https://doi.org/10.4322/CBPAT.2022.078

Congresso Brasileiro de Patologia das Construções

BARRAS DE FIBRA DE VIDRO (GFRP) COMO UMA ALTERNATIVA INOVADORA

Adriana Sommer Rodrigues[1], Fernanda Pacheco[2], Hinoel Zamis Ehrenbring[2], Roberto Christ[2] e Camila Simonetti[3*]

*Autor de contato: cacaks@hotmail.com

[1] Especialista em Patologia e Perícia das Edificações, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[2] Instituto Tecnológico em Desempenho e Construção Civil, itt Performance, UNISINOS, São Leopoldo, Brasil
[3] Universidade Federal do Rio Grande do Sul, UFRGS, Porto Alegre, Brasil

RESUMO

A indústria da construção civil vem se defrontando com diversos materiais inovadores que, quando aplicados nos sistemas construtivos, possibilitam um melhor desempenho, produtividade e redução de custos. Em relação a estrutura de concreto armado, as manifestações patológicas como corrosão são um grave problema que acarreta custos adicionais para seu reparo e insegurança quanto a estrutura, por isso o emprego de materiais alternativos que atendam ao desempenho para o qual são aplicados é de extrema importância. As barras de GFRP (*Glass Fiber Reinforced Polymer*) são um exemplo de material que não apresenta corrosão, aumentando assim a vida útil de utilização. Esse trabalho tem como objetivo apresentar um referencial teórico quanto as propriedades que o GFRP apresenta, possibilitando acesso a informações necessárias para uma análise técnica de gestores e executores para um estudo da viabilidade do sistema em obras, analisando suas vantagens e desvantagens.
Palavras-chave: GFRP; corrosão; desempenho, material inovador.

ABSTRACT

The construction industry has been facing many innovative materials that, when applied in different construction systems, enable better performance, productivity and cost reduction. Regarding the reinforced concrete structure, pathological manifestations such as corrosion are a serious problem that entails additional costs for its repair, so the use of alternative materials that increase performance for which they are applied is extremely important. GFRP (Glass Fiber Reinforced Polymer) bars are an example of a material that does not corrode increasing its useful life. This work presents a literature revision as objective presenting the properties of the GFRP, making possible a technical analysis for designers and for executors, analyzing its advantages and disadvantages.
Keywords: GFRP; corrosion; performance, innovative material.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado se tornou uma técnica habitual pela sua praticidade, economia e pela robustez das estruturas construídas. Entretanto, o problema da corrosão das armaduras é tão grave quanto frequente, tornando um custo elevado para a manutenção dessas estruturas, e dependendo do comprometimento alcançado, inviável. Uma alternativa tecnicamente viável para mitigar esse problema é a utilização de armadura não-metálica, já que este material não está sujeito aos efeitos da corrosão, como ocorre com o aço. (WEIBULL; BASTOS; OLIVEIRA, 2021).

Estruturas de concreto armado, compostas de barras de aço e concreto, em ambientes agressivos, podem ter seu desempenho a longo prazo deteriorado devido à corrosão da armadura. Essa patologia pode reduzir a resistência e rigidez do aço, ocasionando a diminuição da capacidade da carga e durabilidade das estruturas de concreto armado, afetando sua segurança. (HUANG et al., 2021).

Segundo Brown, Lemay e Bursten et al. (2016), a corrosão representa a transformação de um metal em um composto metálico através de uma reação entre o metal e alguma substância no ambiente em que ele se encontra. A corrosão promove a perda de seção das peças de aço, podendo constituir em causa principal de colapso. Materiais constituídos por polímeros são conhecidos por possuírem uma maior resistência nesse sentido.

Assim, o objetivo desse artigo é realizar uma revisão bibliográfica sobre a aplicação da barra de fibra de vidro (GFRP) apresentando seu comportamento estrutural, desempenho frente as suas aplicações, propriedades mecânicas e propriedades físicas.

2. METODOLOGIA

A metodologia deste trabalho foi baseada em uma pesquisa bibliográfica e documental de experiências nacionais e internacionais, sendo as principais fontes consultadas para a elaboração da revisão artigos em periódicos científicos, livros, teses, dissertações e resumos em congresso.

Como se trata de uma revisão bibliográfica, não foi realizada pesquisa experimental acerca do tema. Os resultados são expressos em categorias de referencial teórico, sendo estas: definição, aplicação, produção, propriedades mecânicas e propriedades físicas.

3. REFERENCIAL TEÓRICO

3.1 Definição

Os polímeros reforçados com fibras de vidro (GFRP – *Glass Fiber Reinforced Polymer*) são formados pela combinação de dois ou mais materiais, sendo que dois deles são considerados os principais: a resina e as fibras de reforço. A resina epóxi funciona como um ligante das fibras de vidro, dispostas em modo unidirecional. (MADEIRA, 2020).

Os materiais compósitos são a combinação de uma matriz e um reforço, que compõem duas fases. Esses materiais quando combinados, apresentam um desempenho mecânico superior do que quando estão separados. Os compósitos GFRP são materiais poliméricos reforçados com fibra de vidro. (VARES, 2019).

No Brasil, recentemente, algumas indústrias iniciaram a produção das barras e telas de GFRP, porém não existem normas brasileiras que abordam o assunto. As barras de GFRP são pré-fabricados, têm uma seção circular e provêm de fibras de vidro de alta resistência alinhadas numa direção, sua geometria se apresenta através de um enrolamento em espiral, o que permite aumentar a capacidade de aderência nestes materiais compósitos. (ESTÊVÃO, 2017).

O primeiro país a normatizar uma norma de dimensionamento de estruturas com GFRP, foi o Canadá por meio da CSA S806 (2017). A norma fornece fatores parciais de resistência, não levando em consideração a redução de resistência, outra particularidade é que o projetista não leva em consideração a ruptura, mas sim o esmagamento do concreto. (RIBEIRO et al, 2016).

As barras de fibra impregnada por polímero, GFRP, são uma alternativa de armadura para o concreto armado. Estas barras são formadas por um núcleo de fibras (minerais ou sintéticas) estiradas de elevada resistência e impregnadas por uma matriz polimérica (resina). (COUTO, 2007).

3.2 Principais aplicações

A durabilidade do concreto armado está associada intimamente com a corrosão da armadura do aço, ocasionada por agentes deletérios. Perante esta perspectiva, as barras de GFRP se apresentam como uma alternativa promissora em substituição da armadura de aço. Outras vantagens que o material apresenta é de não ser magnético e muito menos condutor elétrico. (INEIA et al., 2021).

A substituição do aço pelo GFRP tornou-se uma alternativa devida as suas propriedades e por apresentar algumas vantagens comparado ao aço. Dentre as vantagens desse material, se destacam a leveza, resistência à tração, durabilidade em ambientes agressivos. Por se tratar de um material mais leve, com baixo peso específico, apresenta facilidade em manuseio e aplicação comparado ao aço.

O GFRP é muito utilizado em reforços estruturais, possui características de resistência à corrosão elevada resistência em ambientes com grande exposição a classes ambientais mais severas. Podem ser aplicadas como armadura ativa e passiva, contrapiso armado e estrutura mista.

Os compósitos de FRP são aplicados em construções de pontes rodoviárias, estruturas marítimas, tanques de armazenamento e principalmente em ambientes agressivos. Suas características como resistência à corrosão e alta resistência à tração são fatores que contribuem para a aplicação do material. (BENMOKRANE, 2016).

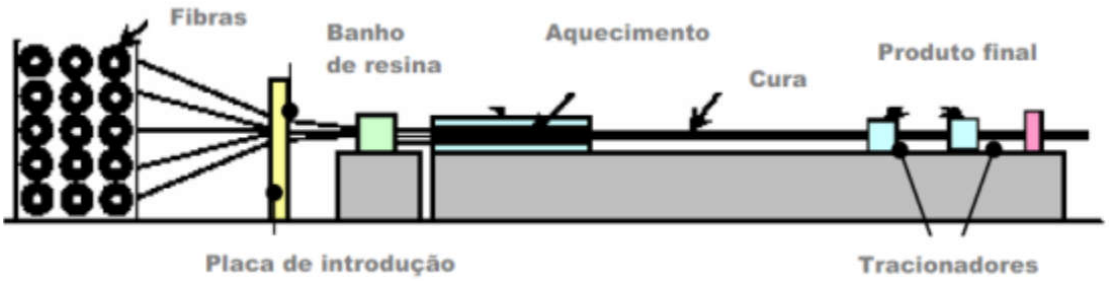
O uso da fibra de vidro já vem sendo aplicado em concretos e argamassas para aumentar a capacidade de deformação desses materiais e auxiliar na capacidade de resistir maiores solicitações de tração. Atualmente, também têm sido utilizadas a fim de se controlar a fissuração, em concretos e argamassas, decorrentes do processo de hidratação do cimento. (VARES, 2019).

Diversos países ao redor do mundo já possuem normas de dimensionamento de estruturas de concreto com armadura não metálica, que proporcionam maior aplicação dessa técnica em suas construções. No Brasil, a normatização desse material em estruturas de concreto ainda está em desenvolvimento, o que intensifica a necessidade de novos estudos sobre as barras de polímero reforçado com fibra. (DUARTE et al, 2021).

3.3 Processo de produção das barras

As barras passam por um processo denominado pultrusão, é um processo simples que consiste em alongar as fibras e impregná-las com resina. Após esse processo, os fios de fibra são passados por um bico compactador que forma a barra; a barra formada é então aquecida para começar uma reação exotérmica de endurecimento da resina. Feita a cura, a barra é tracionada e cortada no tamanho desejado (TAVARES, 2006). A Figura 1 a seguir mostra de forma simplificada o processo de pultrusão.

Figura 1 – Diagrama básico do processo de pultrusão



Fonte: Tavares (2006).

O processo de pultrusão engloba duas fases: numa primeira fase dá-se a impregnação das fibras de reforço e a aquisição da forma final num molde aquecido, enquanto a matriz se encontra no estado líquido. Numa segunda fase ocorre a solidificação da matriz no molde, obtendo-se um perfil com a forma e as dimensões desejadas. (CORREIA; BRANCO; FERREIRA, 2016).

Apesar de ser um processo relativamente simples, deve-se atentar aos diferentes parâmetros de fabricação na técnica de pultrusão, que podem influenciar o produto final, tais como a variação na velocidade de puxar as fibras, a temperatura e velocidade de cura, tipo de conformação superficial adotada etc. Em pesquisas microestruturais pode-se perceber que esses parâmetros influenciam diretamente na presença de vazios e defeitos em vários locais da seção transversal das barras de GFRP, sendo necessário desta forma a implantação de controles de qualidade rigorosos no seu sistema produtivo. (GOORANORIMI *et al*., 2017).

Na fabricação de estribos e barras dobradas, o processo é o mesmo para barras retas, porém são realizadas as dobras antes da etapa de acabamento e cura final. São fabricadas sem restrição ao comprimento final, sendo apenas ao local de aplicação e o transporte limitadores para o seu corte. (CUNHA, 2019).

Os sistemas adicionais possibilitam curvar o perfil, mas a forma da seção criada pela matriz é equivalente em todo o comprimento. Os pultrudados podem ser cortados nas dimensões pré-determinadas em projeto ou armazenados em bobinas. Esse sistema torna-se vantajoso pela continuidade do processo fabril e pela redução do desperdício na execução de obras. (BERTON, 2019).

3.4 Propriedades físicas

O coeficiente de expansão térmica das barras de GFRP varia da direção longitudinal para a direção transversal, pois depende dos tipos de fibra, resina e da relação volumétrica das fibras. O coeficiente de expansão térmica longitudinal é afetado pelas propriedades das fibras, enquanto o coeficiente transversal é afetado pelas propriedades das resinas. (RIBEIRO, 2009).

O coeficiente de expansão térmica está relacionado ao tipo de fibra e à quantidade dos materiais que compõem as barras. Na Tabela 1, a seguir, estão contidos valores típicos de coeficientes de expansão térmica. (TAVARES, 2006).

Tabela 1 – Coeficiente de expansão térmica

Direção	GFRP (10^(-6))/°C
Longitudinal	6,0 – 10,0
Transversal	21,0 – 23,0

Fonte: Tavares (2006).

O peso específico do compósito pode ser obtido em função do peso específico das fibras e da fração da matriz. A Tabela 2 a seguir, mostra o peso específico das barras com a variação do teor de fibras entre 50 a 70%. (TAVARES, 2006).

Tabela 2 – Peso específico típico para barras com teor de fibras entre 50-70%

Matriz	GFRP (kg/m³)
Poliéster	1.750 – 2.170
Epóxi	1.760 – 2.180
Vinil éster	1.730 – 2.150

Fonte: Tavares (2006).

Nas barras lisas, a resistência de aderência é muito pequena, e por esta razão, na maioria dos projetos de concreto armado elas aparecem providas de dispositivos de ancoragem, como dobras, ganchos ou barras transversais, além de serem revestidas em alguns casos de areia para aumentar a rugosidade. As barras de GFRP não possuem nervuras propriamente ditas, mas consideram-se acabamentos enrolados e trançados com fibra uma boa alternativa para garantir um pouco mais de aderência ao concreto em relação às barras lisas. (TEIXEIRA, 2018).

3.5 Comportamento anisotrópico

As barras de GFRP são de natureza anisotrópicas, possuindo elevada resistência à tração na orientação longitudinal as fibras. Contudo, tal comportamento anisotrópico afeta a resistência ao cisalhamento assim como a aderência junto ao concreto. (TAVARES, 2006).

São compostas por fibras longas embebidas em resina polimérica. São materiais anisotrópicos, tendo seu desempenho afetado pela direção de aplicação de tensão. Sendo assim, suas propriedades sob esforços longitudinais, são governadas pelas fibras enquanto sob esforços transversais, suas propriedades são governadas pela matriz polimérica. (SÁ, 2018).

A resina tem a função de envolver e aglutinar as fibras para garantir adequada transferência de tensões, proteger mecanicamente sua superfície durante a fabricação, manuseio e vida útil do compósito, além de protegê-las contra agressões ambientais e desgastes. Suas propriedades também devem conduzir a uma perfeita aderência entre as interfaces concreto / barra de FRP, além de proporcionar adequadas durabilidade e aplicabilidade ao compósito. (REIS, 2009).

3.6 Densidade

A massa específica das barras de GFRP são obtidas pela soma do volume da matriz polimérica e das fibras, multiplicado pelas respectivas massas específicas, como mostrado na Equação 1. (HEAD, 2015).

$$y_c = y_f x V_f + y_m x V_m \quad (1)$$

Onde:
Y_c = massa específica da barra de FRP;
Y_f = massa específica das fibras;
V_f = fração volumétrica de fibras;
Y_m = massa específica da matriz;
V_m= fração volumétrica de matriz.

As barras de GFRP, assim como barras de polímeros reforçados com fibras em geral, possuem uma densidade que variam de 1,25 g/cm³ a 2,10 g/cm³ o que em relação ao aço mostra-se de 4 a 6 vezes mais leves (Tabela 3). Tal diferença lhe confere menor custo de transporte e facilidade de manuseio, reduzindo o tempo empregado em sua instalação mostrando-se ser uma solução interessante a ser considerada junto a avaliação de viabilidade para armaduras estruturais. (MACHADO 2002).

Tabela 3 – Comparativo de densidades

Aço (g/cm³)	GRFP (g/cm³)	CRFP (g/cm³)	AFRP (g/cm³)
7,90	1,25 a 2,10	1,50 a 1,60	1,25 a 1,40

Fonte: (ACI 440.1R-15).
Legenda: GRFP = *glass fiber reinforced polymer*, CFRP = *carbon fiber reinforced polymer*, AFRP = *aramid fiber reinforced polymer*.

3.7 Propriedades mecânicas

Os materiais compósitos GFRP possuem grande rigidez e resistência especificas, não são corrosivos e são fáceis de serem aplicados. A matriz polimérica é a responsável por transferir as tensões entre as fibras da barra e o concreto adjacente, protegendo as fibras e danos mecânicos ou causados pelo meio ambiente. (COUTO, 2007).

As fibras de vidro possuem excelente resistência à fadiga, embora as resinas não possuam tal característica. Estudos demonstram que barras de fibra de vidro, de boa qualidade, possuem deformação adicional, em decorrência da fluência, estimada em 3% da deformação elástica inicial.

Quando submetidas a condições ambientais agressivas, as barras sujeitas a carregamentos constantes podem, eventualmente, falhar por fluência. A resistência ao cisalhamento dos compósitos reforçados com fibras é baixa, sendo assim as barras de fibra de vidro podem ser facilmente cortadas na direção perpendicular ao eixo longitudinal com o auxílio de serras comuns. (MACHADO, 2002).

3.8 Comportamento à tração

De forma geral, em comparação a barras de aço convencionalmente utilizadas como armaduras no concreto armado, barras de GFRP apresentam maior resistência a tração e menor módulo de

elasticidade. A Tabela 4 indica as propriedades mecânicas de tração para as barras GFRP, aço e demais fibras. (ACI 440.1R, 2015).

Tabela 4 – Comparativo de propriedades mecânicas

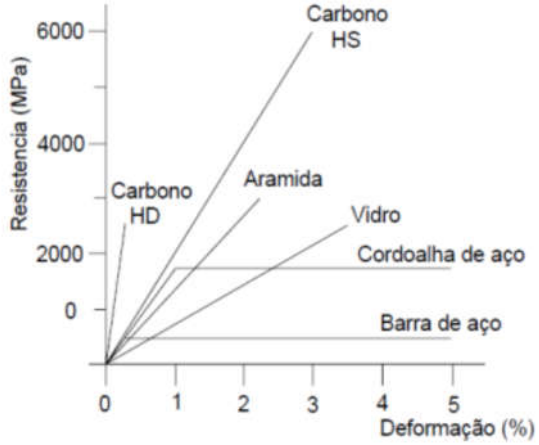
Propriedade / Matriz	Aço	GRFP	CFRP	AFRP
Tensão de escoamento (MPa)	276 a 517	-	-	-
Resistência à tração (MPa)	483 a 690	483 a 1.600	600 a 3.690	1.720 a 2.540
Módulo de elasticidade (GPa)	200	35 a 51	120 a 580	41 a 125
Deformação no escoamento (%)	0,14 a 0,25	-	-	-
Deformação na ruptura (%)	6 a 12	1,2 a 3,1	0,5 a 1,7	1,9 a 4,4

Fonte: ACI 440.1R, 2015.

Legenda: GRFP = *glass fiber reinforced polymer*, CFRP = *carbon fiber reinforced polymer*, AFRP = *aramid fiber reinforced polymer*.

Quando submetidos a um carregamento, as barras GFRP não contemplam comportamento plástico (escoamento) antes da ruptura. Tal comportamento à tração das barras GFRP é caracterizado por uma relação elástica linear de tensão deformação até a falha, as barras de GFRP e demais apresentam um comportamento elasto-frágil. As barras de GFRP quando carregadas, ao contrário das de aço, alcançam sua resistência última sem apresentar comportamento plástico (patamar de escoamento). Possuem comportamento elástico-linear e ruptura brusca, sem aviso prévio, como pode ser observado no gráfico tensão-deformação, apresentado na Figura 2. Isso gera um grande problema para a padronização da resistência última, pois esta depende da disposição e quantidade de fibras e, ainda, do tipo de resina em cada barra. (ACI 440 1R, 2015).

Figura 2 – Gráfico tensão *versus* deformação



Fonte: Couto (2007).

O diâmetro da barra influencia diretamente na sua resistência à tração devido ao efeito *Shear Lag*, que se caracteriza pelo fato de que as fibras mais próximas à superfície são submetidas a maiores tensões do que as fibras mais internas. (COUTO, 2007).

Vale ressaltar, também, que as barra de GFRP não podem ser dobradas após a fabricação (uma exceção a isso seria uma barra de GFRP com uma resina termoplástica que poderia ser remodelada com a adição de calor e pressão). As barras de GFRP no entanto, podem ser fabricadas com curvas, porém, neste caso, pode ocorrer uma redução da resistência de 40 a 50% em comparação com a resistência à tração de uma barra reta na porção de dobra devido às concentrações de flexão e tensão das fibras. (ACI 440.1R, 2015).

3.9 Módulo de elasticidade

Segundo o ACI 440.1R (2015), o módulo de elasticidade à tração das barras de GFRP é 75% menor do que as barras de aço. Na Tabela 5 pode-se verificar os parâmetros do GFRP em relação ao aço. O módulo de elasticidade é menor do que o do aço, ocasionando maiores flechas e abertura de fissuras nos elementos sujeitos à flexão. (CASTRO, 1997).

Tabela 5 – Comparativo de propriedades mecânicas entre aço e GRFP

Propriedade / Matriz	Aço	GRFP
Tensão à tração (MPa)	450 a 700	450 a 1.600
Módulo de elasticidade (GPa)	200	35 a 60
Deformação (%)	5 a 20	1,2 a 3,7

Fonte: ACI 440.1R, 2015.

3.10 Comportamento à compressão

As barras GFRP não se comportam tão bem à compressão quanto a tração. A resistência à compressão das barras de GFRP é inferior à resistência à tração e o mesmo ocorre com o módulo de elasticidade à compressão que é em torno de 80% menor que o módulo à tração. (ACI 440.1R, 2015).

A resistência a compressão das barras de GFRP não se comportam tão bem em comparação com a resistência a tração, pois a ruptura ocorre por meio de microfissuração das fibras assim sendo relacionada ao volume das fibras. Diferente da compressão a resistência ao cisalhamento é dada pela matriz, e normalmente tem uma baixa resistência. (MAZZU, 2020).

O modo de falha para barras de PRF sujeitas à compressão longitudinal pode incluir falha transversal à tração, microflambagem da fibra, ou falha por cisalhamento. O modo de falha depende do tipo de fibra, da relação volumétrica das fibras e do tipo de resina. (RIBEIRO, 2009).

3.11 Resistência ao cisalhamento

As fibras estruturais não se comportam tão bem quando solicitadas transversalmente. Por isto, nas barras poliméricas de fibra, a resistência transversal é basicamente devida à resina. As barras de GFRP possuem baixa resistência ao corte devido à orientação longitudinal das fibras e, por isso, a resistência ao cisalhamento depende basicamente da resina. (CUNHA, 2019).

Uma sugestão, dada pelo ACI, para aumentar a resistência transversal consiste em utilizar no compósito fibras adicionais não alinhadas com o eixo da barra, o que pode ser conseguido trançando-se ou enrolando-se fibras ou, também, pela incorporação de mantas durante o processo de pultrusão.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nos últimos anos a busca por materiais inovadores que apresentam um bom desempenho frente as suas aplicações aumentaram significativamente. A aplicação do GFRP se torna útil em estruturas sujeitas a ambientes mais nocivos, onde o aço não obteria um desempenho tão satisfatório, por

possuir maior suscetibilidade à corrosão, a utilização do GFRP proporciona maior vida útil à estrutura.

O uso das barras de GFRP são viáveis para substituição do aço em estruturas de concreto armado, porém é necessário levar em consideração as peculiaridades do material, havendo uma preocupação para o comportamento elástico linear até a ruptura e o baixo módulo de elasticidade, gerando uma deformação excessivas comparado ao uso de barras de aço.

Esse trabalho vislumbra incentivar novas pesquisas quanto ao assunto, buscando soluções para os problemas patológicos que hoje se apresentam, visando alternativas que sejam mais econômicas, sem comprometer a segurança e qualidade dos serviços.

REFERÊNCIAS

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). ACI 440.1R-15: **Guide for the Design and Construction of Structural Concrete Reinforced with Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Bars.** Detroit (USA): ACI, 2015.

BENMOKRANE, B. Recent developments of FRP bars as internal reinforcement in concrete structures & field applications**.** *In:* International Conference on Sustainable Construction Materials And Technologies**. Anais […]**. Las Vegas: p.1-10, 2016.

BERTON, K. M. **Investigação teórico-experimental de vigas armadas com barras de polímero reforçado com fibra de vidro (PRFV) submetidas à flexão.** 2019. 63 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Maria. Santa Maria, RS, Brasil, 2019.

BROWN, T. L. H. LEMAY, E., BURSTEN, B. E. **Química: a ciência central.** 13. ed. São Paulo: Pearson Education do Brasil, 2016.

CANADIAN STANDARDS ASSOCIATION. S806-12 (R2017): **Design and construction of building structures with fibre-reinforced polymers**. Toronto (Canadá): CSA, 2017.

CASTRO, P. F. Barras de FRP: avaliando o módulo de elasticidade não destrutivamente. **Polímeros**, v. 7, n. 2, p. 58-65, 1997.

CORREIA, J.; BRANCO, F.; FERREIRA, J.. Utilização de perfis pultrudados de fibra de vidro (GFRP) na construção. **Sistema**, v. 203, p. 190, 2006.

COUTO, I. A. **Análise teórica e experimental do comportamento da aderência entre o concreto e barras de fibra de vidro impregnada por polímero. 2007.** Dissertação (Mestrado em Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007. doi:10.11606/D.18.2007.tde-01102007-085339. Acesso em: 2022-04-04.

CUNHA, D. R. **Estudo da aderência de barras poliméricas reforçadas com fibras de vidro (GFRP) ao concreto.** 2019. 113 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas; Geotecnia; Construção Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2019.

DUARTE, I. O.; SANTOS, J. D. ; FUGIYAMA, M. M. ; FORTI, N. C. S. Caracterização do comportamento mecânico das barras de GFRP e BFRP. *In:* Brazilian Technology Symposium, 2021, Campinas. **Anais [...].** Smart Innovation, Systems and Technologies, 2021.

ESTÊVÃO, M. M. **Durabilidade de varões de GFRP para reforço de elementos de betão armado**. 2017. 152 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2017.

GOORANORIMI, O; SUARISA, W.; DAUERB, E.; NANNIA, A. et al. Microstructural investigation of glass fiber reinforced polymer bars. **Composites Part B**, v. 110, p. 388-395, 2017.

HEAD, M. E. A. **Stainless steel prestressing strands and bars for use in prestressed concrete girders and slabs**. Maryland State Highway Administration, Morgan State University, Department of Civil Engineering. Baltimore, 121 p. 2015.

HUANG, Z. et al. Experimental and numerical study on concrete beams reinforced with Basalt FRP bars under static and impact loads**. Composite Structures**, v. 263, 2021.

INEIA, A., POL, W. O.; BRAUN, J. C. A, DA SILVA LOPES, L. (2021). Barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades: revisão bibliográfica. **Tecno-Lógica**, 25(2), 243-251. https://doi.org/10.17058/tecnolog.v25i2.16214

MACHADO, A. P. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono,** 1. ed. São Paulo, Pini, 2002.

MADEIRA, D. A. S. **Influência da degradação de GFRP na sua resistência mecânica - Exemplo de aplicação em muretes de alvenaria de tijolo**. 2020. 120 f. Tese (Doutorado) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Nova de Lisboa. Lisboa, Portugal, 2020.

MAZZÚ, A. D. E. **Estudo sobre a substituição de armadura metálica por barras de GFRP em vigas de concreto armadas à flexão quando submetidas ao ataque acelerado de íons cloreto.** 2020. 190 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Federal de São Carlos. São Carlos, SP, Brasil, 2020.

REIS, V. L. F. **Construção de estruturas de betão armado com varões de FRP.** 2009. 196 f. Dissertação (Mestrado em Materiais e Processos de Construção) - Universidade do Porto. Porto, Portugal, 2009.

RIBEIRO, B. C., et al. Análise teórica de vigas de concreto armadas com barras de plástico reforçado com fibras. **Revista Construindo**, v. 8, n. 02, julho/dezembro 2016.

RIBEIRO, S. E. C. **Análise da confiabilidade de vigas de concreto armado com plástico reforçado por fibras.** 2009. 152 f. Tese (Doutorado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Estruturas da Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, MG, Brasil, 2009.

SÁ, F. R. G. de. I**nfluência da adição de fibras de polipropileno no comportamento de elementos estruturais de concreto armado com barras de GFRP**. 2018. 100 f. Dissertação (Mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, PUC-Rio. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

TAVARES, H. D**. Análise teórica e experimental de vigas de concreto armadas com barras não metálicas de FRP.** 2006. 118 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, SP, Brasil, 2006.

TEIXEIRA, B. de A. C. **Avaliação do comportamento de vigas de concreto armadas com barras de fibra de vidro um estudo experimental**. 2018. 181 f. Dissertação (Mestrado em Estruturas; Geotecnia; Construção Civil) - Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2018.

VARES, R. S. **Estudo do reforço à flexão de vigas biapoiadas em concreto armado com barras de fibra de vidro.** 2019. 172 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Civil) – Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, RS, Brasil, 2019.

WEIBULL, J. K.; BASTOS, C. C. D. O.; OLIVEIRA, L. O. S. B. Análise modal e dimensionamento de uma passarela de concreto com GFRP. *In:* XII Congresso Brasileiro de Pontes e Estruturas, 2021. **Anais [...].** Congresso virtual: Sociedade Brasileira de Planejamento Estratégico, 2021.