

## BARRA DE FIBRA DE VIDRO COMO ALTERNATIVA A BARRA DE AÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO ARMADO

### FIBERGLASS BAR AS AN ALTERNATIVE TO STEEL BAR IN REINFORCED CONCRETE STRUCTURES

Matheus Barbosa Maltez de Paiva<sup>1</sup>  
Jhonatan Anastácio da Conceição Alves<sup>2</sup>  
Mário Márcio Raymunda da Silva<sup>3</sup>  
Antônio Paulo de Oliveira Coelho Júnior<sup>4</sup>  
Claudio Bonfante de Oliveira<sup>5</sup>

**RESUMO:** O concreto é um material amplamente utilizado no mundo por sua gama de qualidades, como a facilidade de execução, baixo custo dos materiais, por apresentar um estado fluido pode variar em tamanho e formas, entre outros. Todavia o concreto apresenta algumas fraquezas, como baixa resistência a tração se comparado a compressão, vulnerabilidade quando solicitado à flexão ocasionando fissuras. Uma das soluções para minimizar suas fraquezas está na adição de barras de aço, formando a armadura que, cobertas pelo concreto resultam no concreto armado. Este artigo tem a finalidade de comparar as características entre as barras de fibra de vidro em relação a barra de aço convencional, visando apresentar suas vantagens e desvantagens em estruturas de concreto armado. Através da realização do ensaio de tração na flexão e revisão de literatura, foram apresentadas suas propriedades como modulo de elasticidade e resistência à tração, ruptura e corrosão. Com base nos resultados podemos afirmar que embora as barras de fibra de vidro apresentem algumas vantagens sobre a barra de aço convencional, sua baixa ductilidade e por não ter como realizar dobra, tornam seu uso inviável em estruturas de concreto armado.

**Palavras-chave:** Concreto. Barra de aço. Barra de fibra de vidro. Ductilidade. Resistência.

**ABSTRACT:** Concrete is a material widely used in the world due to its range of qualities, such as ease of execution, low cost of materials, as it is in a fluid state and can vary in size and shape, among others. However, concrete has some weaknesses, such as low tensile strength compared to compression, vulnerability when subjected to bending, causing cracks. One of the solutions to minimize its weaknesses is the addition of steel bars, forming the reinforcement that, covered by concrete, results in reinforced concrete. This article aims to compare the characteristics of fiberglass bars in relation to conventional steel bars, in order to present their advantages and disadvantages in reinforced concrete structures. By carrying out the traction test in flexion and literature review, its properties such as modulus of elasticity and resistance to traction, rupture and corrosion were presented. Based on the results, we can say that although fiberglass bars have some advantages over conventional steel bars, their low ductility and the fact that they cannot be bent make their use unfeasible in reinforced concrete structures.

**Keywords:** Concrete. Steel bar. Fiberglass bar. Ductility. Strength.

<sup>1</sup>Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>2</sup>Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>3</sup>Graduando em Engenharia Civil pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>4</sup>Esp. em Engenharia Civil e Docente pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

<sup>5</sup>Me. em Engenharia Civil e Docente pela Universidade de Vassouras, Vassouras, Rio de Janeiro, Brasil.

## INTRODUÇÃO

A indústria da construção civil é um dos setores mais importantes da economia brasileira, responsável por gerar empregos e movimentar a cadeia produtiva. Em constante desenvolvimento, suas edificações passam por diferentes etapas e uso de materiais, sendo o concreto armado (combinação do concreto simples com barras de aço) uma das principais técnicas utilizadas. De acordo com BARRETO (2009), a utilização da barra de aço é de suma importância no âmbito da construção civil, sendo um recurso oferecido para conferir resistência à tração em estruturas de concreto armado, incluindo vigas, pilares e lajes. Além disso, esse material confere às estruturas uma resistência notável também em relação à tensões, flexão, fissuração, entre outros.

Entretanto, seu uso pode gerar problemas como a corrosão, enfraquecendo as estruturas e elevando o valor de manutenção. A aplicação de novos materiais na construção civil, ainda que lentamente, vem gerando uma série de produtos que podem ser uma alternativa para este segmento, e os polímeros reforçados com fibras de vidro (GRFP), de acordo com a ACI 440.1R-2015 – Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars, possuem propriedades de elevada resistência à tração, resistência à corrosão e a ataques químicos, tem ganhado destaque como uma possível alternativa.

O uso de barras de fibra de vidro em estruturas de concreto armado vem se destacando neste século como um dos grandes avanços da Engenharia Civil, liquidando as desvantagens geradas pelo aço. Mesmo com todos esses benefícios, a barra de fibra de vidro ainda é pouco conhecida no Brasil e pesquisas sobre este tema são amplamente realizadas nos países desenvolvidos, especialmente nos Estados Unidos e na Europa.

Este artigo tem como objetivo analisar através de ensaios de tração na flexão as propriedades mecânicas, entre barras fabricadas em aço e fibra de vidro, com o intuito de comparar e discutir as vantagens e desvantagens das mesmas, bem como suas sugestões de uso.

## REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

### Concreto

O concreto é um material oriundo da mistura de aglomerante, agregados e água, em proporções adequadas, podendo conter também aditivos químicos, com o intuito de modificar suas propriedades básicas. Atualmente, o concreto engloba um conjunto de

características que lhe assegura um espaço de destaque constituindo-se como o material mais utilizado para fim estrutural no mundo. De acordo com BASTOS (2019) as estruturas de concreto são habituais no mundo inteiro, a disponibilidade dos materiais constituintes (concreto e aço) e a facilidade de aplicação, explicam a larga utilização das estruturas de concreto, nos mais variados tipos de construção, como edifícios de pavimentos, pontes e viadutos, reservatórios, barragens, pisos industriais, pavimentos rodoviários e de aeroportos, paredes de contenção, obras portuárias, canais, etc.

O concreto, possui elevada resistência à compressão, tornando-se um importante material para ser aplicado em elementos estruturais expostos à compressão, como por exemplo os pilares, porém, a marcante fragilidade e pequena resistência à tração limitam o seu uso sozinho em componentes aplicados parcialmente ou totalmente à tração, como, vigas, lajes entre outros elementos fletidos. Buscando uma forma de contornar essa deficiência, o aço é adicionado simultaneamente com o concreto, sendo inserido na peça com a finalidade de resistir às tensões de tração, resultando no concreto armado, um formidável material para ser usado na estrutura de uma obra.

### **Barras de aço**

O aço é amplamente utilizado no Brasil e segundo o IBS (2008) os maiores consumidores de aço são os setores: automotivo, construção civil, fundição, máquinas e equipamentos, dentre outros. De acordo com uma pesquisa da Associação Brasileira de Construção Metálica (ABCEM), realizada em 2018, o setor da construção civil é o maior consumidor de aço no país. Somando-se o material produzido aqui e o importado, representa pouco mais de 34% do total.

Dentro da construção civil podemos encontrar a barra de aço na produção de vigas, pilares, lajes, fundações, entre outros elementos estruturais, sendo fundamental para conferir resistência, durabilidade às estruturas, garantindo a segurança e estabilidade para as construções em geral. Podemos encontrar o aço em três classes diferentes:

CA25 com resistência à tração mínima de 25 kgf/mm<sup>2</sup> (250 MPa). Corresponde aos vergalhões de superfície lisa em barras retas. Muito utilizado na construção de pisos e pavimentos, como barras de transferência;

CA50 com resistência à tração mínima de  $50 \text{ kgf/mm}^2$  (500 MPa). Sua superfície é nervurada, além de ser o mais utilizado em estruturas de concreto armado. Seu alto grau de deformação e suporte de carga oferecem grande segurança à estrutura;

CA60 com resistência à tração mínima de  $60 \text{ kgf/mm}^2$  (600 MPa). Com sua superfície também nervurada, é conhecido por sua elevada capacidade de resistência e excelente aderência, propriedades que previnem a fissuração do concreto. Assim como o CA-50, possui alta soldabilidade. É mais utilizado em estruturas pré-fabricadas, muitas vezes em conjunto ao CA-50.

### **Fabricação**

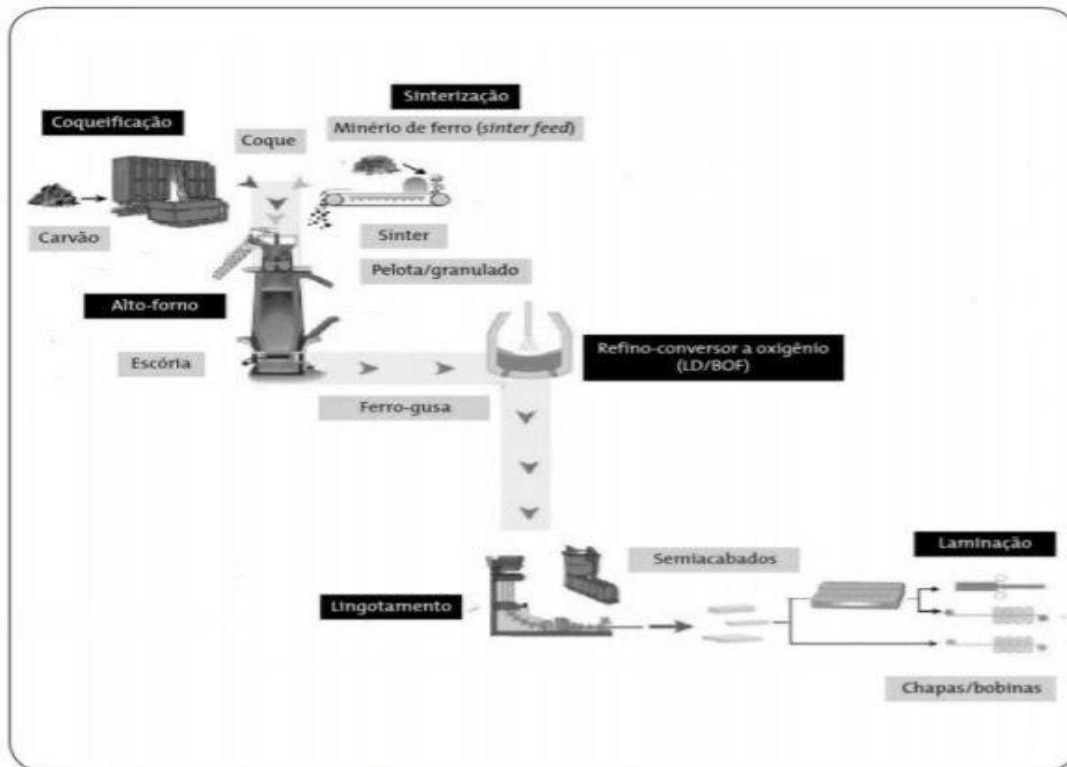
O método de fabricação de aço no Brasil deve respeitar os requisitos da NBR 7480 (Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado). Esta norma fixa as premissas estabelecidas para aquisição, fabricação e abastecimento de barras e fios de aço dedicados a armaduras para concreto armado.

Por ser um elemento estrutural utilizado em larga escala no Brasil, a obrigatoriedade do cumprimento da norma é o que traz segurança e garantia para o consumidor que ao fazer a compra do produto não sabe distinguir a diferença entre uma barra de aço de alta qualidade que atenderá às suas necessidades e uma barra de aço de baixa qualidade que pode trazer prejuízos estruturais e financeiros. Esse tipo de avaliação só pode ser feito em laboratórios especializados através de ensaios destrutivos. Seguindo essa linha de raciocínio é importante que todo processo produtivo passe por um monitoramento contínuo garantindo que as barras de aço atendam às determinações da norma.

Para a fabricação da barra de aço as usinas siderúrgicas trabalham com dois modelos: integrado e semi-integrado, que usam ferro gusa, ferro esponja ou sucata metálica, os convertendo em aço.

De acordo com ARAÚJO (2021), a usina integrada opera em três fases: redução (cujo objetivo é a fabricação do ferro-gusa); refino (produção e resfriamento do aço); transformação mecânica (produtos siderúrgicos destinados à comercialização).

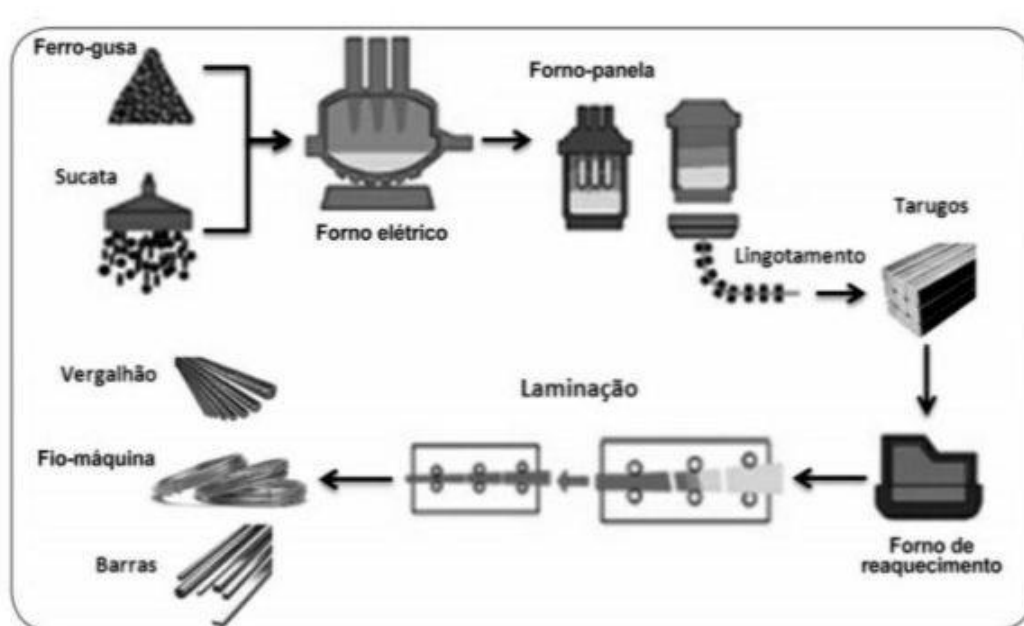
**Figura 1:** Rota de produção em unidades integradas a coque (alto-forno e LD/BOF)



Fonte: Carvalho, Mesquita e Araújo, 2015.

Semi-integrada, com duas fases de produção (refino e laminação) não possui etapa de redução, tem seu processo mais reduzido.

**Figura 2:** Processo de produção usina semi-integrada, a partir de aciaria elétrica (EAF)



Fonte: Carvalho; Mesquita; Araújo, 2015.

## Propriedades Mecânicas

Em geral, o aço apresenta ótimas propriedades mecânicas: é resistente à tração e à flexão. Além disso, por ser um material homogêneo, o aço pode ser laminado, forjado, estampado, estriado, podendo até mesmo ter suas propriedades alteradas por tratamentos térmicos ou químicos.

Na construção civil, o interesse maior recai sobre os chamados aços estruturais de média e alta resistência mecânica, termo designativo de todos os aços que, devido à sua resistência, ductilidade e outras propriedades, são adequadas para a utilização em elementos da construção sujeitos a carregamento CBCA (2014).

TABELA 1: Propriedades do aço e suas características

Propriedade	Característica
<b>Ductilidade</b>	É a capacidade do material de se deformar plasticamente sem se romper e é definida pela extensão do patamar de escoamento. Nas estruturas metálicas, esta característica é de extrema importância pelo fato de permitir a redistribuição de tensões locais elevadas. Desse modo, as peças de aço sofrem grandes deformações antes de se romper, constituindo um aviso da presença de tais tensões. Além disso, a ductilidade é uma propriedade que torna o aço resistente a choques bruscos.
<b>Tenacidade</b>	É a capacidade do material de absorver energia quando submetido à carga de impacto. É a energia total, elástica e plástica, absorvida pelo material por unidade de volume até a sua ruptura, representando a área total do diagrama tensão de formação. Logo, um material dúctil com a mesma resistência de um material frágil possui uma maior tenacidade, já que requer maior quantidade de energia para ser rompido.
<b>Elasticidade</b>	É a capacidade do material de voltar à forma original após sucessivos ciclos de carregamento e descarregamento. O aço sofre deformações devido ao efeito de tensões de tração ou de compressão. Tais deformações podem ser elásticas ou plásticas, devido à natureza cristalina dos metais através de planos de escorregamento ou de menor resistência no interior do reticulado. Os aços estruturais possuem um módulo de elasticidade da ordem de 205000 MPa, a uma temperatura de 20°C.
<b>Plasticidade</b>	É uma deformação definitiva provocada pelo efeito de tensões iguais ou superiores ao limite de escoamento do aço. Deve-se impedir que a tensão correspondente ao limite de escoamento seja atingida nas seções transversais das barras, como forma de limitar a sua deformação.

Fonte: Bandeira, 2008; Teobaldo, 2004

A corrosão é um problema comum no emprego do aço, e acontece quando o material fica exposto ao meio ambiente reagindo com o oxigênio e a umidade, esse fator pode comprometer a integridade da estrutura levando ao risco de colapso. Em ambientes altamente agressivos como aqueles com níveis elevados de cloretos, sulfatos, ácidos ou poluentes, a corrosão pode ser agravada. E de acordo com TEOBALDO (2004) fazendo com

que o material perca características essenciais como resistência mecânica, elasticidade, ductilidade, entre outras, além da redução da seção resistente.

A fadiga do aço é um outro fator que pode comprometer a segurança e a durabilidade das estruturas, é um fenômeno complexo e que depende de diversos fatores e está diretamente ligado a qualidade do aço e as condições de serviço da estrutura. Segundo TEOBALDO (2004) é influenciada principalmente pela amplitude de variação de tensões, pela frequência de aplicação das cargas, o chamado número de ciclos de carregamento e pela concentração de tensões na seção. A ruptura por fadiga ocorre sem deformações, não indicando a iminência do colapso.

### **Compósitos Poliméricos**

Segundo AMMAR (2014), um material compósito é definido como a combinação de dois ou mais materiais distintos para alcançar um novo material cujo desempenho geral é maior do que os componentes individuais. Esses materiais apresentam propriedades físicas e mecânicas superiores às da matriz polimérica isolada, como maior resistência mecânica, rigidez, resistência à tração e à corrosão. Os tipos de reforços fibrosos mais comuns são as fibras de vidro, carbono e aramida, enquanto os particulados podem incluir materiais como sílica, alumina e grafite. Os compósitos poliméricos são amplamente utilizados em indústrias como aeroespacial, automotiva, naval e de construção civil, devido às suas propriedades avançadas e à capacidade de serem moldados em formas complexas.

As vantagens da utilização de compósitos são: menor peso próprio, elevada resistência à tração e vida útil mais longa em comparação com as barras de aço tradicionais.

No caso exclusivo dos compósitos poliméricos reforçados com fibras (FRP), eles consistem basicamente em duas partes:

- I) Fibras, que são os elementos que suportam a carga;
- II) A matriz, que garante a coesão das fibras, a retransmissão das 32 cargas aplicadas nas fibras e a proteção das fibras do ambiente externo NACER (2006).

### **Barras de fibra de vidro**

Os polímeros reforçados com fibra de GRFP (do inglês Glass Fiber Reinforced Polymer) são compostos por uma matriz polimérica (sendo mais comum a resina epóxi) reforçada com filamentos de fibra de vidro, formando uma “malha” que conferem alta

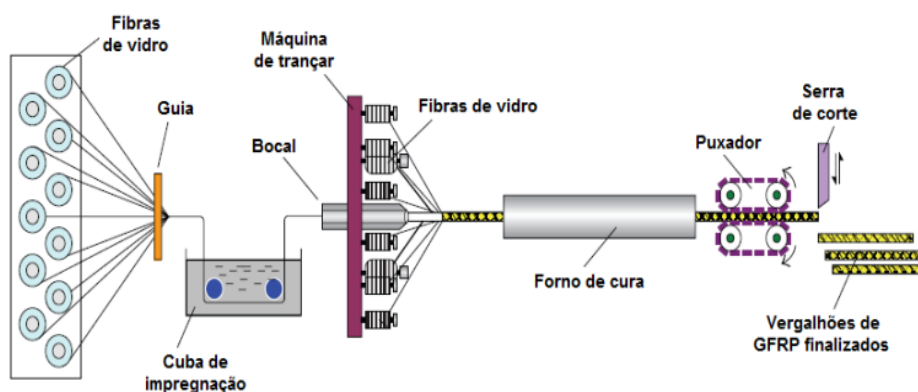
resistência mecânica e durabilidade as estruturas. Ainda não existe uma norma brasileira específica para que esse material seja aplicado como reforço de estruturas de concreto armado, porém, as barras de fibra de vidro (GRFP) estão se tornando uma alternativa promissora para substituir a barra de aço nas estruturas, já que possuem a mesma função. Entretanto, existem algumas características que os diferenciam quando são comparados, isso ocorre porque o GRFP possui propriedades como: menor peso, resistência a corrosão, não são condutores de energia e magnéticos, possuem menor custo de manutenção, além da facilidade de instalação.

Os polímeros reforçados com fibra de vidro (GRFP) têm sido amplamente estudados e utilizados em diversos países, mas a sua adoção ao mercado brasileiro da construção civil ainda está em baixa, já que existem poucas informações sobre esse material.

### Fabricação

O método de fabricação das barras de fibra de vidro ocorre pelo processo de pultrusão. Que consiste no carregamento dos filamentos de fibra de vidro por uma máquina em direção a uma cuba de impregnação, onde é injetada uma resina termofixa revestindo os filamentos de fibra de vidro criando a combinação destes materiais. Em seguida a máquina puxa os filamentos revestidos por um molde circular para moldar o material em uma forma específica. As barras com nervuras espirais passam por um mecanismo giratório onde as fibras de vidro são adicionadas em sua superfície para ganhar forma, logo em seguida o material é aquecido, sendo finalizado com o procedimento de corte com o tamanho desejado, como podemos ver na figura a seguir.

**Figura 3:** Fabricação dos Vergalhões de PFRV com nervuras



**Fonte:** Moura, 2021



É importante ressaltar que a metodologia de confecção dos polímeros reforçados com fibra de vidro (GRFP) variam conforme cada empresa e o modelo de barra que será produzido. Entretanto é a técnica mais utilizada, sendo também a mais comum na produção deste tipo de material.

### Propriedades mecânicas

MARTYNOVA e CEBULA (2018), classificam as particularidades intrínsecas das fibras de vidro, da seguinte forma:

- M (Modulus): alta elasticidade;
- C (Chemical): alta resistência química;
- E (Electrical): baixa condutividade elétrica;
- S (Strength): alta resistência;
- D (Dielectric): baixa constante dielétrica;
- A (Alkali): alto teor de metais alcalinos, vidro de cal e sódio;
- AR (Alkali resistant): alta resistência aos álcalis; e
- ECR (Electrical chemically resistant): alta resistência em ambientes com ácidos.

As barras de fibra de vidro (GRFP) apresentam uma resistência a tração superior as barras de aço, tal propriedade é importante para a garantia da estabilidade e a segurança das estruturas em situações de esforços axiais. Em contrapartida apresenta módulo de elasticidade menor em comparação com o aço, provocando grandes deformações para baixos níveis de tensão de tração nas peças. A Norma ASTM D7957 (ASTM, 2017) estabelece valores mínimos de resistência à tração para as barras de GFRP, conforme tabela.

**Tabela 2:** Classificação dos vergalhões de GFRP conforme diâmetro e resistência à tração, de acordo com a ASTM D7957.

Designação dos vergalhões	M6	M10	M13	M16	M19	M22	M25	M29	M32
Diâmetro (mm)	6,3	9,5	12,7	15,9	19,1	22,2	25,4	28,7	32,3
Área da seção transversal (mm <sup>2</sup> )	31,2	70,9	126,7	198,6	286,5	387,1	506,7	646,9	819,4
Resistência à tração (MPa)	866,1	832,4	757,8	654,7	635,2	622,6	586,1	564,2	533,3

**Fonte:** Adaptado da ASTM D7957 (2017).

É necessário enfatizar que a durabilidade das barras GFRP podem ser afetadas em determinados ambientes e condições de exposição. Em ambientes alcalinos a fibra de vidro

pode sofrer corrosão química, constantes ciclos de gelo/degelo afetam sua durabilidade devido a penetração de água em fissuras da estrutura, altas temperaturas podem levar à deformação ou falha estrutural, e a exposição à radiação ultravioleta podem causar degradação dos polímeros que compõem o material. Esses fatores somados levam à redução da resistência mecânica da fibra de vidro ao longo do tempo.

A possibilidade de deterioração das barras de GFRP podem ser influenciadas por diversos fatores como o modelo de fibra e matriz utilizadas, método de produção, e ambiente de exposição. A avaliação da durabilidade das barras de GFRP em estruturas de concreto armado é uma tarefa complexa, e que exige um estudo profundo, considerando as diferentes condições de uso e exposição ambiental que podem afetar o desempenho do material.

De acordo com MICELLI e NANNI (2004), o desempenho das barras de GFRP é reduzido devido às interferências ambientais, mecânicas ou à combinação destas, como pode ser verificado na Figura

**Figura 4:** Fatores que podem interferir na durabilidade dos vergalhões de GFRP



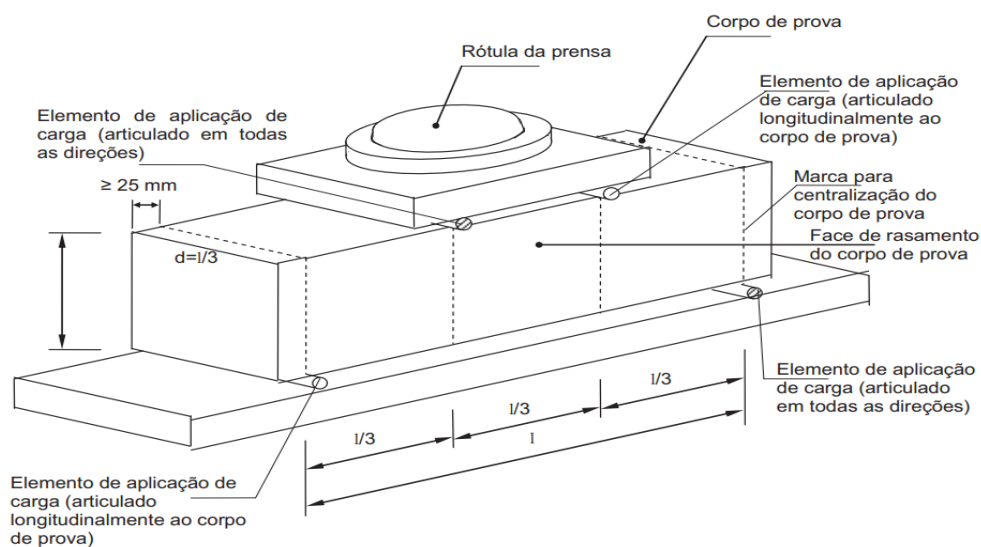
Fonte: Moura, 2021

## Materiais e métodos

Para a realização deste trabalho foi utilizado um ensaio a flexão de dois pontos, de acordo com a NBR 12142 (Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos). O ensaio consiste em aplicar uma carga em uma área específica do corpo de prova prismático, com o propósito de gerar uma curva de carga x

deformação e, através dela, determinar a resistência à tração na flexão, comparando respectivamente a resistência entre as barras de aço e fibra de vidro.

**Figura 5:** Dispositivo auxiliar para a realização do ensaio a ser acoplado em máquinas que não sejam equipadas para esta finalidade.



**Fonte:** ABNT NBR 12142

Para confecção dos corpos de provas foi utilizada a NBR 5738 (Concreto — Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova), que estabelece os procedimentos para moldagem e cura de corpos de prova de concreto utilizados para ensaios de resistência mecânica. Seguindo as recomendações da norma, foram confeccionados oito corpos de prova prismáticos, sendo quatro contendo barras de aço, e quatro com barras de fibra de vidro, com dimensões de 10 x 10 x 35 cm conforme a tabela 3.

**Tabela 3** – Dimensões do corpo de prova e vão de ensaio

Dimensão básica mm	Comprimento mínimo mm	Vão de ensaio <sup>a</sup> mm
100	350	300
150	500	450
250	800	750
450	1400	1350
<sup>a</sup> Conforme ABNT NBR 12142		

**Fonte:** ABNT NBR 5738:2015

Foi utilizado um traço na proporção de 1:2:3, e um fator de água/cimento de 0,61 (L/Kg) para se obter um concreto de 25 MPa.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Seguindo os dados apresentados pelo ensaio a flexão de dois pontos, de acordo com a NBR 12142 (Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos) conseguimos extrair as seguintes informações:

### Tensão de ruptura x Carga de Ruptura

De acordo com as tabelas 4 os corpos de prova contendo barras de fibra de vidro apresentaram uma tensão média de ruptura de 10,8 MPa e uma carga média de ruptura de 3.673 kgf, enquanto as barras de aço apresentaram uma tensão média de ruptura de 9,3 MPa e uma carga média de ruptura de 3.175 kgf. Indicando que as barras de fibra de vidro apresentam um desempenho melhor na relação tensão de ruptura x carga de ruptura comparado as barras de aço, o que evidencia uma capacidade maior de resistir as cargas aplicadas em estruturas de concreto armado.

**Tabela 4:** Resistencia dos corpos de prova a tensão de ruptura x carga de ruptura

#### Dados cadastrais do corpo de prova

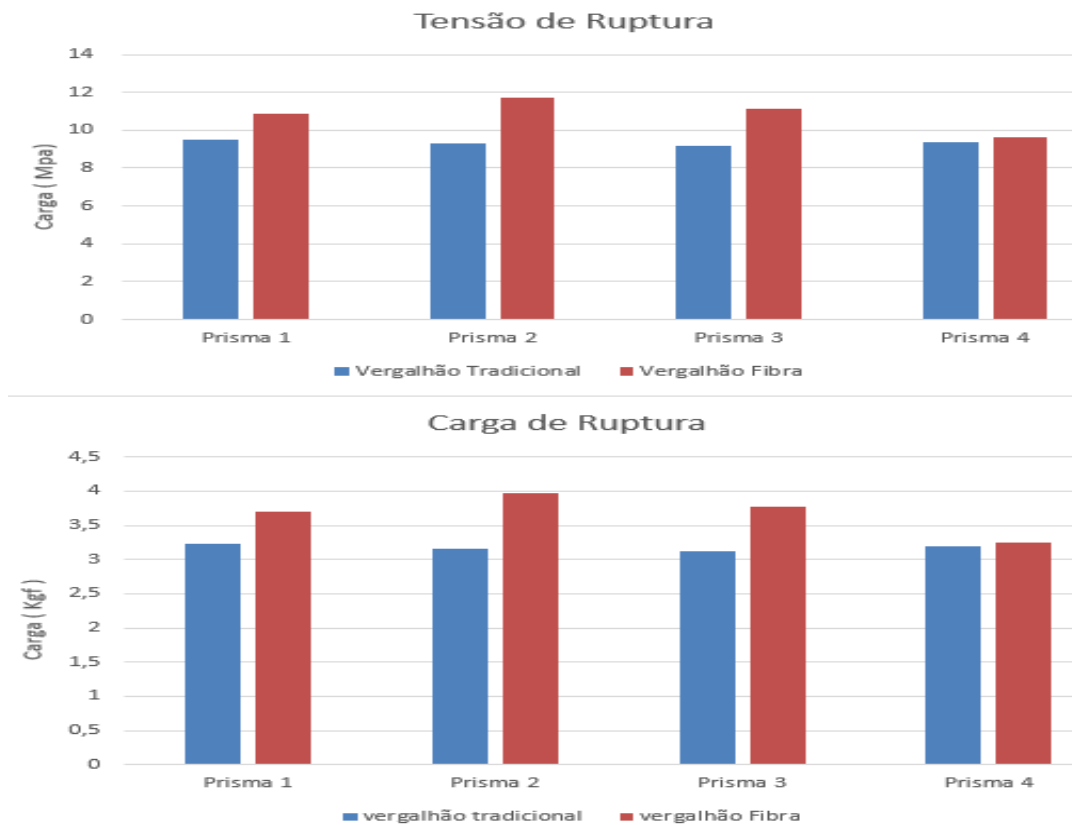
Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
01 FIBRA	28	10,9(MPa)	3.700(kgf)
03 FIBRA	28	11,7(MPa)	3.970(kgf)
04 FIBRA	28	11,1(MPa)	3.770(kgf)
05 FIBRA	28	9,6(MPa)	3.250(kgf)
<b>Média:</b>		<b>10,8(MPa)</b>	<b>3.673(kgf)</b>

#### Dados cadastrais do corpo de prova

Nome C.P.	Idade	Tensão Ruptura	Carga Ruptura
01 AÇO	28	9,5(MPa)	3.230(kgf)
02 AÇO	28	9,3(MPa)	3.160(kgf)
03 AÇO	28	9,2(MPa)	3.120(kgf)
04 AÇO	28	9,4(MPa)	3.190(kgf)
<b>Média:</b>		<b>9,3(MPa)</b>	<b>3.175(kgf)</b>

Fonte: Próprio autor

**Gráfico 1:** Resistencia dos corpos de prova a tensão de ruptura x carga de ruptura



Fonte: Próprio autor

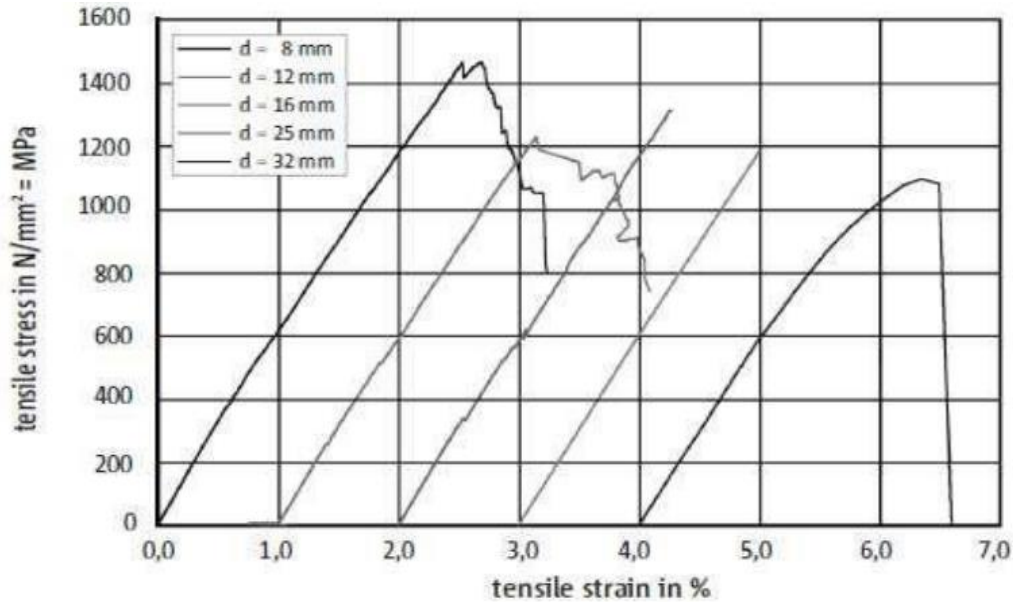
### Módulo de elasticidade

O módulo de elasticidade é uma medida que estabelece a relação entre a tensão aplicada a um material e a consequente deformação. Em outras palavras, ele quantifica a capacidade de um material em resistir à deformação quando submetido a uma força externa.

Em um ensaio realizado pela Universidade de Toronto (2009) avaliou que a relação entre tensão e deformação em barras de fibra de vidro com diferentes diâmetros, a figura 6 demonstra que todas as barras de fibra de vidro experimentaram ruptura abrupta. Essa observação indica que o material possui um módulo de elasticidade baixo, com uma média de aproximadamente 55 GPa, tornando-o suscetível à fragilidade nessas condições específicas.

Devido ao seu módulo de elasticidade reduzido, as barras de fibra de vidro revelam uma capacidade limitada para resistir a deformações antes de ocorrer a ruptura, caracterizando-o como um material frágil quando submetido a essas condições de ensaio.

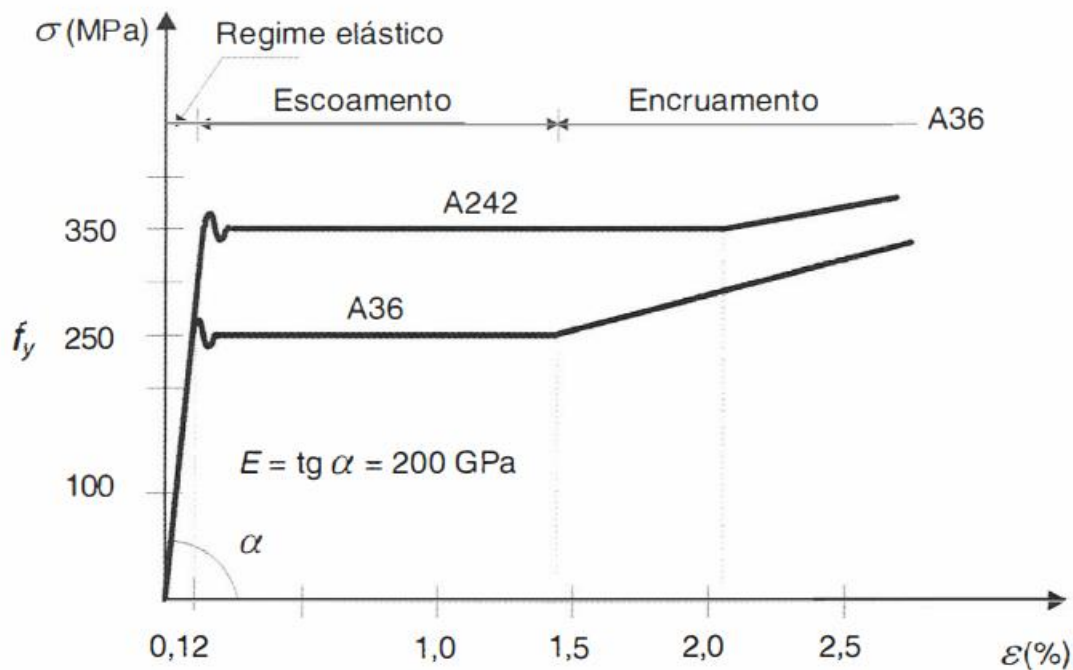
Figura 6: Diagrama de tensão e deformação médias por diâmetro.



Fonte: CATEB, 2011

De acordo com Walter Pfeil (2008) o módulo de elasticidade  $E$  é praticamente igual para todos os tipos de aço, variando entre  $200.000 < E < 210.000$  Mpa (200 GPa).

Figura 7: Trecho inicial dos diagramas tensão X deformação dos aços com patamar de escoamento.



Fonte: Pfeil 2008

Como podemos observar, o módulo de elasticidade do aço é maior que do barras de fibra de vidro, desta forma quando o aço é exposto a esforços o material apresenta uma boa deformação plástica antes de romper, avisando que a estrutura pode entrar em colapso, já a barra de fibra de vidro quando exposta aos esforços apresenta uma pequena deformação e então se rompe, não apresentando um limite de escoamento adequado. Uma diferença sobre suas propriedades mecânicas que afetam a capacidade de suportar cargas nos materiais.

Segundo (MOURA, 2021) as barras de fibra de vidro possuem uma densidade entre 1250 e 2100 kg/m<sup>3</sup>, já a NBR 7480 nos diz que a densidade das barras de aço gira em torno de 7850 kg/m<sup>3</sup>. Observando esses dados de maneira simples podemos perceber que estruturas de concreto armado compostas com barras de fibra de vidro são bem mais leves se comparado com as barras de aço, o que diminui os esforços que tais estruturas tem que suportar.

As barras de aço sofrem com a corrosão devido a sua composição física, diminuindo a seção das barras comprometendo as estruturas. De acordo com Brown et.al. (2016) isso ocorre através de reações químicas com substâncias químicas que são encontradas no meio ambiente. Por outro lado, as barras de fibra de vidro são fabricadas por um material polimérico, tal elemento é capaz de resistir a corrosão, prevenindo uma patologia que é a principal geradora de colapsos em estruturas de concreto armado.

## CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos e as discussões relatadas anteriormente podemos concluir que os materiais possuem uma resistência parecida, com uma leve vantagem das barras de fibra de vidro sobre o aço convencional, desta forma podem ser usados bitolas menores para os esforços solicitados, reduzindo o custo de operação, porém mesmo possuindo uma resistência a tração superior ao aço convencional, as barras de fibra de vidro não apresentam uma deformação plástica e um módulo de elasticidade maior, devido a composição dos materiais utilizados para sua fabricação, o que fica evidente nos resultados obtidos. As propriedades físicas das barras de fibra de vidro propiciam uma resistência maior a agentes físicos externos como a corrosão quando comparado com o aço convencional. Desta forma as armaduras compostas com barras de fibra de vidro necessitam de uma espessura menor de cobrimento, o que garante uma economia de concreto e custo no canteiro de obras, se tornando um excelente material para ser usado em ambientes

altamente agressivos como áreas marítimas, diminuindo os custos de manutenção com problemas patológicos além de aumentar a vida útil das estruturas. A falta de normas técnicas específicas para o uso, e a fabricação das barras de fibra de vidro em solo brasileiro é um ponto negativo. Sendo necessário fazer o uso de normas estrangeiras como por exemplo a ACI 440.1R-15, além de ser um material pouco utilizado e estudado no Brasil, tornando difícil o acesso a estudos que sejam de fácil compreensão sobre o seu uso e durabilidade em estruturas de concreto armado, dificultando a sua utilização no ramo de engenharia civil no país.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. NBR 12142: Concreto – Determinação da resistência à tração na flexão de corpos de prova prismáticos. Disponível em: <https://www.target.com.br/produtos/normas-tecnicas/36187/nbr12142-concreto-determinacao-da-resistencia-a-tracao-na-flexao-de-corpos-de-prova-prismaticos>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. NBR 5738:2015: Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado. Disponível em: <http://www.ipaam.am.gov.br/wp-content/uploads/2021/01/NBR-7480-96-Barras-e-fios-de-aço-A70-para-armaduras-de-concreto.pdf>

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA NORMAS TÉCNICAS. NBR 7480: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova. Disponível em: <http://www2.uesb.br/biblioteca/wp-content/uploads/2022/03/NBR-5738-CONCRETO-PROCEDIMENTO-PARA-MODELAGEM-E-CURA.pdf>

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. ACI 440.1R-15: Guide for the Design and Construction Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars. Farmington Hills: Aci, 2015. 83 p.

AMMAR, Mohamed Amine. **Bond Durability of Basalt Fibre-Reinforced Polymers (BFRP) bars under freeze-and-thaw conditions**. 2014. 125 p. Dissertação de mestrado (Engenharia Civil) - Université Laval, [S. l.], 2014.

ARAÚJO, IGOR SARAIVA DE. **PRODUÇÃO BRASILEIRA DE AÇO E A COMPETITIVIDADE DO BRASIL NO PERÍODO DE 2016 A 2018**. Orientador: Prof. Dr. Pedro Araújo Pietrafesa. 2021. 66 p. Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado em Relações Internacionais) - Escola de Direito e Relações Internacionais da Pontifícia Universidade Católica de Goiás, [S. l.], 2021.

BARRETO, MATHEUS DE FARIA E OLIVEIRA. **Características Mecânicas de Vergalhões de Aço Auto-Revenido**. Orientador: Prof. Dr. Paulo Roberto Cetlin. 2009. 158 p. Dissertação de mestrado (Escola de Engenharia) - Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2009.



BASTOS, PAULO SÉRGIO. **ESTRUTURAS DE CONCRETO I: FUNDAMENTOS DO CONCRETO ARMADO**. UNESP - Campus de Bauru/SP: [s. n.], 2019. 89 p.

BROWN, Theodore L. **Química - A ciência central**. 13. ed. [S. l.]: Pearson, 2016. 1129 p.

MARTYNOVA, CEBULLA, E, H. Glass Fibers. In: MAHLTIG, KYOSEV, Boris, Yordan. **Inorganic and Composite Fibers: Production, Properties, and Applications**. 1st Edition. ed. [S. l.]: Elsevier, 2018. p. 131 - 163.

MICELLI, NANNI, Francesco, Antonio. **Durability of FRP rods for concrete structures**. Issue 7. ed. [S. l.: s. n.], 2004. 491-503 p. v. Volume 18.

MOURA, RUAN CARLOS DE ARAÚJO. **ANÁLISE DA DURABILIDADE DE ARMADURAS POLIMÉRICAS REFORÇADAS COM FIBRAS DE VIDRO SUBMETIDAS AO AMBIENTE ALCALINO E A ELEVADAS TEMPERATURAS**. Orientador: Prof. Dr. Daniel Vêras Ribeiro. 2021. 176 p. Tese (Pós-Graduação em Engenharia Civil) - Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia, [S. l.], 2021.

NACER, Redha. **ÉVALUATION DES PROPRIÉTÉS PHYSIQUES ET MÉCANIQUES DE LAMINÉS EN MATÉRIAUX COMPOSITES FABRIQUÉS PAR ENROULEMENT FILAMENTAIRE**. Orientador: Prof. Radhouane Masmoudi, P.ing., Ph.D. 2006. 145 p. Mémoire de maîtrise es sciences appliquées (Génie civil) - UNIVERSITÉ DE SHERBROOKE, [S. l.], 2006.

PFEIL, Walter. **Estruturas de aço: Dimensionamento prático de acordo com a NBR 8800:2008**. 8. ed. [S. l.]: LTC, 2009.

TEOBALDO, Izabela Naves Coelho. **"ESTUDO DO AÇO COMO OBJETO DE REFORÇO ESTRUTURAL EM EDIFICAÇÕES ANTIGAS"**. 2004. 148 p. Dissertação (Curso de PósGraduação em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia da Universidade Federal de Minas Gerais, [S. l.], 2004.