \frac{C_b}{C_c} : \frac{C_a}{C_c} : a/c \quad \text{Equação 11}$$

Onde:

$C_c$  é o consumo de cimento ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_b$  é o consumo de agregado graúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ );

$C_a$  é o consumo de agregado miúdo ( $\text{kg}/\text{m}^3$ ).

Dessa forma, o traço unitário definido para o concreto de referência é apresentado na tabela 19, representando as proporções em massa dos materiais por metro cúbico de concreto. Esse traço foi obtido com base nas etapas descritas anteriormente, considerando os parâmetros de desempenho estabelecidos e as características dos materiais utilizados.

Tabela 19: Resumo de materiais do traço.

Traço Unitário do Concreto			
Consumo de Cimento	Consumo de Areia	Consumo de Brita 0	Consumo de água
1	1,2	2,28	0,48

Fonte: Autor (2025).

### 5.5. Análise do ensaio de abatimento do tronco cone

A trabalhabilidade é uma das propriedades fundamentais do concreto no estado fresco, estando diretamente relacionada à sua capacidade de ser lançado, adensado e moldado, sem que ocorra segregação dos seus componentes ou perda de homogeneidade. Essa propriedade depende de diversos fatores, como a composição da mistura, o teor de água, a granulometria dos agregados e o uso de aditivos.

De forma geral, a trabalhabilidade pode ser compreendida como o equilíbrio entre coesão e fluidez da massa de concreto. A coesão refere-se à capacidade da mistura em manter seus constituintes unidos, enquanto a fluidez representa a facilidade com que o concreto escoar e preenche as formas. O ensaio de abatimento do tronco de cone, conforme estabelecido pela ABNT NBR 16889:2020, fornecendo um parâmetro prático e objetivo para o controle da consistência do concreto.

A tabela 20 nos mostra o comportamento da consistência do concreto reforçado com aço e arame galvanizado e do aditivo plastificante integrado a mistura.

Tabela 20: Resultado do Slump Test.

Traço	medida de abatimento em (mm)	Aditivo no traço (%)	Consumo de água (L)
CRFA20	85	0,6	11,78
CRFA30	80	0,6	11,4
CRFA40	95	0,6	11,02
CRFAG20	90	0,6	11,8
CRFAG30	85	0,6	11
CRFAG40	80	0,6	10,25

Fonte: Autor (2025).

Observa-se que, com a adição de 0,6% de aditivo plastificante, conforme a dosagem recomendada pelo fabricante, não foi necessário utilizar a totalidade da água prevista na mistura durante a etapa de tração. Além disso, verificou-se que os traços com maiores teores de fibras apresentaram menor consumo de água para atingir a consistência desejada, o que pode estar relacionado à melhora na coesão da mistura proporcionada pela presença das fibras e à ação redutora de água do aditivo empregado.

## 5.6. Resistência à compressão

Para a avaliação das características mecânicas no estado endurecido dos traços estudados, foram rompidos três corpos de prova cilíndricos, com dimensões de 10 × 20 cm, para cada traço, nas idades de 3, 7, 14 e 28 dias de cura.

Os resultados obtidos aos 3 dias de idade estão apresentados na tabela 21, incluindo a comparação da resistência à compressão (em MPa) entre os diferentes traços. Essa comparação também evidencia a variação percentual da resistência em relação ao traço de referência com três teores distintos, 20 kg/m<sup>3</sup>, 30 kg/m<sup>3</sup> e 40 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 21: Resistência à compressão com idade de 3 dias.

Corpo de prova	CRFA						CRFAG					
	20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>		20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>	
	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)
<b>CPCI</b>	13,66	17,07	14,47	18,08	15,9	19,87	12,28	15,35	14,72	18,40	10,5	13,12
<b>CPCII</b>	14,02	17,52	16,48	20,59	10,65	13,31	10,07	12,58	12,47	15,58	10,98	13,72
<b>CPCIII</b>	10,59	13,23	10,17	12,71	15,49	19,36	14,46	18,07	14,46	18,07	11,48	14,35
<b>Média</b>	12,76	15,94	13,71	17,13	14,01	17,51	12,27	15,33	13,88	17,35	10,99	13,73
<b>Variação de resistência em relação ao concreto de referência em (%)</b>								-3,81		1,29		-21,60

Fonte: Autor (2025).

Observa-se que os traços com fibras de aço apresentaram uma evolução progressiva da resistência à compressão com o aumento do teor de fibras. A resistência média passou de 15,94 MPa (20 kg/m<sup>3</sup>) para 17,13 MPa (30 kg/m<sup>3</sup>), atingindo 17,51 MPa (40 kg/m<sup>3</sup>), o que representa um ganho de aproximadamente +9,85% em relação ao traço com menor adição. Esse comportamento confirma a eficiência da fibra de aço na restrição à propagação de fissuras iniciais e na melhoria da capacidade de redistribuição de tensões na matriz cimentícia, sobretudo quando bem dispersa e com adequada aderência ao concreto.

Por outro lado, o concreto reforçado com fibras de arame galvanizado apresentou comportamento menos uniforme. A resistência média inicial, de 15,33 MPa (20 kg/m<sup>3</sup>), teve uma leve elevação para 15,53 MPa (30 kg/m<sup>3</sup>), mas caiu expressivamente para 13,73 MPa (40 kg/m<sup>3</sup>), representando uma redução de aproximadamente 10,4% em relação ao teor intermediário. A variação percentual da resistência em relação ao traço de referência (CRFA) foi de -3,81%, +1,29% e -21,60% para os teores de 20, 30 e 40 kg/m<sup>3</sup>, respectivamente.

A tabela 22, apresenta os dados da resistência à compressão para a idade de 7 dias.

Tabela 22: Resistência à compressão com idade de 7 dias.

Corpo de prova	CRFA						CRFAG					
	20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>		20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>	
	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)
<b>CPCI</b>	17,76	22,19	19,77	24,71	19,61	24,51	17,12	21,39	17,73	22,16	11,53	14,41
<b>CPCII</b>	10,26	12,82	17,29	21,61	16,51	20,63	14,14	17,67	15,52	19,40	14,95	18,68
<b>CPCIII</b>	17,96	22,44	15,26	19,07	13,57	16,96	14,48	18,10	14,17	17,71	13,26	16,57
<b>Média</b>	15,33	19,15	17,44	21,79	16,56	20,70	15,25	19,05	15,81	19,75	13,25	16,55
<b>Variação de resistência em relação ao concreto de referência em (%)</b>								-0,52		-9,37		-20,02

Fonte: Autor (2025).

Os traços contendo fibras de aço (CRFA) demonstraram desempenho superior com o aumento do teor de fibras. A resistência média passou de 19,15 MPa (20 kg/m<sup>3</sup>) para 21,79 MPa (30 kg/m<sup>3</sup>), e 20,70 MPa no teor de 40 kg/m<sup>3</sup>, com o teor de 30 kg/m<sup>3</sup> tendo um valor um pouco maior.

Com relação ao concreto reforçado com fibras de arame galvanizado (CRFAG), os resultados foram distintos. Para o teor de 20 kg/m<sup>3</sup>, o fck médio foi de 19,05 MPa, valor ligeiramente inferior ao do CRFA. Contudo, com a correção para 19,75 MPa no teor de 30 kg/m<sup>3</sup>, observa-se uma melhoria significativa na resistência, indicando que, até certo limite, o arame galvanizado também é capaz de contribuir para o desempenho mecânico do compósito. No entanto, com o aumento para 40 kg/m<sup>3</sup>, a resistência caiu para 16,55 MPa, representando uma queda de aproximadamente 20% em relação ao traço de referência, o que indica que o excesso de fibras de arame galvanizado compromete a integridade do concreto.

A resistência na idade de 14 dias é apresentada na tabela 23.

Tabela 23: Resistência à compressão com idade de 14 dias.

Corpo de prova	CRFA						CRFAG					
	20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>		20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>	
	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)
<b>CPCI</b>	29,01	36,25	25,98	32,47	26,63	33,28	21,23	26,53	19,65	24,56	17,37	21,71
<b>CPCII</b>	17,67	22,08	24,32	30,39	29,62	37,02	19,99	24,98	18,19	22,73	16,28	20,34
<b>CPCIII</b>	25,51	31,88	15,43	19,28	29,17	36,45	20,68	25,84	20,5	25,62	20,87	26,08
<b>Média</b>	24,06	30,07	21,91	27,38	28,47	35,58	20,63	25,79	19,45	24,30	18,17	22,71
<b>Variação de resistência em relação ao concreto de referência em (%)</b>								-14,25		-11,24		-36,17

Fonte: Autor (2025).

No caso dos traços com fibras de aço (CRFA), verifica-se uma evolução positiva da resistência à compressão com o aumento do teor de fibras. A resistência média passou de 24,06 MPa (20 kg/m<sup>3</sup>) para 27,38 MPa (30 kg/m<sup>3</sup>), atingindo 35,58 MPa com 40 kg/m<sup>3</sup>. Esses resultados indicam que o uso de fibras de aço promove um reforço eficaz da matriz cimentícia, favorecendo o aumento da capacidade resistente do concreto mesmo antes da cura completa.

Por outro lado, os traços com fibras de arame galvanizado (CRFAG) apresentaram queda na resistência à compressão com o aumento do teor de fibras, comportamento inverso ao observado para as fibras de aço. A resistência média foi de 20,63 MPa com 20 kg/m<sup>3</sup>, 24,30 MPa com 30 kg/m<sup>3</sup> e apenas 22,71 MPa com 40 kg/m<sup>3</sup>. As variações em relação ao traço de referência foram de -14,25%, -11,24% e -36,17%, respectivamente. A adição excessiva de arame galvanizado, especialmente no teor de 40 kg/m<sup>3</sup>, resultou em forte queda da resistência em relação seu traço de referência.

Por último, os resultados da resistência à compressão na idade de 28 dias, mostrada na tabela 24.

Tabela 24: Resistência à compressão com idade de 28 dias.

Corpo de prova	CRFA						CRFAG					
	20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>		20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>	
	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)	Carga (tf)	Fck (MPa)
<b>CPCI</b>	29,51	36,88	37,47	46,83	27,39	34,23	25,74	32,17	21,46	26,82	26,87	33,58
<b>CPCII</b>	36,71	45,88	31,79	39,73	31,49	39,35	21,62	27,02	30,19	37,73	23,08	28,84
<b>CPCIII</b>	27,54	34,42	32,99	41,23	26,49	33,10	19,79	24,73	26,15	32,68	23,46	29,32
<b>Média</b>	31,25	39,06	34,08	42,59	28,46	35,56	22,38	27,97	25,93	32,41	24,47	30,58
<b>Variação de resistência em relação ao concreto de referência em (%)</b>								-28,38		-23,91		-14,01

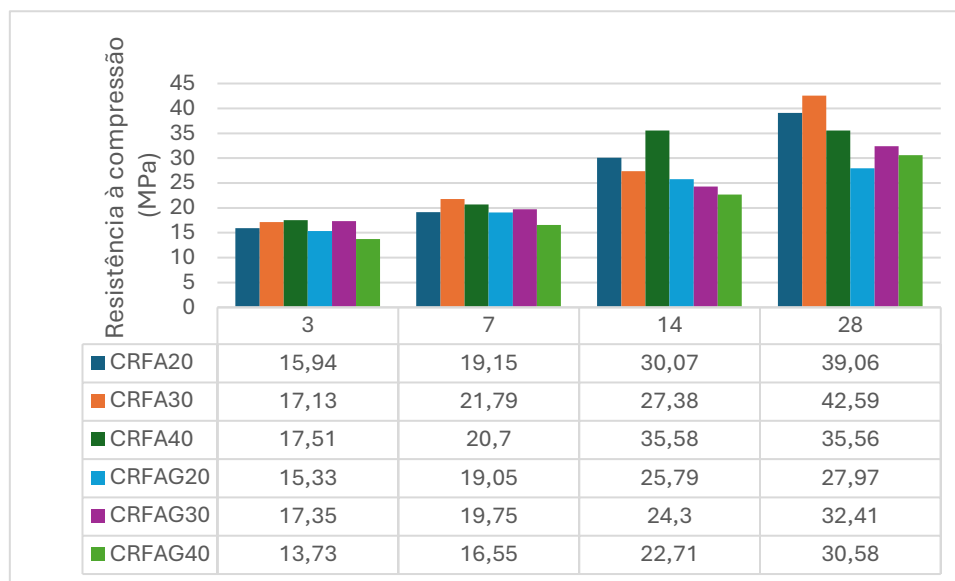
Fonte: Autor (2025).

Os traços com fibras de aço (CRFA) apresentaram desempenho superior, especialmente nos teores de 20 e 30 kg/m<sup>3</sup>. A resistência média foi de 39,06 MPa com 20 kg/m<sup>3</sup>, 42,59 MPa com 30 kg/m<sup>3</sup> e 35,56 MPa com 40 kg/m<sup>3</sup>. O aumento da resistência nos traços CRFA pode ser atribuído à eficiência da fibra de aço na contenção e estabilização de microfissuras, além de favorecer a redistribuição das tensões internas e o retardo da ruptura frágil, desde que em teores adequados e bem dispersos.

Quanto ao concreto com fibras de arame galvanizado (CRFAG), os resultados revelam um comportamento inferior em todas as proporções testadas. A resistência média foi de 27,97 MPa (20 kg/m<sup>3</sup>), 32,41 MPa (30 kg/m<sup>3</sup>) e 30,58 MPa (40 kg/m<sup>3</sup>), com variações negativas de -28,38%, -23,91% e -14,01%, respectivamente, em comparação com o concreto de referência. Embora o teor de 40 kg/m<sup>3</sup> tenha apresentado leve recuperação em relação aos demais, os valores permanecem consideravelmente inferiores aos obtidos com fibras de aço.

O gráfico 3, demonstra o aumento da resistência à compressão, de acordo com a idade de ensaio.

Gráfico 3: Evolução da resistência à compressão com o tempo.



Fonte: Autor (2025).

Os resultados demonstram que o CRFA apresentou valores superiores ao CRFAG em todas as idades e teores analisados, indicando que as fibras de aço proporcionam um reforço mais eficiente à matriz cimentícia em comparação ao arame galvanizado.

Aos 3 dias, as diferenças foram menos expressivas, com variações entre 0,61 e 3,78 unidades, sugerindo que, no início da cura, o tipo de fibra tem menor influência. Entretanto, aos 28 dias, notou-se as diferenças se tornaram mais significativas, especialmente para o teor de 30 kg/m<sup>3</sup> (CRFA30 = 42,59 vs. CRFAG30 = 32,41), indicando que as fibras de aço mantêm melhor aderência e transferência de tensões ao longo do tempo.

No CRFA, o teor de 20 kg/m<sup>3</sup> apresentou crescimento consistente, atingindo 39,06 MPa aos 28 dias. O teor de 30 kg/m<sup>3</sup> teve o melhor desempenho geral, chegando a 42,59 MPa na idade de 28 dias, sugerindo este ser um teor ótimo para as fibras de aço. O teor de 40 kg/m<sup>3</sup> apresentou um bom comportamento inicial, mais ao final apresentou a menor resistência à compressão, sendo uma possível explicação a aglomeração de fibras.

Já para o CRFAG, o teor de 20 kg/m<sup>3</sup> teve o menor desempenho entre os teores, indicando que baixos teores de fibras de arame galvanizado não são suficientes para um reforço significativo. O teor de 30 kg/m<sup>3</sup> obteve o melhor desempenho, chegando a 32,41 MPa aos 28 dias, entretanto, teve um resultado menor em comparação com seu concreto

reforçado de referência, o CRFA30. O teor de 40 kg/m<sup>3</sup> obteve um valor de 30,58 MPa, sugerindo que o teor intermediário, em ambos os concretos reforçados, obtém o melhor desempenho.

A resistência aumentou de forma mais acentuada entre 14 e 28 dias, assinalando que as fibras de aço contribuem significativamente na fase de endurecimento avançado. O arame galvanizado teve um crescimento mais linear, sugerindo menor influência à longo prazo.

### 5.7. Resistência à tração na flexão

Foi realizado o ensaio de tração na flexão em quatro pontos, aplicando-se a carga em corpos de prova prismáticos com as dimensões de 10 × 10 × 35 cm. Para cada traço de concreto e para cada idade de cura de 7 e 28 dias, foram ensaiadas três amostras, permitindo a determinação da resistência à tração na flexão média de cada condição.

Os resultados referentes à idade de 7 dias estão apresentados na tabela 25, contendo os valores médios da resistência à tração na flexão (MPa) para os diferentes traços analisados. A tabela também inclui a variação percentual em relação ao traço de referência, possibilitando a comparação do desempenho mecânico dos concretos reforçados com fibras nos teores de 20 kg/m<sup>3</sup>, 30 kg/m<sup>3</sup> e 40 kg/m<sup>3</sup>.

Tabela 25: Resistência à tração na flexão com idade de 7 dias.

Corpo de prova	CRFA						CRFAG					
	20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>		20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>	
	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)
<b>CPCI</b>	2,11	6,21	1,61	4,74	2	5,89	1,6	4,71	2,2	6,47	1,84	5,42
<b>CPCII</b>	1,92	5,65	1,49	4,39	2,29	6,74	2,43	7,15	1,59	4,68	1,77	5,21
<b>CPCIII</b>	2,48	7,30	1,75	5,15	1,91	5,62	1,62	4,77	1,65	4,86	1,8	5,30
<b>Média</b>	2,17	6,39	1,62	4,76	2,07	6,08	1,88	5,54	1,81	5,34	1,80	5,31
<b>Varição de resistência em relação ao concreto de referência em (%)</b>								-13,21		12,16		-12,74

Fonte: Autor (2025).

Para o teor de 20 kg/m<sup>3</sup>, o CRFA obteve uma resistência média de 6,39 MPa, enquanto o CRFAG apresentou valor médio de 5,54 MPa, indicando uma redução de 13,21% em relação ao traço de referência. Esse resultado evidencia uma menor eficiência do arame galvanizado neste teor, o que pode estar associado à sua superfície lisa e menor capacidade de ancoragem na matriz cimentícia.

Por outro lado, no teor de 30 kg/m<sup>3</sup>, o CRFAG obteve resistência média de 5,34 MPa, valor superior aos 4,76 MPa do CRFA, resultando em um ganho de 12,16%. Esse comportamento pode estar relacionado à melhor dispersão das fibras no compósito e ao menor risco de aglomeração em comparação ao aço, além de uma possível influência positiva sobre a trabalhabilidade do concreto.

No teor mais elevado, de 40 kg/m<sup>3</sup>, o CRFAG apresentou novamente desempenho inferior ao CRFA, com resistência de 5,31 MPa contra 6,08 MPa, caracterizando uma redução de 12,74%. No CRFAG, notou-se uma diminuição na resistência à tração, com o teor de 20 kg/m<sup>3</sup> sendo levemente superior aos outros teores, e tendo a resistência bem próxima, no caso dos teores de 30 e 40 kg/m<sup>3</sup>.

Para a resistência à tração na flexão para a idade de 28 dias, seu resultado se encontra na tabela 26.

Tabela 26: Resistência à tração na flexão com idade de 28 dias.

Corpo de prova	CRFA						CRFAG					
	20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>		20 kg/m <sup>3</sup>		30 kg/m <sup>3</sup>		40 kg/m <sup>3</sup>	
	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)	Carga (tf)	Fct (MPa)
<b>CPCI</b>	2,72	8,00	2,54	7,48	2,76	8,12	2,61	7,68	2,92	8,59	2,92	8,59
<b>CPCII</b>	2,96	8,71	2,28	6,71	4,39	12,92	2,68	7,89	2,6	7,65	2,44	7,18
<b>CPCIII</b>	2,56	7,53	2,25	6,62	2,92	8,59	2,53	7,45	2,55	7,50	2,7	7,95
<b>Média</b>	2,75	8,08	2,36	6,94	3,36	9,88	2,61	7,67	2,69	7,92	2,69	7,91
<b>Varição de resistência em relação ao concreto de referência em (%)</b>								-5,10		14,14		-19,96

Fonte: Autor (2025).

No CRFA, Observa-se que o teor intermediário (30 kg/m<sup>3</sup>) resultou em resistência menor que o teor inicial (20 kg/m<sup>3</sup>). Esse comportamento pode estar associado à má distribuição das fibras ou problemas de compactação em teores intermediários, o que compromete a integridade da matriz cimentícia. Contudo, no teor mais elevado (40 kg/m<sup>3</sup>), o desempenho foi o mais satisfatório, com uma média de 9,88 MPa, indicando que, apesar de o aumento da quantidade de fibras poder causar segregações, quando bem incorporadas, essas fibras promovem ganhos expressivos na resistência à flexão.

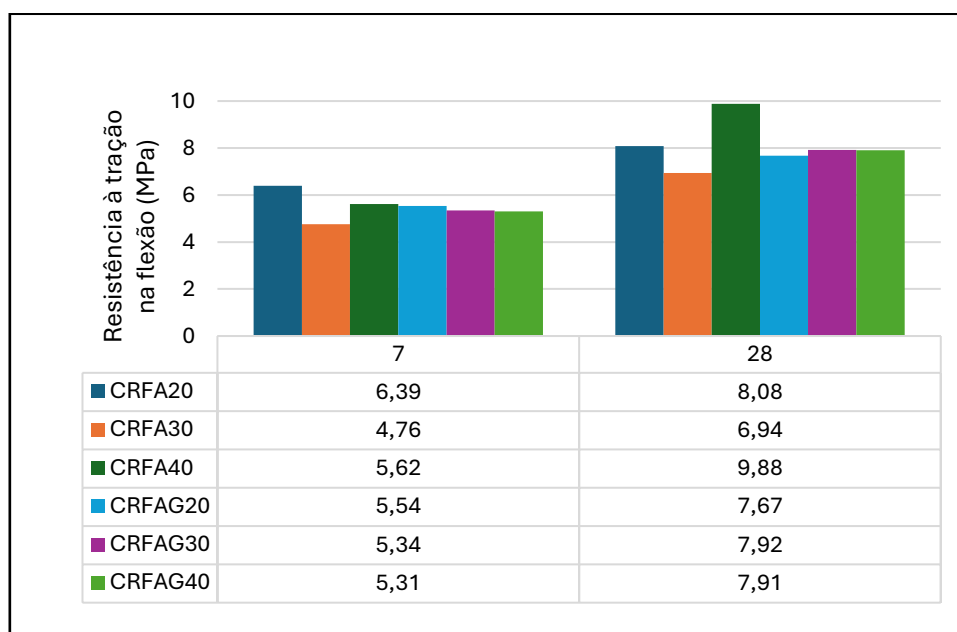
Nota-se que, no teor de 30 kg/m<sup>3</sup>, o CRFAG superou o desempenho do CRFA, apresentando um ganho de 14,14%, o que pode indicar uma melhor compactação ou dispersão das fibras de arame nesse teor, diferentemente do que ocorreu nos demais níveis. Este resultado demonstra o potencial do arame galvanizado como alternativa

viável às fibras de aço em determinadas condições de dosagem e preparo.

Por outro lado, nos teores de 20 e 40 kg/m<sup>3</sup>, o CRFAG apresentou desempenho inferior ao do CRFA, especialmente no maior teor, com redução significativa de 19,96%. Esse comportamento reforça a hipótese de que, para o arame galvanizado, teores muito elevados comprometem a homogeneidade da matriz e a atuação eficiente das fibras na contenção de fissuras.

O gráfico 4, demonstra o aumento da resistência à tração na flexão, ao longo da idade de ensaio.

Gráfico 4: Evolução da resistência à tração na flexão com o tempo.



Fonte: Autor (2025).

Os ensaios de resistência à tração na flexão de 4 pontos, realizados em concretos reforçados com fibras de aço (CRFA) e arame galvanizado (CRFAG), com teores de 20, 30 e 40 kg/m<sup>3</sup>, aos 7 e 28 dias, revelaram diferenças significativas no comportamento mecânico dos materiais. A análise dos dados permite observar que, em geral, o CRFA apresentou desempenho superior ao CRFAG, especialmente em idades mais avançadas, corroborando os resultados obtidos nos ensaios anteriores.

Aos 7 dias, o CRFA20 registrou o maior valor de resistência (6,39 MPa), seguido pelo CRFAG20 (5,62 MPa), indicando que, mesmo em idades iniciais, as fibras de aço proporcionam um reforço mais eficiente. No entanto, o CRFA30 e o CRFA40 apresentaram valores inferiores (4,76 MPa e 5,54 MPa, respectivamente), sugerindo que,

para teores mais elevados, a dispersão das fibras pode não ser tão eficaz nesta fase inicial. O CRFAG30 e o CRFAG40 mantiveram valores próximos (5,34 MPa e 5,31 MPa), demonstrando que o aumento do teor de fibras de arame galvanizado não resultou em ganhos significativos nesta idade.

Aos 28 dias, observou-se um aumento generalizado na resistência à tração na flexão para todos os materiais, com destaque para o CRFA40, que atingiu o maior valor (9,88 MPa). Este resultado indica que, com o avanço da cura, as fibras de aço em maior teor passam a contribuir de forma mais efetiva para a resistência do concreto. O CRFA30 também apresentou melhora significativa (6,94 MPa), embora ainda abaixo do CRFA40, enquanto o CRFA20 alcançou 8,08 MPa. Por outro lado, os concretos com fibras de arame galvanizado (CRFAG) tiveram desempenho inferior, com valores variando entre 7,67 MPa (CRFAG20) e 7,92 MPa (CRFAG30 e CRFAG40). A pequena variação entre os teores de CRFAG sugere que o aumento da quantidade de fibras de arame galvanizado não proporciona melhoras expressivas na resistência à flexão, mesmo em idades mais avançadas.

A comparação entre os dois tipos de fibras reforça a superioridade das fibras de aço, especialmente em idades mais avançadas. Enquanto o CRFA40 apresentou um aumento de aproximadamente 78% na resistência entre 7 e 28 dias (de 5,54 MPa para 9,88 MPa), o CRFAG40 teve um incremento de apenas 49% (de 5,31 MPa para 7,91 MPa). Essa diferença pode ser atribuída à maior capacidade das fibras de aço em redistribuir tensões e resistir à propagação de fissuras, características menos pronunciadas no arame galvanizado.

Além disso, o comportamento do CRFA40, que apresentou o melhor desempenho aos 28 dias, contrasta com os resultados obtidos em outros ensaios, onde o teor de 30 kg/m<sup>3</sup> mostrou-se mais eficiente. Isso sugere que, para a resistência à tração na flexão, teores mais elevados de fibras de aço podem ser vantajosos, desde que bem dispersos na matriz cimentícia. Por outro lado, o desempenho relativamente estável do CRFAG em diferentes teores indica que o arame galvanizado tem limitações intrínsecas que não são superadas apenas pelo aumento da quantidade de fibras.

## 6. CONCLUSÃO

Com base nos dados obtidos para os ensaios de resistência à compressão e tração na flexão, observa-se que o concreto reforçado com fibras de arame galvanizado (CRFAG) apresentou comportamento satisfatório, especialmente nos teores de 30 e 40 kg/m<sup>3</sup>. Em comparação ao concreto com fibras de aço (CRFA), o CRFAG demonstrou desempenho mecânico similar, com destaque para a resistência à tração na flexão aos 28 dias, evidenciando maior tenacidade e capacidade de dissipação de energia após a fissuração.

Além disso, a adição de fibras de arame galvanizado influenciou positivamente a coesão da mistura juntamente com o aditivo plastificante, sendo necessário uma quantidade menor de água a medida que o teor de fibras crescia. A resistência à compressão também apresentou um bom desempenho com o CRFAG30, indicando que o arame galvanizado contribui significativamente para o reforço da matriz cimentícia.

De forma para compreender melhor os resultados da pesquisa, as tabelas 27 e 28 resumem as resistências obtidas nos ensaios de compressão e tração na flexão.

Tabela 27: Resumo do ensaio de resistência à compressão.

Idade	CRFA			CRFAG		
	Teor (kg/m <sup>3</sup> )			Teor (kg/m <sup>3</sup> )		
	20	30	40	20	30	40
<b>3</b>	15,94	17,13	17,51	15,33	17,35	13,73
<b>7</b>	19,15	21,79	20,7	19,05	19,75	16,55
<b>14</b>	30,07	30,07	35,58	25,79	24,3	22,71
<b>28</b>	39,06	42,59	35,56	27,97	32,41	30,58

Fonte: Autor (2025).

Tabela 28: Resumo do ensaio de resistência à tração na flexão.

Idade	CRFA			CRFAG		
	Teor (kg/m <sup>3</sup> )			Teor (kg/m <sup>3</sup> )		
	20	30	40	20	30	40
<b>7</b>	2,13	1,59	2,03	1,85	1,78	1,77
<b>28</b>	2,69	2,31	3,29	2,56	2,64	2,64

Fonte: Autor (2025).

Portanto, os resultados indicam que o arame galvanizado é uma alternativa viável às fibras de aço, especialmente em contextos onde a redução de custos, a durabilidade e a sustentabilidade são fatores determinantes. A sua aplicação pode ser



expandida para elementos estruturais com baixa responsabilidade, pré-moldados ou estruturas expostas a ambientes agressivos, destacando-se como uma alternativa construtiva eficiente sob os aspectos técnicos e econômicos.

### **6.1. Estudos Futuros**

Diante dos resultados alcançados e considerando as limitações observadas neste estudo, propõem-se, para investigações futuras, as seguintes direções:

- Análise do concreto reforçado com arame galvanizado com idades de ensaio mais avançados, para a verificação da durabilidade com 90 ou 180 dias.
- Análise da durabilidade do concreto reforçado com arame galvanizado sob diferentes condições ambientais, com foco em ambientes agressivos, exposição a agentes químicos e ciclos alternados de umidade e secagem, a fim de compreender seu comportamento ao longo do tempo.
- Alterar a geometria da fibra e sua dimensão, optando-se por uma ancoragem ondulada e comprimento de 5 a 6 cm.
- Avaliação da viabilidade econômica da aplicação do arame galvanizado em substituição às fibras de aço em escala industrial, incluindo não apenas os custos dos materiais, mas também aspectos relacionados à mão de obra, logística e produtividade em obras reais.
- Investigação do desempenho do concreto reforçado com arame galvanizado utilizando os agregados graúdos mais comuns na região tocantina do Maranhão, como o seixo rolado, analisando possíveis variações nas características físicas, mecânicas e de trabalhabilidade do concreto.



## REFERÊNCIAS

AKTER, F. *et al.* An Experimental Study on Compressive Strength of Fiber Reinforced Concrete Using GI Wire. **ResearchGate**, 2023.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 544.4R**: guide to design with fiber-reinforced concrete. Farmington Hills, 2018.

ANDOFALTO, Rodrigo Piernas. **Desenvolvimento das técnicas de produção de blocos de concreto para alvenaria estrutural na escala 1:4**. 2002. 121 f. Dissertação (Mestre em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista, Ilha Solteira, 2002.

ARIF, Mohammed Adel. **Avaliação da medida de tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço**. 2014. 156 f. Dissertação (Mestrado em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738**: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Rio de Janeiro, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739**: Concreto – Ensaio de compressão de corpos-de-prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto. Rio de Janeiro, 2023.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7211**: Agregados para concreto – Especificação. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222**: Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos de prova cilíndricos. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 9775**: Agregado miúdo – Determinação do teor de umidade superficial por meio do frasco de Chapman – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 17054**: Agregados – Determinação da composição granulométrica – Método de ensaio. Rio de Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 11768**: Aditivos químicos para o concreto de cimento Portland. Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12142**: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Rio de Janeiro, 2010.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 12655**: Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento e aceitação – Procedimento. Rio de



Janeiro, 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 15530**: Fibras de Aço para o Concreto - Especificações. Rio de Janeiro, 2019.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16697**: Cimento Portland – Requisitos. Rio de Janeiro, 2018.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16889**: Concreto – Determinação da consistência pelo abatimento do tronco de cone. Rio de Janeiro, 2020.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 16972**: Agregados Concreto – Determinação da massa unitária e índice de vazios. Rio de Janeiro, 2021.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR NM53**: Agregado graúdo – Determinação de massa específica, massa específica aparente e absorção de água. Rio de Janeiro, 2009.

ASTM INTERNATIONAL. **ASTM C1609/C1609M-19** – Standard Test Method for Flexural Performance of Fiber-Reinforced Concrete (Using Beam with Third-Point Loading). West Conshohocken: ASTM International, 2019.

BENTUR, A.; MINDESS, S. **Fibre Reinforced Cementitious Composites**. 2. ed. London: Taylor & Francis, 2007.

BOLANDIM, Emerson Alexandro. **Lajes com forma de aço incorporada e concreto reforçado com fibras de aço em situação de incêndio**. 2021. F. Tese (Doutorado em engenharia civil) – Cursos de Engenharia Civil, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2021.

BRAZ, M. C. A.; NASCIMENTO, F. B. C. Concreto reforçado com fibras de aço. **Cardenos de graduação**, Maceió, v. 3, n. 1, Maceió, AL, nov. 2015.

COÊLHO, R. S. de A. **Concreto armado na prática**. 1. ed. São Luís: Uema, 2008.

CORDEIRO, C. A.; CABRAL, S. C. Estudo dos métodos de dosagem de concreto: ABCP e Caldas Branco. **Caderno Pedagógico**, v. 22, n. 5, e14693, 2025.

COSTA, Vivianne Machado. **Resíduo de britagem em substituição da areia natural em compósitos do tipo SHCC e sua aplicação como encamisamento de concretos**. 2024. 159 f. Dissertação (Mestre em estruturas) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2024.

DEWAGAN, M. N. *et al.* Experimental Study of Strength Properties of Galvanized Iron Fiber Reinforced Concrete. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJRASET)**, v. 12, n. 4, 2024.

DIAS, Raphael Fonseca. **Comparação da determinação da tenacidade do concreto reforçado com fibras de aço por meio do ensaio de abertura por encunhamento e da ASTM C1609**. 2018. 137 f. Dissertação (Mestre em engenharia civil) – Faculdade de Engenharia Civil, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia, 2018.



FONSÊCA, M. S. D. A. B., SOUZA, E. L., MEIRA, G. R. Análise da influência das reações entre o aço galvanizado e o concreto fresco na tensão de aderência do concreto armado. **Revista matéria**, João Pessoa, v. 28, n. 3, João Pessoa, PB, 10 ago. 2023.

GARCIA, J. R.; DE OLIVEIRA, I. R.; PANDOLFELLI, V. C. Processo de hidratação e os mecanismos de atuação dos aditivos aceleradores e retardadores de pega do cimento de aluminato de cálcio. **Cerâmica**, v. 53, p. 42-56, São Carlos, São Paulo, 2007.

GONÇALVES, B. H; LIMA, G. F. De.; RODRIGUES, G. J. Comportamento do concreto reforçado com fibras de aço carbono: resistência à compressão e tração por compressão diametral. **Revista científica multidisciplinar núcleo do conhecimento**. v. 6, p. 83-131. abr. 2019.

ISLAM, M. *et al.* Mechanical properties of twisted galvanized iron fiber reinforced concrete with different contents and pitches. **Construction and building materials**, v. 414, 02 feb. 2024.

MACIEL, Lucas Damas; COELHO, Adenilson Roberto; PEREIRA, Helena Ravanche Samy. Estudo das propriedades do concreto convencional com aditivo ou adição de água para a correção de consistência. **Revista matéria**. v. 25, n. 4, Joinville, SC, 14 fev. 2020.

MALEKI, H. *et al.* Bond behavior of steel fibers in ultra-high performance concrete: Experimental and numerical study. **Journal of Advanced Concrete Technology**, 2023.

MARTINS, Vanessa da Costa. **Otimização dos processos de dosagem e proporcionamento do concreto dosado em central com a utilização de aditivos: estudo de caso**. 2005. 198 f. Dissertação (Mestre em engenharia civil) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2005.

MEHTA, P. K.; MONTEIRO, P. J. M. **Concreto: microestrutura, propriedades e materiais**. 4. ed. New York: McGraw-Hill, 2008.

MEZA DE LUNA, J. L. *et al.* Experimental Evaluation of Galvanized and Annealed Wires to Produce Hooked Fibers as Reinforcement of Concrete under Flexion. **Pistas Educativas**, México, v. 41, n. 135, 2019.

NEVILLE, A. M. **Propriedades do Concreto**. 5. ed. São Paulo: Editora Pini, 2016.

PINHEIRO, L. M. **Fundamentos do concreto e projeto de edifícios**. São Carlos: EESC-USP. 2007.

ROCHA, L. N. *et al.* Estudo comparativo de desempenho entre o concreto convencional e o concreto com adições de fibra de aço. **Revista de engenharia e tecnologia**, v. 11, n. 4, 2019.

RODRIGUES, José Marcelo Morimã Lima. **Estudo dos efeitos do processo de refusão por laser de fibra em um aço SAE 1020 revestido com Carbetto de Tungstênio via HVOF**. 2019. 57 f. Monografia (Bacharel em engenharia mecânica) – Curso de Engenharia Mecânica, Universidade Federal do Pampa, Alegrete, 2019.



RODRIGUES, P. P. F. **Parâmetros de dosagem do concreto – ET-67**. 3ª edição. Associação Brasileira de Cimento Portland, São Paulo, 1998.

ROSSI, Fabrício. **Slump Test do concreto**. Pedreira, Belo Horizonte, 2018.

SANDOVAL, Gersson Fernando Barreto. **Desempenho do concreto poroso com agregados sustentáveis**. 2014. 122 f. Dissertação (Mestre em edificações e saneamento) – Centro de Tecnologia e Urbanismo, Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2014

SANTOS, Luis Gustavo Costa Nimos *et al.* **Aplicação de filmes de silanos VS/GPTMS modificados com caroço do abacate para a proteção contra a corrosão do aço galvanizado**. Ponta Grossa: Atena, 2021. 188 p.

SODRÉ NETO, Júlio Giorcelli. **Análise das propriedades mecânicas do concreto estrutural com adição de sobras de arame recozido liso**. 2020. 100 f. Monografia (Bacharel em engenharia civil) – Curso de Engenharia Civil, Unidade de Ensino Superior Dom Bosco, São Luís, 2020.

TEIXEIRA, Renata Baltazar. Análise da perda de resistência à compressão do concreto com adição de água para correção da perda de abatimento ao longo do tempo. **Revista de Iniciação Científica**. v. 5, n. 1, 2007.

VELASCO, Reila Vargas. **Concretos auto-adensáveis reforçados com elevadas frações volumétricas de fibras de aço: propriedades reológicas, físicas, mecânicas e térmicas**. 2008. 350 f. Tese (Doutorado em engenharia civil) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008.

WEIDMANN, Denis Fernandes. **Contribuição ao estudo da influência da forma e da composição granulométrica de agregados miúdos de britagem nas propriedades do concreto de cimento Portland**. 2008. 295 f. Dissertação (Mestre em engenharia civil) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina, Santa Catarina, 2008.

YOO, D. Y. et al. Effect of fiber-matrix interfacial properties on the flexural behavior of fiber-reinforced cementitious composites. **Materials**, v. 15, n. 11, 2022.

ZHAO, J. et al. Study on ITZ and fiber-matrix bond strength in hybrid fiber reinforced concrete. **Construction and Building Materials**, v. 337, 2022.