



UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DO SEMI-ÁRIDO
PRÓ-REITORIA DE GRADUAÇÃO
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIAS E CIÊNCIAS AMBIENTAIS
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

WELLERY JADSON PEREIRA MOURA

**O USO ESTRUTURAL DA FIBRA DE VIDRO IMPREGNADA POR
POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – O ESTADO DA ARTE**

MOSSORÓ

2022

WELLERY JADSON PEREIRA MOURA

**O USO ESTRUTURAL DA FIBRA DE VIDRO IMPREGNADA POR
POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – O ESTADO DA ARTE**

Monografia apresentada à Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientadora: Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira, Profa. Dra.

MOSSORÓ

2022

© Todos os direitos estão reservados a Universidade Federal Rural do Semi-Árido. O conteúdo desta obra é de inteira responsabilidade do (a) autor (a), sendo o mesmo, passível de sanções administrativas ou penais, caso sejam infringidas as leis que regulamentam a Propriedade Intelectual, respectivamente, Patentes: Lei nº 9.279/1996 e Direitos Autorais: Lei nº 9.610/1998. O conteúdo desta obra tomar-se-á de domínio público após a data de defesa e homologação da sua respectiva ata. A mesma poderá servir de base literária para novas pesquisas, desde que a obra e seu (a) respectivo (a) autor (a) sejam devidamente citados e mencionados os seus créditos bibliográficos.

M929u Moura, Wellery Jadson Pereira Moura.
O uso estrutural da fibra de vidro impregnada
por polímeros na construção civil ? o estado da
arte / Wellery Jadson Pereira Moura Moura. - 2022.
62 f. : il.

Orientadora: Christiane Mylena Tavares de
Menezes Gameleira Gameleira.
Monografia (graduação) - Universidade Federal
Rural do Semi-árido, Curso de Engenharia Civil,
2022.

1. GFRP. 2. Tecnologia. 3. Reforço estrutural.
4. Construção civil. I. Gameleira, Christiane
Mylena Tavares de Menezes Gameleira, orient. II.
Título.

Ficha catalográfica elaborada por sistema gerador automático em conformidade
com AACR2 e os dados fornecidos pelo(a) autor(a).
Biblioteca Campus Mossoró / Setor de Informação e Referência
Bibliotecária: Keina Cristina Santos Sousa e Silva
CRB: 15/120

O serviço de Geração Automática de Ficha Catalográfica para Trabalhos de Conclusão de Curso (TCC's) foi desenvolvido pelo Instituto de Ciências Matemáticas e de Computação da Universidade de São Paulo (USP) e gentilmente cedido para o Sistema de Bibliotecas da Universidade Federal Rural do Semi-Árido (SISBI-UFERSA), sendo customizado pela Superintendência de Tecnologia da Informação e Comunicação (SUTIC) sob orientação dos bibliotecários da instituição para ser adaptado às necessidades dos alunos dos Cursos de Graduação e Programas de Pós-Graduação da Universidade.

WELLERY JADSON PEREIRA MOURA

**O USO ESTRUTURAL DA FIBRA DE VIDRO IMPREGNADA POR
POLÍMEROS NA CONSTRUÇÃO CIVIL – O ESTADO DA ARTE**

Monografia apresentada a Universidade Federal Rural do Semi-Árido como requisito para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Civil.

Defendida em: 21 / 11 / 2022.

BANCA EXAMINADORA

Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira, Profa. Dra. (UFERSA)
Presidente

Raimundo Gomes de Amorim Neto, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

Valmiro Quefren Gameleira Nunes, Prof. Dr. (UFERSA)
Membro Examinador

*Dedico esse trabalho à minha
família e amigos, que contribuíram de
forma direta ou indireta para que esse
objetivo fosse realizado, sou muito
grato à todos*

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente aos meus pais: Raimundo Hélio Moura e Eliane Maria Soares Pereira, pois sempre buscaram oferecer o melhor possível, mesmo diante das dificuldades. Obrigado por ensinar que a vida não é fácil, e que para conquistar nossos objetivos temos que seguir ferozmente atrás dos mesmos. Também agradeço aos outros familiares, irmã, tios e tias, madrinha e padrinho, primos.

Agradeço fielmente aos inúmeros amigos que tenho na minha cidade natal, onde estes fazem parte do meu desenvolvimento pessoal e profissional, mediante todas as conversas, perspectivas de vidas, *network*, entretenimento. A pessoa que sou atualmente é o espelho das pessoas que convivi no passado e convivo no presente, mesmo com a distância de alguns, cada um procurando uma vida melhor.

Sou grato aos amigos que fiz na universidade, onde de à apenas colegas se tornaram amigos para toda uma vida. Foi muito bom ter essa experiência de vida com vocês, e torço fielmente para o desenvolvimento de todos e que cada um alcance seus objetivos, pois nós merecemos.

Também sou grato a minha namorada, Maria Eduarda Magalhães, que provavelmente foi a pessoa que esteve mais próxima de mim nesse trabalho e nessa reta final da graduação. Obrigado por contribuir de diferentes maneiras para o meu sucesso nessa jornada, é um prazer compartilhar a vida com você.

Agradeço a minha orientadora Professora Dra. Christiane Mylena Tavares de Menezes Gameleira, por toda a sua atenção dedicada e o conhecimento transmitido, auxiliando-me para que eu tivesse sucesso ao final desse trabalho. Além disso, agradeço ao professores presentes na banca e aos demais que tive aula na universidade, os quais são pessoas que tenho bastante admiração.

Também agradeço a UFERSA, por ter fornecido um curso com nota excelente no MEC e contribuído fielmente para o meu desenvolvimento para área da engenharia civil, saio muito satisfeito com toda a experiência que tive na universidade.

Por fim, sou grato a mim, que ao longo desses 5 anos sempre tive disciplina para correr atrás do meu objetivo, é mais uma conquista mediante a muitas que já obtive e outras que ainda estão por vim. O medo faz parte, mas ele também ajuda a ser disciplinado.

“Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado.”

Roberto Shinyashiki

RESUMO

A indústria da construção civil carece de novas tecnologias a serem empregadas no seu setor, o uso de alguns novos materiais juntamente com algumas tecnologias de produção podem proporcionar um desenvolvimento, apresentando um custo benefício para a estrutura, no âmbito de diminuição de custo e durabilidade. Nas últimas décadas pesquisadores vem sugerindo a utilização de materiais não metálicos no uso estrutural de uma construção. Essa substituição do aço por um material não metálico pode trazer benefícios, como imunidade a corrosão e não condutividade eletromagnética, que são problemas frequentemente encontrados na utilização do aço. Uma alternativa para esse problema exposto é a utilização da fibra de vidro impregnada por polímeros (GFRP). O seu uso é proposto nessa substituição do aço, ou como reforço estrutural na forma de manta, lâmina ou barra, podendo ser utilizado em vigas, pilares ou lajes no concreto. Essa nova tecnologia pode trazer vantagens para a construção como maior resistência a tração, baixo peso específico, resistência a corrosão, não condutividade térmica, elétrica e magnética, entre outros. Assim, com a verificação das propriedades mecânicas obtidas por meio de ensaios realizados em trabalhos anteriores, esse estudo busca analisar e validar a utilização do GFRP no setor da construção civil mediante uma revisão bibliográfica dos principais estudos e aplicações que compõe assim o estado da arte. E contribuir para disseminação dessa tecnologia, para que seja concebida a concepção de uma norma técnica brasileira para validar e assegurar o a utilização do GFRP.

Palavras-chave: GFRP; tecnologia; reforço estrutural; construção civil.

ABSTRACT

The construction industry lacks new technologies to be used in its sector, the use of some new materials together with some production technologies can provide a development, presenting a cost benefit to the structure, in the context of cost reduction and durability of the useful life. In recent decades, researchers have been suggesting the use of non-metallic materials in the structural use of a construction. Where this substitution of steel by a non-metallic material can bring benefits such as corrosion immunity and non-electromagnetic conductivity, which are problems often encountered in the use of steel. An alternative to this exposed problem is the use of polymer-impregnated fiberglass (GFRP). Where its use is proposed in this replacement of steel, or as a structural reinforcement in the form of blanket, blade or bar, and can be used in beams, pillars or slabs. This new technology can bring advantages to the construction such as higher tensile strength, low specific weight, corrosion resistance, non-thermal, electrical and magnetic conductivity, among others. Thus, with the verification of the mechanical properties obtained through tests carried out in previous studies, this study seeks to analyze and validate the use of GFRP in the construction sector through a bibliographic review of the main studies and applications that thus compose the state of the art. And serve as a collection to assist in the design of a Brazilian technical standard, to validate and ensure the use of GFRP.

Keywords: GFRP; technology; structural reinforcement; construction.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	–	Materiais do FRP	18
Figura 2	–	Processo de fabricação das barras de FRP	18
Figura 3	–	Reforço com FRP com a técnica NSM	23
Figura 4	–	Reforço com manta de FRP com a técnica EBR	24
Figura 5	–	Reforço com manta de FRP de forma contínua e intervalada	25
Figura 6	–	Reforço com lâminas de FRP com a técnica EBR	26
Figura 7	–	Túnel construído com concreto armado com GFRP	30
Figura 8	–	Estrutura pré-moldada construída com GFRP	30
Figura 9	–	Reforço com GFRP para evitar rachaduras	31
Figura 10	–	Fundação para forno de aço	31
Figura 11	–	Placa de base para leito ferroviário na Suíça	32
Figura 12	–	Construção subterrânea na Alemanha	32
Figura 13	–	Ponte de concessão no Canadá	33
Figura 14	–	Vergalhão de GFRP	34
Figura 15	–	Estrutura de fundação utilizando GFRP	35
Figura 16	–	Aderência mecânica em barras lisas e nervuradas	38
Figura 17	–	Ruptura da barra de GFRP no ensaio de tração	40
Figura 18	–	Ensaio de arrancamento da barra de GFRP	40
Figura 19	–	Processo de reforço dos pilares com manta de GFRP	42
Figura 20	–	Ensaio de resistência a compressão	43
Figura 21	–	Procedimento para ensaio das vigas	45
Figura 22	–	Ensaio de tração direta das barras	46
Figura 23	–	Deformações das vigas após os ensaios	53

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1	–	Comportamento aderência x deslocamento do ensaio de arrancamento	48
Gráfico 2	–	Comparação de aderência entre o concreto e as barras de GFRP e aço	49
Gráfico 3	–	Média dos pilares ensaiados	52
Gráfico 4	–	Comparação das forças nas vigas	54
Gráfico 5	–	Comparação entre os momentos nas vigas	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Propriedades das fibras segundo seu tipo	20
Tabela 2	– Propriedades das matrizes poliméricas	21
Tabela 3	– Propriedades mecânicas das de fibras de vidro usadas no GFRP	27
Tabela 4	– Propriedades das barras formadas com fibra de vidro-E e resina epóxi...	29
Tabela 5	– Características técnicas de comparação entre GFRP e o aço	36
Tabela 6	– Comparação entre barras ensaiadas e o fabricante	47
Tabela 7	– Tensão de aderência do ensaio de arrancamento e a NBR 6118	49
Tabela 8	– Resultados dos ensaios de compressão dos pilares	51
Tabela 9	– Comparação entre barras de aço e GFRP após ensaio de tração	56

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

FRP	Fibra reforçada com polímeros
GFRP	Fibra de vidro impregnada por polímeros
CFRP	Fibra de carbono impregnada por polímeros
AFRP	Fibra de aramida impregnada por polímeros
NSM	<i>New surface mounted</i>
EBR	<i>Externally bonded reinforcement</i>
UFSCar	Universidade Federal de São Carlos
ELU	Capacidade última de resistência
kN	Quilo Newton

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	14
1.1	Considerações iniciais	14
1.2	Justificativa	15
1.3	Objetivos	16
1.4	Metodologia	17
2	FIBRAS REFORÇADAS COM POLÍMEROS	18
2.1	Tipos de FRPs	19
2.1.1	Os polímeros	21
2.2	Uso estrutural do FRP	22
2.2.1	Barras	22
2.2.2	Mantas	23
2.2.3	Lâminas	25
2.3	Fibras de vidro reforçadas com polímeros	26
2.3.1	Tipos de fibras de vidro.....	27
2.3.2	Propriedades físicas e mecânicas do GFRP	27
2.3.3	Aplicações com GFRP	29
3	SUBSTITUIÇÃO DAS BARRAS DE AÇO POR BARRAS DE GFRP	34
4	ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS GFRP EM ENSAIOS EXPERIMENTAIS	37
4.1	Estudo sobre aderência entre o concreto e o GFRP	37
4.1.1	Tipos de aderência	38
4.1.2	Desempenho de aderência	39
4.1.3	Ensaio de aderência	39
4.2	Estudos sobre reforço com GFRP expostos a ambiente de degradação	41
4.2.1	Pilares curtos reforçados com GFRP	41
4.2.2	Ambientes de intempéries	42
4.2.3	Ensaio de resistência à compressão	43
4.3	Estudo com vigas armadas com barras de GFRP	43
4.3.1	Programa experimental	44
5	RESULTADOS E DISCUSSÕES	47

5.1	Aderência das barras de GFRP ao concreto	47
5.2	Reforço com GFRP e ambientes de degradação	50
5.3	Vigas armadas com barras de GFRP	53
6	CONSIDERAÇÕES FINAIS	57
	REFERÊNCIAS	58

1. INTRODUÇÃO

1.1. Considerações iniciais

O setor da construção civil tem apresentado o uso de novas ferramentas tecnológicas ao longo de toda a sua história. Muitos materiais e combinações destes foram introduzidos ao longo do tempo, desde a madeira, a pedra, a utilização de tijolos, o emprego do cimento. Contribuindo para que hoje em dia existam diversas tecnologias empregadas no setor, como o concreto auto-adensável e os inúmeros tipos de aditivos.

Contudo, atualmente percebe-se que o âmbito da construção civil necessita do estudo de novas tecnologias para o seu desenvolvimento, seja no processo construtivo ou produtivo. Pode-se afirmar que essa indústria faz-se atrasada quando comparada a outros setores, principalmente pelo o fato de apresentar, em geral, uma certa resistência a mudanças. Ocasionalmente, muitas vezes, pela ineficiência de um controle de qualidade na obra, lentidão e a utilização de uma mão-de-obra não qualificada.

Nota-se principalmente problemas relacionados ao concreto armado quando exposto a ambientes agressivos, como em estruturas litorâneas, pontes, metrô, entre outros. Assim, conseqüentemente necessitando de uma maior manutenção, acarretando a diminuição da vida útil desses sistemas construtivos e toda a sua durabilidade (TAVARES, 2006).

Um produto que vem ganhando espaço e notoriedade no setor da construção civil é a fibra reforçada por polímeros, comumente chamado de FRP. Apresentando várias vantagens, como, por exemplo, imunidade a corrosão, alta resistência a tração, neutralidade eletromagnética, baixo peso próprio e concepção em geometrias diferentes.

As principais fibras utilizadas na construção civil são a de carbono, a de aramida e a de vidro. No qual essas fibras são envolvidas por uma matriz polimérica, onde frequentemente utiliza-se a de epóxi. Ademais, esses materiais quando combinados apresentam um sistema forte e adequado para diversos ambientes da construção civil.

Dentre as fibras apresentadas, a fibra de vidro vem obtendo espaço entre as demais, o *Glass Fiber Reinforced Plymer* (GFRP). Esse avanço dar-se pelo material demonstrar uma maior acessibilidade, com um valor de compra viável e com

parâmetros coerentes quando comparado as outras fibras citadas anteriormente, apresentando dessa forma um custo benefício sustentável.

A utilização da fibra de vidro impregnada por polímeros (GFRP) pode ser difundida em diversas etapas da construção, como na composição da estrutura, nas instalações e no acabamento. A sua aplicação nas instalações dar-se por meio dos quadros de distribuição de energia, das tubulações de água e esgoto, entre outros. Já no acabamento pode-se citar o seu emprego nos painéis de vedação, seja interno ou externo. Esses painéis proporcionam um isolamento termo acústico e a simplicidade de montagem em sistemas pré-fabricados de concreto ou aço (ORTENZI, 2007).

Já no uso estrutural, que é a aplicação em menor escala mas com maior empenho em estudos atualmente, o GFRP pode ser empregado na substituição do aço por barras de fibras de vidro no concreto armado. Além disso, no uso de mantas, placas ou barras de GFRP para o reforço estrutural de uma edificação. Desse modo, trazendo benefícios ao setor com o emprego de um material inerte a corrosão e a formação de campos eletromagnéticos.

Compreende-se que a resina epoxídica apresenta degradação significativa quando exposta às intempéries (ESCOBAL e DALFRÉ, 2017), podendo acarretar alguns problemas de degradação em elementos reforçados com esse material. Ademais, têm-se então a necessidade de estudar, analisar e compreender se a utilização do GFRP na indústria da construção civil é realmente viável e sustentável.

É de suma importância a averiguação de alguns parâmetros essenciais para que o seu emprego seja seguro, como resistência a tração, a compressão e ao cisalhamento, índice do módulo de elasticidade, comparação da aderência entre o concreto e o aço e o concreto e o GFRP. Assim como, o seu desempenho quando submetido a ambientes de degradação, como elevadas temperaturas, ambientes alcalinos e de corrosão, exposição a raios ultravioletas, entre outros.

1.2. Justificativa

Visto que o Brasil detém de um vasto litoral e um grande número de capitais presentes nesses locais, é nítido a dificuldade que o setor apresenta com a manutenção das armaduras de estruturas metálicas nesses ambientes. Além disso, é sabido dos problemas presentes em metrô, ocasionados pelas ondas eletromagnéticas que intensificam o processo de corrosão em estruturas metálicas.

Assim, os estudos do emprego de novas tecnologias nos setores exemplificados acima contribuíram para a sociedade, e o GFRP por ser um material não metálico pode-se adequar a situação retratada.

Contudo, justifica-se então a necessidade desse estudo da arte mediante a incompreensão de uma tecnologia que não vem sendo empregada com vigor no Brasil, mas que já é utilizada em construções de outros países como Estados Unidos e Japão. Trazendo assim novas alternativas e desenvolvimento para o setor da construção civil.

Nos últimos anos, algumas empresas tem investido na produção de barras e chapas de GFRP. No entanto, não houve a concepção de normas nacionais sobre a produção desses materiais. Esse trabalho, busca ao relatar a utilização da fibra de vidro impregnada por polímeros nas estruturas e reforços estruturais, apresentar informações sobre uma tecnologia que poderá ser empregada com veemência em um futuro próximo, buscando sempre uma melhor qualidade, segurança e sustentabilidade para o setor da construção civil no país.

1.3. Objetivos

Este trabalho teve como objetivo principal apresentar o atual estado da arte sobre a utilização da fibra impregnada por polímeros. No qual foi estudado especificamente a fibra de vidro impregnada por polímero (GFRP). Estudando a sua análise quando submetidas a forças e expostas a ambientes de degradação. Foi realizado, o comparativo com os materiais já utilizados para estrutura ou reforço estrutural, e por fim, validando se o seu emprego apresenta um custo benefício sustentável. E, como objetivos específicos:

- Apresentar formas do emprego, juntamente com as suas técnicas de execução, do GFRP na construção civil. Como no reforço estrutural, por meio de mantas, lâminas ou barras desse material, assim como o emprego diretamente como armadura principal da estrutura, na substituição do aço. Podendo essas aplicações ou reforços estruturais serem feitas em vigas, pilares ou lajes.
- Mediante a experimentos realizados em estudos anteriores e com os resultados obtidos, analisar e averiguar se a utilização dessa tecnologia

se apresentou adequada segundo os seus próprios parâmetros estabelecidos em normas, e estudar o seu comportamento quando estiver impregnada no sistema da construção.

- Abrir precedentes para que essa tecnologia, possam ser mais estudada em outros trabalhos. Visando auxiliar na criação de uma norma brasileira, para validar assim o GFRP como uma possível solução na área de estruturas e reforço estrutural, buscando o desenvolvimento do setor da construção civil.

1.4. Metodologia

A metodologia utilizada consiste principalmente em uma revisão bibliográfica, onde buscou-se os principais trabalhos publicados que tratam do assunto abordado, sendo em teses de mestrados e doutorados de universidades, em artigos de revistas renomadas, nas normas existentes, podendo ser na língua portuguesa ou não.

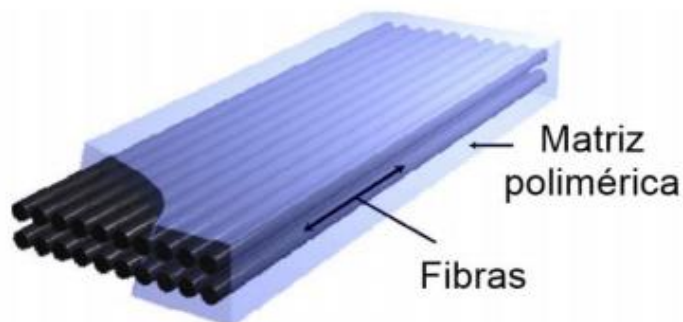
Posteriormente, fez-se a necessidade de apresentar os produtos e suas respectivas funções e importâncias, descrevendo sobre os tipos de fibras, as matrizes poliméricas e seus tipos, o vidro sob a forma de fibra, os tipos de fibra de vidro, a fibra de vidro impregnada com o polímero epóxi, as propriedades mecânicas das fibras reforçada com os polímeros, as formas de utilização e aplicação do GFRP na construção civil.

Mediante análise de experimentos laboratoriais realizados em estudos anteriores, buscou-se obter resultados das propriedades mecânicas do GFRP quando submetido a esforços e a ambientes agressivos. Desse modo, com esses dados fez-se a verificação dos parâmetros obtidos, observando se estes estavam de acordo com a normas estabelecidas. Ademais, foi realizada a comparação entre a tecnologia estudada e os materiais que são utilizados hoje no setor e se a sua utilização se torna viável.

2. FIBRAS REFORÇADAS COM POLÍMEROS

A fibra reforçada com polímeros é um compósito, pois com a união de dois materiais, que é a fibra e um polímero, têm-se um material de maior qualidade, com propriedades melhores do que as propriedades dos materiais em usos distintos. Na Figura 1 temos a exemplificação desse compósito.

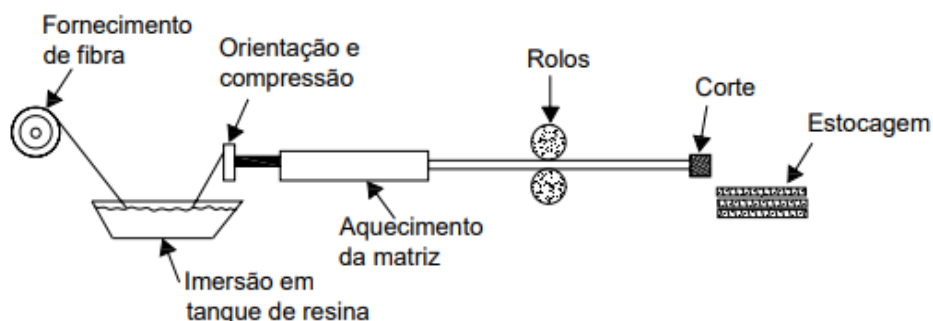
Figura 1: Materiais do FRP



Fonte: Oliveira (2019)

As barras de FRP são comumente fabricadas pelo processo de pultrusão como ilustra a figura 2. Nesse processo, como indica a norma estrangeira para a fabricação de barras de fibra, ACI 440 2R (2017), a fibra inicialmente imersa em um tanque de resina, após, esta é introduzida no sistema de compressão, aquecimento e modulação da mesma. Após esse processo ela segue para a formação do perfil, com a finalidade no qual o fabricante deseja fornecê-la.

Figura 2: Processo de fabricação das barras de FRP



Fonte: Tiguouart (1998)

É de conhecimento que em inúmeros momentos algumas construções que se deterioraram ao longo do tempo necessitam de um processo de reforço estrutural, ou apenas um reparo localizado na construção. Essa deterioração pode ser oriunda de diversos fatores, seja por um processo corrosivo, um fluxo de agentes intempéries não esperados, um erro de projeto ou de execução, falta de impermeabilização, entre outros fatores. Segundo Chastre (2014), uma das principais técnicas usadas para o reparo de estruturas é a adição de resinas epoxídicas nas fissuras, rachaduras, ou no local que apresenta a degradação.

Contudo, a fibra impregnada com esse polímero epoxídico pode ser utilizada em diversas situações de reforço estrutural, assim como no reparo da estrutura. Além disso, esse compósito também pode ser empregado na própria execução da estrutura, trazendo assim a potencialização de um material que está sujeito a proteção a ambientes de degradação que venham posteriormente a comprometer uso da construção.

2.1. Tipos de FRPs

Na construção civil, as fibras mais comumente encontradas e comercializadas são as fibras de carbono, aramida e vidro. Suas abreviações internacionais são CFRP, AFRP e GFRP, para carbono, aramida e vidro, respectivamente. Segundo Oliveira (2019), a fibra é o principal material responsável pela resistência dos FRPs, pois as estas possuem um comportamento elástico e linear até a ruptura do elemento, visto que elas possuem um módulo de elasticidade bem superior quando comparado a matriz polimérica utilizada.

Contudo, as propriedades das fibras e consequentemente do FRPs varia de acordo com o material escolhido. Na tabela 1 são apresentadas as propriedades das fibras segundo o seu tipo.

Tabela 1: Propriedades das fibras segundo o seu tipo

	<i>Fibra de carbono</i>				<i>Fibra de aramida</i>		<i>Fibra de vidro</i>	
	Carbono Poliacrílico Nítril		Carbono Pitch		Kevlar 49 Twaron	Tech-nora	Vidro-E	Vidro álcali resistente
	Alta resistência	Alto módulo de elasticidade	Comum	Alto módulo de elasticidade				
Resistência à tração (MPa)	3430	2450 - 3920	764 - 980	2940 - 3430	2744	3430	3430 - 3528	1764 - 3430
Módulo de deformação (GPa)	196 - 235	343 - 637	37 - 39	392 - 784	127	72,5	72,5 - 73,5	68,6 - 7
Alongamento (%)	1,3 - 1,8	0,4 - 0,8	2,1 - 2,5	0,4 - 1,5	2,3	4,6	4,8	4 - 5 2 - 3
Massa específica (g/cm ³)	1,7 - 1,8	1,8 - 2,0	1,6 - 1,7	1,9 - 2,1	1,45	1,39	2,6	2,27
Diâmetro (μm)	5 - 8		9 - 18		12		8 - 12	

Fonte: Uomoto (2002)

Na Tabela 1 é possível observar que as propriedades das fibras variam de acordo com o seu tipo, porém, em nenhuma das propriedades os valores mostraram-se muitos inferiores ou superiores, quando comparados aos outros tipos, não havendo grande discrepância.

Em muitos casos a fibra de carbono apresenta os valores das suas propriedades superiores as demais fibras, porém, a mesma também apresenta um custo considerável, o qual influencia muitas vezes na sua não aplicação no setor da construção civil.

Já a fibra de aramida apresenta uma baixa retração, densidade e condutividade elétrica. Quando comparado as demais fibras, ela possui propriedades e custos intermediários. Contudo, a fibra de aramida quando suscetível aos raios ultravioletas intensifica sua degradação. Esse fator faz com que a mesma também seja dificilmente utilizada no setor (CARNEIRO e TEXEIRA, 2008).

Ademais, a fibra de vidro apresenta propriedades mecânicas satisfatórias, com ressalvas no seu baixo módulo de elasticidade. Além disso, tem um custo acessível e um bom desempenho a ambientes corrosivos, por exemplo, gerando assim um custo benefício sustentável. Por esses e entre outros motivos a fibra de vidro é mais comumente utilizada no âmbito da construção civil, assim como é o objeto de estudo desse trabalho.

2.1.1. Os polímeros

A matriz polimérica é responsável pela proteção das fibras contra agentes externos ambientais e contra agentes mecânicos. Além disso, o polímero realiza a transferência das cargas e tensões entre as fibras e toda a estrutura (TAVARES, 2006).

Existem dois tipos de polímeros: as termorrígidas e as termoplásticas. São exemplos de termorrígidas o epóxi, o fenol, o poliéster, poliuretano e o silicone. Já para a termoplásticas temos o polietileno e o metacrilato de polimetila. Os polímeros termorrígidos são frequentemente utilizados por possuírem alta resistência a corrosão, baixa retração no processo de cura, baixa viscosidade e fluência. Já os termoplásticos apresentam altas resistências a impactos, porém, têm se a desvantagem de maior viscosidade.

Na Tabela 2 é possível observar as propriedades mecânicas das três matrizes poliméricas termorrígidas mais utilizados, o poliéster, o epóxi, e o vinil éster. Contudo, mediante a análise da tabela é possível verificar que a matriz epóxi mostra-se com parâmetros acima da média quando comparado aos demais. Por esse fator e pela maior facilidade de acesso, a matriz polimérica epóxi é mais comumente indicada e utilizada no setor.

Tabela 2: Propriedades das matrizes poliméricas

<i>Propriedades</i>	<i>Matriz</i>		
	Poliéster	Epóxi	Vinil Éster
Massa específica (g/cm ³)	1,20 – 1,40	1,20 – 1,40	1,15 – 1,35
Resistência à tração (MPa)	34,5 - 104	55 - 130	73 - 81
Módulo longitudinal (GPa)	2,1 - 3,45	2,75 - 4,10	3,0 - 3,5
Coefficiente de Poisson	0,35 - 0,39	0,38 - 0,40	0,36 - 0,39
Coefficiente de dilatação térmica (10 ⁻⁶ /°C)	55 - 100	45 - 65	50 - 75
Teor de umidade (%)	0,15 - 0,60	0,08 – 0,15	0,24 - 0,30

Fonte: FIB 9.3 TG (2003)

2.2. Uso estrutural do FRP

Como citado anteriormente, a fibra reforçada com polímero pode ser empregada diretamente no concreto armado da estrutura, na sua concepção inicial, ou na função de reforço estrutural quando a construção apresentar deteriorações e necessidade de recuperação. Além disso, tanto como armadura principal ou como no reforço, podem ser utilizadas fibras de vidro, aramida e carbono, assim como o polímero epóxi.

Desse modo, existem alguns métodos de aplicação das fibras reforçadas com polímeros na estrutura. Podendo ser na forma de barras, lâminas, ou mantas, seguindo assim suas técnicas de aplicação.

2.2.1 Barras

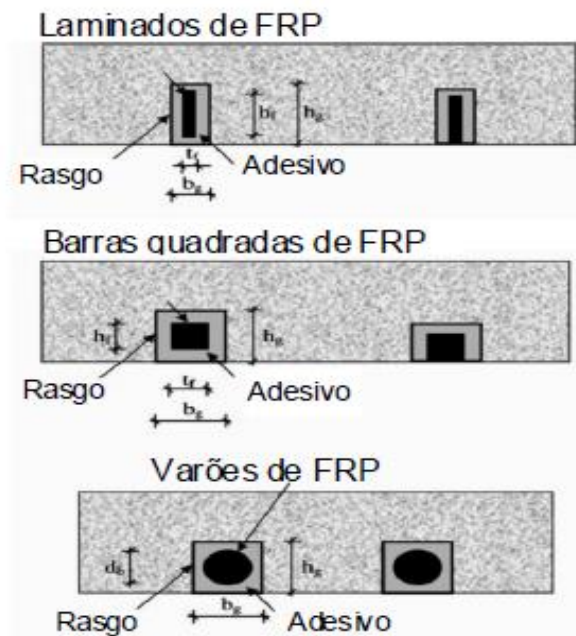
A aplicação no uso estrutural de barras de FRP na construção civil se dá de duas maneiras, seu uso no concreto armado na utilização inicial do projeto, e seu uso como reforço estrutural. Atualmente, utiliza-se com maior frequência as barras de GFRP como substituição das barras de aço, visto que se estas apresentarem propriedades mecânicas adequadas, trazem o benefício de serem inertes a corrosão por conta do seu reforço com polímeros.

Existem técnicas para a utilização de FRP como reforço estrutural da edificação, como a *Near Surface Mounted* (NSM), a qual é uma técnica que vem sendo comumente aplicada principalmente na Europa, mas que também têm sido estudada sua utilização no Brasil.

A técnica NSM tem a finalidade de reforçar as estruturas de concreto armado mediante a inserção de barras laminadas, quadradas ou redondas de FRPs, em rasgos realizados no comprimento da armadura (Martins, 2015). Mediante a constatação que a estrutura necessita de reforço, são feitos rasgos laminares na direção da armadura longitudinal do concreto armado, após isso são inseridas as barras de FRPs, e posteriormente essas serão inseridas dentro do concreto com o emprego do cobrimento sobre as barras.

Na Figura 3 é ilustrado o reforço com FRP aplicado com a técnica NSM, no qual é mostrado os três tipos, com barras laminadas, quadradas e circulares, com seus respectivos rasgos e o adesivo, que é a resina polimérica.

Figura 3: Reforço com FRP com a técnica NSM



Fonte: Azevedo (2008)

Contudo, a técnica NSM apresenta vantagens sobre as outras técnicas de aplicação, como a *Externally Bonded Reinforcement* (EBR), por estar confinado dentro do concreto e não sofrer agressões oriundas do meio externo. Além disso, apresenta uma maior área de contato entre o FRP e o concreto, favorecendo assim sua aderência (Oliveira, 2019).

Em um estudo realizado por Mantins (2015), mediante a análise de comparação entre as técnicas NSM e a EBR, no qual a EBR é mais comumente aplicada no Brasil há alguns anos, obteve-se resultados de que a técnica NSM apresenta superioridade de 12% no ensaio de resistência a tração na flexão.

2.2.2 Mantas

A aplicação de mantas de FRP nas estruturas da construção civil dar-se exclusivamente na utilização de recuperação da estrutura como reforço estrutural. No qual mediante a verificação de degradação de uma parte da estrutura, pode-se então realizar esse reforço com as mantas de GFRP, CFRP ou AFRP, aplicando-se assim a técnicas de utilização para o material.

As mantas de FRP são empregadas principalmente através da técnica a *Externally Bonded Reinforcement* (EBR). Segundo Mantins (2018), o método de

aplicação EBR é utilizado em lajes, vigas e pilares de concreto armado, onde neste são feitas colagens das mantas, lâminas ou tecidos do FRP.

Esse processo consiste em algumas etapas, como a limpeza da seção que será reforçada, aplicação da resina prime na mesma seção, posteriormente a colocação do FRP na estrutura. Essa metodologia é para reforçar a seção tracionada no caso de reforço a flexão, nas seções inferiores e laterais se o reforço for cisalhante e o encamisamento da seção se o reforço for em pilares submetidos a esforços axiais de compressão (DALFRÉ, 2013).

Na Figura 4 é ilustrado, passo a passo, o processo de aplicação da manta com técnica EBR. Nesse caso, é empregado a fibra de CFRP como exemplo, porém pode-se utilizar qualquer um dos três tipos de FRPs.

Figura 4: Reforço com manta de FRP com a técnica EBR



Fonte: Dalfré (2021)

Além disso, o reforço em pilares com mantas de FRP pode ser aplicado de forma contínua ou intervalada. De modo que no reforço contínuo todo o pilar sofre o encamisamento de sua seção e comprimento, garantindo dessa forma que o pilar aumente a sua ductilidade e sua capacidade de carga. Já no reforço intervalado o pilar

é coberto por faixas de FRP ao longo do seu comprimento, dessa forma têm-se uma economia em relação ao reforço contínuo (OLIVEIRA, 2019).

O pilar reforçado com a manta de FRP protege o concreto e consequentemente a armadura dos agentes externos, com sua barreira física. Contudo, a manta de FRP exposta a ambientes de degradação fará com que o sistema de reforço se deteriore mais rapidamente.

Na Figura 5 é exemplificado o reforço de pilares de concreto armado com a manta de FRP, onde no exemplo da esquerda é apresentado um reforço contínuo e o exemplo da direita é mostrado um reforço intervalado.

Figura 5: Reforço com manta de FRP de forma contínua e intervalada



Fonte: Oliveira (2019)

2.2.3 Lâminas

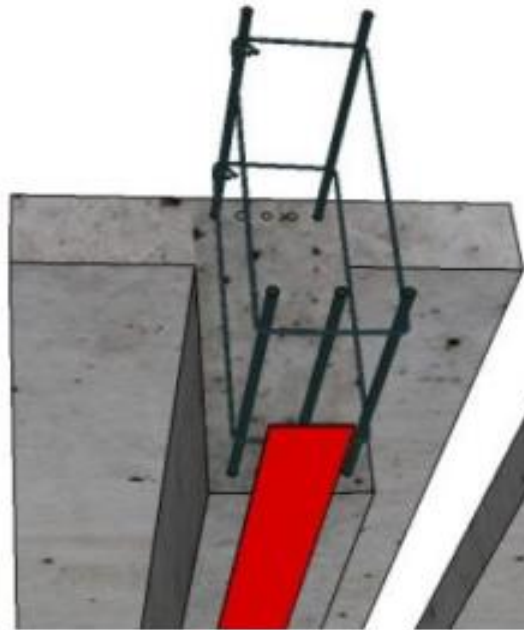
Já a aplicação de lâminas de FRP na estrutura é utilizada em sua maioria no emprego do reforço estrutural, quando a estrutura apresentar uma deterioração detectável. Porém, também pode ser empregado em barras laminadas como é mostrado na Figura 3.

Ademais, as lâminas de FRP se assemelham muito as mantas quanto a sua forma de aplicação, que é feito pelo método EBR, a sua exposição a agentes externos, e sua função de proteger o concreto e a armadura desses agentes. Porém, as lâminas de FRP estão posicionadas no comprimento da seção degradada, que necessita de proteção, desse modo não preenchendo toda a seção do concreto, seja da viga, pilar

ou laje. As lâminas de FRP também podem ser empregadas nos três tipos de fibras citados.

Na Figura 6 têm-se a exemplificação do reforço com lâminas de FRP em um pilar, seguindo a técnica de aplicação EBR.

Figura 6: Reforço com laminas de FRP com a técnica EBR



Fonte: Oliveira (2019)

2.3. Fibras de vidro reforçadas com polímeros (GFRP)

O GFRP é composto por uma junção de materiais, e posteriormente impregnados com uma resina polimérica. Essa tecnologia não é utilizada com frequência na construção civil brasileira, porém, sua utilização já tem maior abundância no Japão, Estados Unidos e Canadá, visto que esses já possuem uma norma estabelecida para validar e assegurar a sua aplicação.

O compósito do GFRP é um material anisotrópico, pois ele tem comportamentos mecânicos diferentes de acordo com a disposição relativa das suas fibras e resinas. Além disso, as suas propriedades variam de acordo com o tipo de fibra vidro empregado, volume de material e da aderência entre a fibra e a matriz polimérica utilizada (INEIA, 2021).

2.3.1. Tipos de fibras de vidro

A fibra de vidro vem sendo amplamente utilizada na construção civil, um dos fatores é o seu custo benefício em relação as outras fibras. As fibras de vidro que tem potencial para serem utilizadas no uso do GFRP e que estão sendo comercializadas atualmente são as fibras vidro-S, vidro-E e vidro-AR ou alcalino resistente. Na Tabela 3, é apresentada algumas propriedades mecânicas dessas fibras.

Tabela 3: Propriedades mecânicas dos tipos de fibras de vidro usadas no GFRP

Tipo de Fibra	Densidade	Resistência à tração	Módulo de Young	Deformação última	Coefficiente de expansão térmica	Coeficiente de Poisson
	kg/m³	MPa	GPa	%	10E-6/°C	
Vidro-E	2500	3450	72,4	2,4	5	0,22
Vidro-S	2500	4580	85,5	3,3	2,9	0,22
Vidro-AR	2270	1800-3500	70-76	2,0-3,0	-	-

Fonte: Adaptado da FIB TG 9.3 (2003)

Entre os tipos de fibras citados na tabela 03 (Propriedades mecânicas dos tipos de fibras usadas no GFRP), o vidro-E e o vidro alcalino resistente são os tipos mais comercializados no mercado e utilizados na composição do GFRP. Já o vidro-S é empregado principalmente na produção de materiais para a indústria espacial (ORTENZI, 2007). Alguns estudos antigos também apresentam um vidro-C, porém este segue em desuso, mediante que seus outros tipos são mais eficazes.

2.3.2. Propriedades físicas e mecânicas do GFRP

Existem algumas propriedades relevantes que devem ser estudadas, ensaiadas e analisadas, em um laboratório por exemplo, para que o compósito GFRP apresente-se em parâmetros relativamente adequados para que sua utilização seja validada no setor da construção civil. Contudo, as propriedades físicas e mecânicas do GFRP após a composição dos seus materiais é de suma importância.

Para obtenção das propriedades é necessário um estudo específico para cada uma delas. Segundo Tavares (2006), tem-se como propriedade física a densidade, que pode ser obtida através de uma relação entre as densidades de cada material que compõe o GFRP e a quantidade de material utilizada. Já no caso do coeficiente de expansão, pode-se ter o seu resultado mediante uma relação do tipo de fibra e o volume de materiais que compõem o GFRP. Além disso, o coeficiente de expansão térmica varia de acordo com a direção longitudinal ou transversal das fibras.

Ademais, as propriedades mecânicas do compósito GFRP como a resistência a tração e ao cisalhamento são características que influem diretamente na durabilidade e na capacidade de suportar cargas do material, então sua importância para a viabilização do GFRP é um dos principais fatores. Desse modo, os valores desses testes são indicados pelas empresas fornecedoras dos produtos, afim de eliminar as necessidades de ensaios para cada utilização.

Alguns fatores que influenciam na propriedade da tração são por exemplo as características dos materiais sozinhos do compósito e a seção transversal do GFRP. Já para a resistência à compressão, um fator que influencia diretamente em seus resultados é o tipo de ensaio laboratorial feito e a geometria do corpo de prova. Além disso, a resistência ao cisalhamento é determinada em sua maioria pelas propriedades da matriz polimérica e a distribuição de tensões (TAVARES, 2006).

Na Tabela 4, é apresentado o resultado obtido mediante a ensaios realizados pela FIB TG de 2003, no qual pode-se observar as propriedades físicas e mecânicas citadas anteriormente. Além disso, visto que o vidro-E e a resina epóxi são os materiais mais empregados no meio, o ensaio foi feito com barras de GFRP com o tipo de vidro e resina citado.

Tabela 4: Propriedades das barras de GFRP formadas de fibra de vidro-E e resina epóxi

Propriedade	Vidro – E/ Epóxi
Fração do volume de fibras	0,55
Densidade (kg/m ³)	2100
Módulo longitudinal (GPa)	39
Módulo transversal (GPa)	8,6
Módulo de cisalhamento no plano (GPa)	3,8
Coefficiente de Poisson maior	0,28
Coefficiente de Poisson menor	0,06
Resistência à tração longitudinal (MPa)	1080
Resistência à tração transversal (MPa)	39
Resistência ao cisalhamento no plano (MPa)	89
Deformação última à tração longitudinal (%)	2,8
Deformação última à tração transversal (%)	0,5
Resistência à compressão longitudinal (MPa)	620
Resistência à compressão transversal (MPa)	128

Fonte: FIB TG 9.3 (2003)

Analisando a tabela 4 (Propriedades das barras de GFRP formadas de fibra de vidro-E e resina Epóxi), é possível verificar a grande diferença entre os resultados da resistência a compressão e a tração, no qual seus valores apresentam-se maiores de acordo com a disposição das fibras. Contudo, é importante ressaltar que os valores apresentados na tabela variam de acordo com o tipo de fibra e resina escolhido.

2.3.3. Aplicações com GFRP

No Brasil, a utilização de GFRP ainda não está sendo intensificada na construção civil, porém, já existem algumas obras que utilizam esse material, um exemplo é a construção de metrô na cidade de São Paulo, por meio de painéis pré-moldados. Como citado anteriormente nesse tópico, o GFRP tem seu emprego principalmente no exterior, onde vem sendo utilizado desde os anos 1990. Em alguns casos, é realizado na recuperação da construção, na substituição da armadura de aço pela armadura de GFRP, como em túneis.

Nas Figuras 7 a 13 são apresentados exemplos de algumas construções que fizeram a utilização desse compósito na sua concepção. Nestas figuras são exemplificados a utilização do GFRP em diversos locais do mundo, Europa, Canadá,

Estados Unidos. E em diversas situações diferentes, mostrando que sua utilização tem grande potencial em diversos setores.

Figura 7: Túnel construído com concreto armado com GFRP



Fonte: HUGHES BROTHERNS (2011)

Figura 8: Estrutura pré-moldada construída com GFRP



Fonte: Saint-Globain – Vetrotex (2003)

Figura 9: Reforço com GFRP para evitar rachaduras



Fonte: Best Filber Glass Rebar (2007)

Figura 10: Fundação para forno de aço



Fonte: Best Filber Glass Rebar (2009)

Figura 11: Placa de base para leito ferroviário na Suíça



Fonte: Best Filber Glass Rebar (2009)

Figura 12: Construção subterrânea na Alemanha



Fonte: Best Filber Glass Rebar (2009)

Figura 13: Ponte de concessão no Canadá



Fonte: Best Filber Glass Rebar (2007)

3. SUBSTITUIÇÃO DAS BARRAS DE AÇO POR BARRAS DE GFRP

Como dito anteriormente, o GFRP pode ser aplicado em diversos setores da construção civil, além de também possuir algumas técnicas de manuseio para a sua aplicação. Uma das principais vertentes de aplicação desse compósito é a substituição em uso estrutural das barras de aço pelas barras de GFRP. No qual, essa substituição aplica-se em pilares, vigas e lajes de concreto armado. Na Figura 14 abaixo, é mostrado um vergalhão de fibra de vidro com diferentes bitolas em uma empresa de fabricação do mesmo.

Figura 14: Vergalhão de GFRP



Fonte: Armastek (2022).

Esse material apresenta algumas vantagens quando comparado a armadura de aço, como a proporcionalidade de um maior isolamento térmico e acústico; facilidade com transporte e instalação, já que é um material mais leve e que pode ser deformado, dobrado, e assim garantindo uma facilidade para o manuseio; maior resistência a alguns ambientes de degradação, com aspecto principal para corrosão; e melhor trabalhabilidade em ambientes com ondas eletromagnéticas (SÁ & CORREIA, 2011).

Segundo Correia (2012), essa transparência magnética que existe nas barras de GFRP contribuem para que as ondas eletromagnéticas existentes por exemplo em

metrô e rádios não sofram perturbação e assim não haja qualquer dano a estrutura, seja estético ou estrutural.

Uma aplicação que envolve a substituição das armaduras de aço pelas armaduras constituídas de GFRP é exemplificado em hospitais. Onde essa substituição é validada mediante a constatação de interferência da energia eletromagnética em equipamentos de tomografia e similares, no qual os resultados gerados pelos mesmo podem ser contestados por apresentarem essa manipulação.

A partir dos anos 2000 alguns hospitais localizados nos Estados Unidos passaram a realizar reformas para substituir, em suas fundações, as armaduras de aço por armaduras de GFRP. Pois as barras de aço por propagarem as ondas eletromagnéticas interferem em resultados de máquinas sensíveis. Na Figura 15 a seguir é mostrado uma estrutura de fundação utilizando GFRP para um laboratório de um hospital nos Estados Unidos.

Figura 15: Estrutura de fundação utilizando GFRP



Fonte: Hughes Brothers (2011)

Além disto, como citado nesse tópico, um dos principais fatores que viabilizam a utilização da armadura constituinte de GFRP é a sua não oxidação. Assim, ele pode ser usado em condições adversas, onde o aço sofreria corrosão. Contudo, ambientes salinos e alcalinos podem ser os principais ambientes de uso desse material.

Em locais com climas temperados, onde em algumas épocas do ano fazem bastante frio e chega a nevar, é realizado o emprego de sal em postes e viadutos para

que aconteça o degelo da neve e diminua o efeito de derrapagem (ORTENZI, 2007). Contudo, o sal quando entra em contato com a construção, tende a corroê-la. Assim, a construção ficará comprometida mediante a corrosão se intensifique e entre em contato com a armadura de aço.

No Brasil, muitas capitais estão localizadas em regiões litorâneas, e os problemas com corrosão nas edificações segue sendo uma das principais causas de degradação. Todavia, o emprego do GFRP em pontes, viadutos e em edificações litorâneas, irá trazer maior durabilidade para as construções.

Entretanto, além de apresentar boas qualidades para sua utilização e durabilidade em ambientes agressivos, o GFRP também deve apresentar valores de propriedades mecânicas satisfatórias quando comparados a armadura de aço. Na Tabela 5, são mostradas algumas características técnicas informadas pela empresa Brafib, que é uma das principais fabricantes de GFRP no Brasil atualmente.

Tabela 5: Características técnicas de comparação entre GFRP e o aço

Propriedades	Aço CA50 e CA60	GFRP
Resistência à tração	500/600	+1000
Resistência à compressão	390	300
Módulo de elasticidade	210	55
Comprimento dos vergalhões	Barra de 12m	Rolos de 100m
Durabilidade em ambientes agressivos	Aprox. 7 anos	+100 anos
Resistência à corrosão	Oxida	Não oxida
Cobrimento de concreto em ambientes agressivos	Aumenta	Não aumenta
Condutividade térmica	52	0,35
Condutividade elétrica	Possui	Não Possui
Densidade	7,9	2

Fonte: Brafib (2022)

4. ANÁLISE DA UTILIZAÇÃO DAS GFRP EM ENSAIOS EXPERIENTAIS

Para garantir a viabilidade do emprego do GFRP são necessários mais alguns aspectos importantes, que irão influenciar diretamente nos parâmetros das características técnicas mencionadas nos tópicos anteriores. Aspectos estes que estão relacionados ao comportamento do compósito quando submetido as tensões que a estrutura irá receber quando estiver em seu funcionamento.

Assim, para garantir que o GFRP se comporte adequadamente, Oliveira (2019), Couto (2007) e Tavares (2006) realizaram estudos experimentais, no qual por meio da análise desses trabalhos pode-se entender se o material é capaz de suportar bem as situações solicitadas. Estudos como a aderência entre o concreto e as barras de GFRP, sobre o comportamento do compósito quando submetido a ambientes de degradação, sobre submeter vigas ou pilares armados com GFRP a tensões em laboratório, seja na substituição do aço ou apenas como reforço estrutural.

Analisar e averiguar essa tecnologia do GFRP através da descrição da concepção desses estudos juntamente com os seus experimentos realizados é o principal objetivo desse tópico.

4.1. Estudo sobre aderência entre o concreto e o GFRP

A aderência está presente no contato entre o concreto e a armadura, seja ela de aço ou outro material, como o GFRP. Ela é responsável por obstruir o deslocamento entre os dois materiais, concreto e armadura, contribuindo também para que os esforços nos quais são submetidos a estrutura possa ser distribuído adequadamente em toda ela.

Com a utilização de armaduras não metálicas, como o GFRP, surge a necessidade de um estudo de aderência entre o material e o concreto. Além disso, a expansão do uso de diversos aditivos plastificantes que mudam as propriedades e consistência da pasta de cimento, também intensificam a necessidade de estudos envolvendo a aderência (ISA, 2004).

As barras de aço diferem nas barras de GFRP em algumas propriedades mecânicas, onde consequentemente interferem na aderência e comportamento dos mesmos. Como é mostrado na Tabela 05, a barra de GFRP tem menor módulo de elasticidade, menor resistência a compressão e ao cisalhamento, e maior resistência

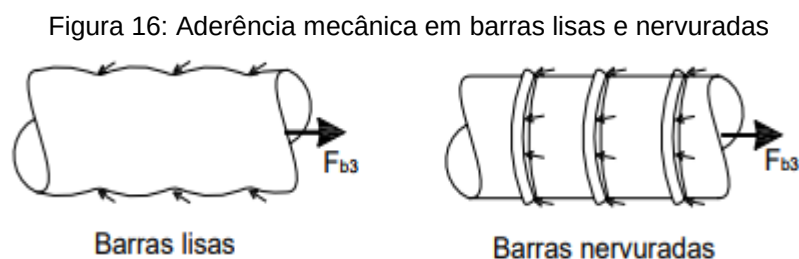
a tração. Além disso, possuem uma maior resistência longitudinal do que transversal (Couto, 2007).

4.1.1. Tipos de aderência

Existem alguns componentes que estão diretamente ligados com o comportamento de aderência, e assim podem influenciar na mesma. Assim, existem então a aderência por atrito, a aderência mecânica e a aderência por adesão. Além disso, esses tipos de aderência são influenciados pelo formato da superfície da barra, se é lisa ou corrugada.

A aderência por atrito está relacionada ao atrito que existe e é intensificado quando há a eminência de deslocamento entre a barra e o concreto. Esse fenômeno tem seu valor alterado de acordo com a superfície da barra, as barras corrugadas apresentam um atrito com o concreto maior do que as barras lisas.

Já a aderência mecânica está presente em deformidades que existem tanto nas barras lisas como nas barras nervuradas, esse ressalto funciona como uma espécie de consolo para os pré-moldados, realizando o encaixe entre a armadura e o concreto. Todo esse sistema gera uma alta resistência ao corte na estrutura, assim tornando-a mais sólida. Na Figura 16 é exemplificado esse ressalto presente nas barras lisas e nas nervuradas, favorecendo a aderência mecânica.



Fonte: Fusco (1995).

Ademais, o outro tipo é a aderência por adesão. No qual consiste na ligação que irá se formar entre a armadura e o cimento. Esse tipo de ligação contribui para que os materiais permaneçam fixo e em contato mesmo estando submetidos a cargas. Para que haja a separação dos materiais é necessário grandes tensões transversais.

4.1.2. Desempenho de aderência

Tavares (2006) especifica alguns parâmetros que influenciam no desempenho de aderência entre a armadura e o concreto. Todas essas características técnicas têm responsabilidade tanto no comportamento de aderência, assim como também em outros aspectos da estrutura.

Alguns desses fatores são: a forma da seção da barra, ou seja, se esta é quadrada, circular ou retangular; os módulos de elasticidade tanto transversal como longitudinal; o modo da superfície da barra, se esta é lisa ou nervurada; o coeficiente de Poisson; o cobrimento do concreto; a distância entre as barras da armadura; os diâmetros das barras utilizadas; as condições ambientais presentes; o coeficiente de dilatação térmica; a armadura transversal utilizada e a resistência a compressão.

4.1.3. Ensaios de aderência

Não existe ainda ensaios próprios para estabelecer a aderência entre a o GFRP e o concreto, por isso realizam-se os mesmos experimentos que existem para saber as propriedades de aderência do aço e concreto, como o ensaio de arrancamento. Mediante esses ensaios é possível determinar os valores de tensões de aderência e deslocamento da armadura de GFRP em relação ao concreto e posteriormente comparar com os valores do aço e concreto.

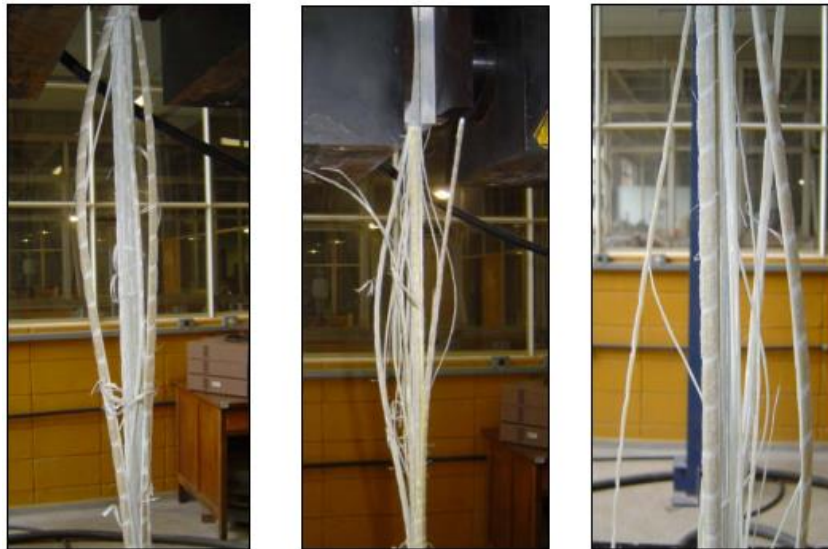
Em um estudo realizado por Couto (2007), foi feito vários ensaios laboratoriais para obter valores de análise de aderência entre o concreto e as barras de fibra de vidro impregnadas por polímeros.

Nesse estudo foi realizado várias etapas de ensaio, como os experimentos iniciais para obter as propriedades do concreto e seus materiais, como os agregados, água, cimento e aditivos. Assim, depois o ensaio de dosagem dos materiais, para então ter-se um valor adequado do traço. Posteriormente foi realizado o ensaio de arrachamento, no qual foi feito o arrachamento de barras de GFRP contidas no concreto. Assim como, ensaio para determinar propriedades das barras de GFRP.

Foi utilizado no ensaio barras de GFRP com diâmetros de 9mm e 16mm, assim como corpos cilíndricos com 3 tipos de concreto, um de 30MPa, outro de 60MPa e outro de 80MPa. Cada barra foi inserida em cada tipo de concreto, assim totalizando 3 cilindros com barras de 9mm e 3 cilindros com barras de 16mm.

Nas Figuras 17 e 18 são mostradas imagens dos ensaios realizados no estudo feito por Couto (2007). No qual na Figura 17 observa-se a ruptura das barras de GFRP no ensaio de tração, já na Figura 18 é mostrado o ensaio de arrancamento da barra de GFRP do cilindro de concreto.

Figura 17: Ruptura da barra de GFRP no ensaio de tração



Fonte: Couto (2007).

Figura 18: Ensaio de arrancamento da barra de GFRP



Fonte: Couto (2007).

4.2. Estudos sobre reforço com GFRP expostos a ambiente de degradação

É sabido que muitos materiais que compõem o setor da construção civil sofrem degradações de acordo com o seu ambiente de exposição, ou seja, as suas condições ambientes ao qual esses materiais estão expostos. Contudo, o GFRP também pode vir a sofrer com os fatores ambientais ou físicos do ambiente em que o mesmo está inserido, comprometendo a durabilidade da estrutura. Alguns desses fatores são por exemplo a exposição a ambientes úmidos e salinos, elevadas temperaturas, ambientes corrosivos, alcalinos e a raios ultravioletas.

Outro aspecto a tratar é como a estrutura comporta-se com o reforço do GFRP. Se o emprego do mesmo aumenta a capacidade de resistência das duas propriedades mecânicas. Assim, nesse capítulo será apresentado um estudo que uniu essas duas problemáticas, o reforço com o GFRP e os ambientes de degradação.

Em um estudo realizado por Oliveira (2019), fez-se um experimento onde expôs pilares curtos reforçados com mantas de GFRP e pilares sem reforço, à ambientes de degradação, com exposição ao clima subtropical úmido com inverno seco e verão quente. Para que assim os mesmos fossem ensaiados posteriormente e seus resultados pudessem ser comparados.

Os pilares curtos foram expostos a três situações, pilares de referência, no qual foram submetidos aos ensaios após o processo de cura e colagem do reforço; pilares em ambiente laboratoriais e pilares expostos a ambientes externo. Contudo, foram concebidos três modelos de corpos de prova reforçados com uma camada de GFRP, três modelos de corpos de prova com duas camadas de GFRP e três modelos de corpos de prova sem reforço.

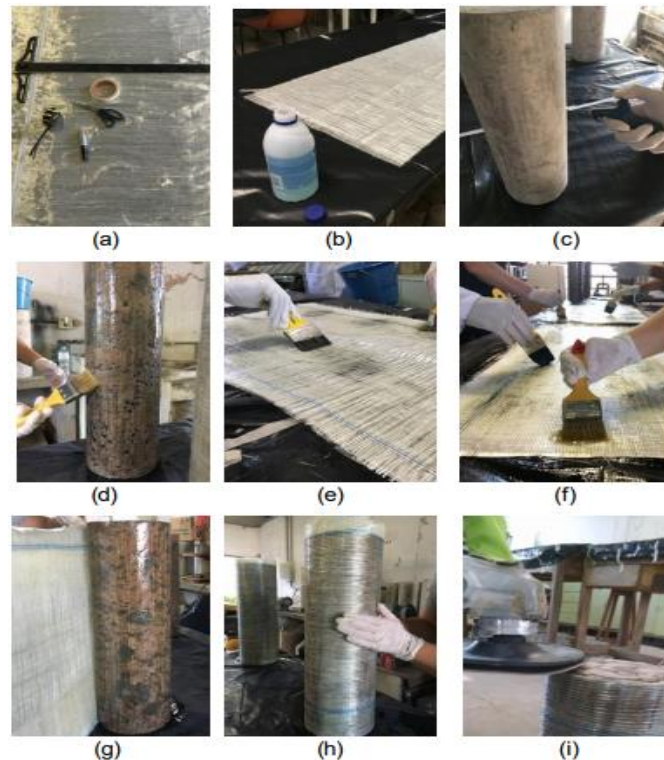
4.2.1. Pilares curtos reforçados com GFRP

Os pilares curtos do estudo feito por Oliveira (2019) foram armados com barras transversais de 5 mm e barras longitudinais de 8 mm, com aço CA-60 e CA-50, respectivamente. Além disso, o cobrimento utilizado foi de 5 mm. Já o reforço dos pilares foi realizado com mantas de GFRP com espessura de 0,39 mm, seguindo a técnica EBR, onde foram aplicados somente após o processo de cura dos pilares.

Após a armadura dos pilares está pronta, e as formas colocadas em seus lugares, concretou-se os pilares curtos. O cimento usado para essa atividade foi o de classe de 30MPa.

Na Figura 19 é apresentado o processo de reforço dos pilares já curados com a manta de GFRP, com a técnica EBR.

Figura 19: Processo de reforço dos pilares com manta de GFRP



Fonte: Oliveira (2019).

4.2.2. Ambientes de intempéries

Os vários tipos de corpos de prova foram expostos a dois ambientes, o primeiro está localizado no laboratório da UFSCar, já a segunda exposição foi ao ambiente externo, exposto diretamente à intempéries. Vale ressaltar que os corpos de prova foram colocados nos seus ambientes após 14 dias do início do processo de cura.

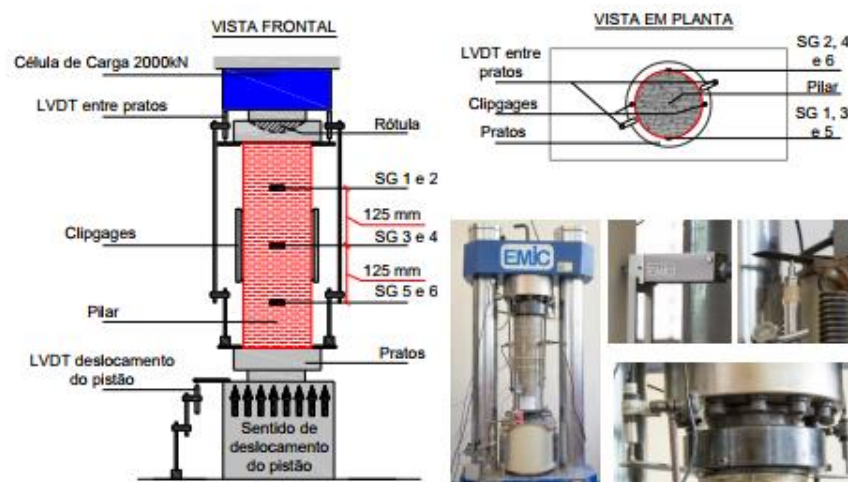
O laboratório é um ambiente controlado, com monitoramento de umidade e temperatura. Já o ambiente externo está exposto a variações de temperatura, umidade relativa do ar e radiação ultravioleta, no qual os dados meteorológicos foram obtidos segundo o Instituto Nacional de Meteorologia. As amostras foram expostas na localidade da própria universidade.

4.2.3. Ensaio de resistência à compressão

Após concluído o período de exposição a ambientes agressivos de aproximadamente 6 meses, os corpos de provas estavam prontos para serem submetidos ao ensaio de compressão axial. Já os pilares servidos como referência foram ensaiados 14 dias após a aplicação do reforço com GFRP. Nesse ensaio busca-se avaliar a capacidade de energia de deformação, a capacidade de carga e a deformabilidade.

No estudo, foram ensaiados os corpos de prova com 1 camada e duas camadas de reforço e os corpos de prova sem reforço de GFRP. Na Figura 20 é exemplificado o instrumento utilizado para o ensaio de resistência a compressão utilizado.

Figura 20: Ensaio de resistência a compressão



Fonte: Oliveira (2019).

4.3. Estudo com vigas armadas com barras de GFRP

Como citado anteriormente, o GFRP pode ser utilizado como armadura na composição da estrutura, por exemplo, de uma viga, pilar, laje ou fundação. Podendo realizar assim a substituição do aço por um material não metálico, tanto na armadura longitudinal, como também transversal.

Porém essa substituição do aço pelo GFRP pode trazer a necessidade de demanda de realização de procedimentos próprios para a obtenção adequada da armadura. Para o aço, existem normas estabelecidas para que sua utilização esteja segura, já para o GFRP existem apenas normas estrangeiras.

Contudo, existe então um conservadorismo utilizado para determinar o dimensionamento do concreto armado com barras de GFRP. Essa determinação é baseada principalmente na capacidade última de resistência (ELU), que também é o principal método de dimensionamento utilizado no emprego de estruturas de concreto armado convencionais (TAVARES, 2006).

Têm-se então a necessidade da análise de estudos experimentais para garantir a segurança do emprego do GFRP. A seguir é apresentado um estudo feito por Tavares (2006), da Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, onde foi realizado a substituição do aço pelo GFRP em vigas de concreto armado.

4.3.1. Programa experimental

No programa experimental realizado por Tavares (2006), foram ensaiadas seis vigas modelos, no qual a viga 01 é constituída por armadura de aço, para servir como referência, e as outras cinco vigas foram armadas com GFRP Aslam 100, mudando apenas o número da bitola e o números de barras longitudinais utilizadas.

O dimensionamento da viga de referência, com aço CA-50, foi seguindo as normas brasileiras, e determinou-se barra longitudinais de 12,5 mm e barras transversais de 8 mm. Além disso, o dimensionamento das vigas de concreto com armadura de GFRP seguiu o mesmo procedimento da viga armada com aço e foi utilizado barras de 9,53 e 6,35 mm, assim distribuindo esses dois tipos de bitolas nas vigas armadas com a armadura não metálica. Assim, mediante a obtenção do valor do momento último da viga de referência, foi calculado o valor de resistência ao momento fletor para todas as vigas.

Para realização do experimento Tavares (2006) seguiu um processo de execução, onde iniciou-se definindo o traço do concreto por meio de estudo do traço, no qual esse traço foi empregado em todas as vigas. Após isso foi feito a montagem das fôrmas e armaduras, para então seguir com a concretagem das vigas. Concluída a concretagem e respeitado o processo de cura, as vigas já estavam preparadas para os ensaios. O ensaio corresponde a submeter as vigas a seu máximo momento fletor, mediante a aplicação de forças com o uso de dois macacos hidráulicos, e a fixação das extremidades com o uso de um pórtico. Na Figura 21 é apresentado o procedimento de colocação dos materiais e posteriormente o ensaio.

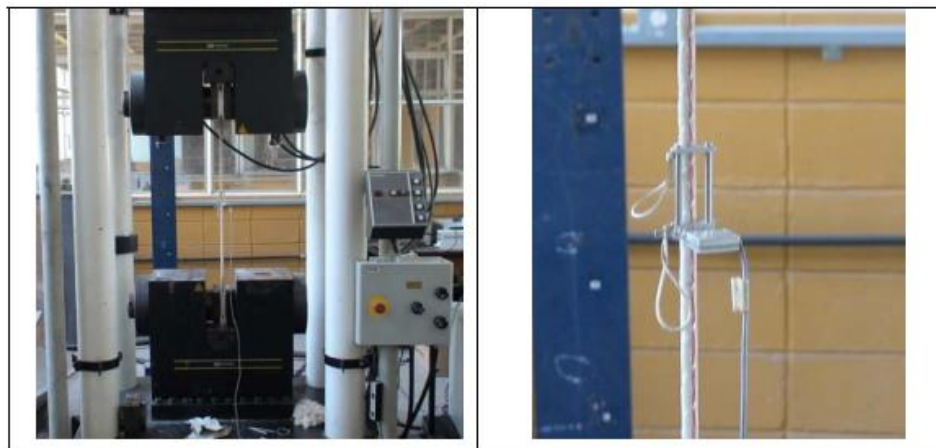
Figura 21: Procedimento para ensaio das vigas



Fonte: Tavares (2006)

Além do ensaio das vigas, também foi realizado o ensaio com as barras de aço e as barras de GFRP Aslam 100. No qual o ensaio adotado foi o de tração direta, onde por meio deste é possível obter o valor de resistência a tração do material. Foram ensaiadas até o rompimento as barras de aço e de GFRP. Na Figura 22 é exibido o ensaio de tração direta na barra de fibra de vidro, onde o mesmo ensaio é realizado para a barra de aço.

Figura 22: Ensaio de tração direta das barras



Fonte: Tavares (2006)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesse tópico serão apresentados os resultados obtidos segundo os estudos descritos a cima, que contém a aderência das barras de GFRP ao concreto, o GFRP como reforço estrutural e submetido a ambientes de degradação, e a substituição do aço por uma armadura não metálica em vigas. Assim, juntamente com os mesmo estão as discussões oriunda de análises perante os resultados colhidos.

5.1. Aderência das barras de GFRP ao concreto

Com relação aos ensaios relacionados as barras de GFRP, onde estas foram submetidas ao ensaio de tração como foi exemplificado na Figura 17, segundo Couto (2007) as barras tiveram uma ruptura frágil. E além disso, a ruptura das barras apresentou-se principalmente próxima a garra da máquina que prende a barra para o ensaio. Entende-se então que esse ensaio de tração não teve sua perfeita execução, visto que obteve esse vício de ruptura neste local.

Contudo, os valores das propriedades mecânicas das barras ensaiadas não se diferenciaram muito do valores fornecidos pelos fabricantes. A Tabela 6 é mostrado essa comparação dos dois valores.

Tabela 6: Comparação entre as barras ensaiadas e o fabricante

<i>Diâmetro da barra</i>	<i>9 mm</i>			<i>16 mm</i>		
	Exp.	Fab.	λ	Exp.	Fab.	λ
Diâmetro nominal (mm)	9,56	9,53	1,00	15,90	15,88	1,00
Módulo de elasticidade longitudinal (GPa)	42,7	40,8	1,05	44,9	40,8	1,10
Resistência última (MPa)	714	760	0,94	624	655	0,95

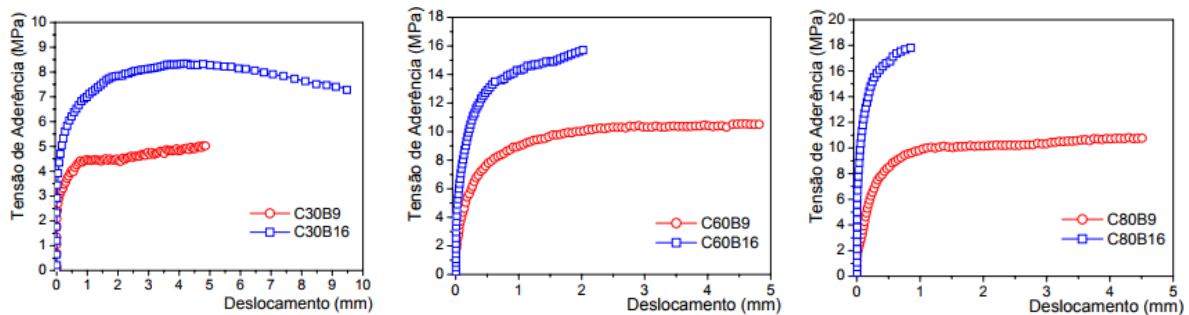
Fonte: Couto (2007).

Couto (2007) relata que as barras tiveram ruptura repentina, com uma conduta elástica e linear. Nota-se mediante a observação dos resultados que a resistência última nas duas barras se mostrou menor do que o valor informado pelo fabricante,

porém, os valores não foram discrepantes. Já em relação ao módulo de elasticidade, o experimental obteve valores maiores.

Já com relação ao ensaio de arrancamento estudado, observa-se uma dependência em relação ao diâmetro da barra e o concreto utilizado na aderência. Pois a resistência de aderência se apresentou maior quando a barra usada era de 16mm e não a barra de 9mm, em todos os tipos de resistência do concreto. Além disso, as peças de cilindros que utilizaram o cimento de alta resistência de 60MPa e 80 MPa tiveram o seu valor de resistência a aderência maior do que os cilindros que utilizaram o de 30 MPa. No Gráfico 1 é possível observar essa relação entre o diâmetro da barra e a resistência do concreto.

Gráfico 1: Comportamento aderência x deslocamento do ensaio de arrancamento



Fonte: Couto (2007).

Outro importante ponto a salientar, é a análise da comparação entre a resistência de aderência das barras de GFRP e o concreto, com as barras de aço e o concreto. Para isso, Couto (2007) fez a comparação entre o estudo experimental que a mesma realizou e os ensaios experimentais de arrancamento entre o aço e o concreto, realizado por outros autores. Além disso, também foi feito a comparação com a norma NBR 6118 (Projeto de estruturas de concreto – Procedimento).

Em relação a ABNT NBR 6118 foi utilizado a norma de 2003, porém houve uma atualização da norma em 2014. Contudo, visto que trata-se de barras nervuradas, a equação para adquirir os valores de resistência de aderência permanece o mesmo, validando a aplicação. Na Tabela 7 é apresentado os valores de aderência pelo código normativo em comparação com os valores obtidos no experimento.

Tabela 7: Tensão de aderência do ensaio de arrancamento e a NBR 6118 (2014)

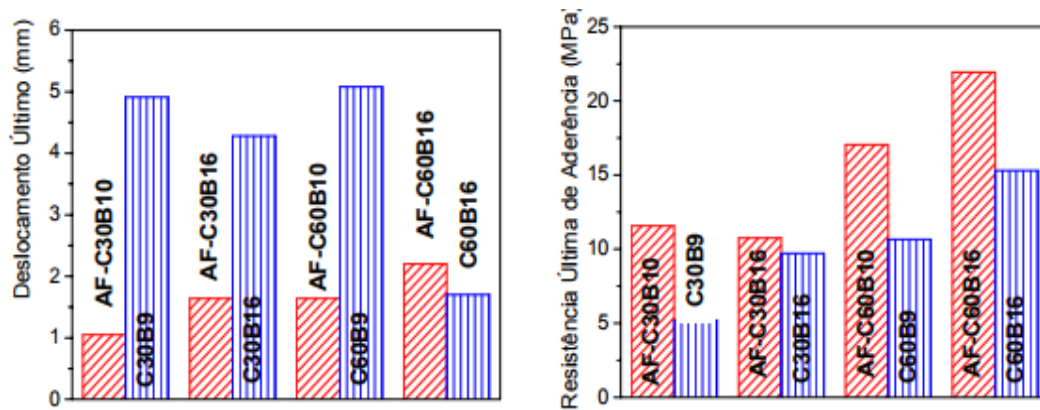
Resistência a Compressão (MPa)	Tensão de Aderência (MPa)		
	NBR 6118 (2014)	9mm	16mm
30 MPa	4	5	9
60 MPa	5	10	15
80 MPa	6	11	18

Fonte: Adaptado de Couto (2007)

Já na comparação com outros autores Couto (2007) comparou os resultados da resistência de aderência do concreto com das barra de GFRP, de 9mm e 16mm de diâmetro, com valores das resistência de aderência entre o concreto e bitolas de aço com diâmetros próximos, em um trabalho feito por ALMEIDA FILHO (2006).

No gráfico 2 é mostrado os resultados experimentais dos dois autores, onde é possível comparar a resistência última de aderência e o deslocamento último.

Gráfico 2: Comparação de aderência entre o concreto e as barras de GFRP e aço



Fonte: Couto (2007).

Observa-se que as barras de aço possuem uma aderência maior do que as barras de GFRP, independente do diâmetro ou da resistência do concreto. Porém, mesmo apresentando valores menores, o uso do GFRP está dentro dos parâmetros estabelecidos pelos códigos normativos.

Contudo, mediante os resultados obtidos nas duas comparações, percebe que a norma apresenta valores bem mais conservadores quando comparados a outros autores. A literatura técnica enfatiza que os procedimentos utilizados na norma consideram principalmente a aderência por adesão, fato que influencia diretamente no resultado, pois em barras nervuradas a principal aderência solicitada é a aderência mecânica.

Mediante o exposto, pode-se entender que a aderência entre as barras de GFRP e o concreto são influenciadas principalmente pela aderência por atrito, visto que o deslocamento se mostrou elevado quando comparado ao aço e o concreto.

5.2. Reforço com GFRP e ambientes de degradação

No estudo realizado por Oliveira (2019) tiveram um total de 9 modelos de pilares curtos para passarem pelo processo de ensaio, sendo 2 corpos de prova para cada modelo, totalizando 18 corpos de prova. Portando foram ensaiados 3 modelos de referência, assim que o concreto terminou seu processo de cura, 3 modelos laboratoriais e 3 modelos expostos à intempéries. Onde nesses 3 modelos está um pilar sem reforço, um pilar com uma camada de reforço e um pilar com duas camadas de reforço de GFRP.

Na Tabela 8 é apresentado os resultados obtidos mediante o ensaio de compressão axial dos corpos de prova, onde neste é mostrado o valor para os 9 modelos, com uma média entre os corpos de prova. Os pilares foram ensaiados e analisados com relação a tensão máxima e a deformação axial, levando em consideração os diferentes ambientes.

Tabela 8: Resultados dos ensaios de compressão dos pilares

	Modelos	Tensão máxima (MPa)	Deformações axiais (%)
Referência	REF - 0	30,7	-3,2
	REF - 1	64,4	-20,6
	REF - 2	87,2	-25,6
Laboratorial - 6 meses	LAB - 6M - 0	30,8	-3,5
	LAB - 6M - 1	62,9	-19,1
	LAB - 6M - 2	88,1	-27,8
Intempéries - 6 meses	INT - 6M - 0	28,6	-3
	INT - 6M - 1	59	-18,3
	INT - 6M - 2	81	-25,5

Fonte: Adaptado de Oliveira (2019).

Mediante a análise da Tabela 8 é possível observar que a tensão de deformação diminuiu de acordo com a exposição dos pilares ao ambiente de degradação, ou seja, o intemperismo mudou algumas propriedades mecânicas do material e influenciou no fator tensão x deformação.

Além disso, nos pilares curtos reforçados com uma ou duas camadas de GFRP também houve um pequeno decréscimo do seu valor de tensão, porém observa-se que esse valor chega a ser muito pequeno, podendo também está associado ao momento do ensaio. Essa pequena variação ocorre pelo fato de o GFRP são sofrer bruscamente com o ataque dos ambientes externos, mesmo após o período de 6 meses.

Contudo, mediante os resultados expostos é notório como o valor de resistência a compressão dos pilares reforçados com a manta de GFRP aumentou em comparação com o pilar sem reforço. Além disso, aumentando também o valor em comparação a tensão do pilar com duas camadas e com uma camada. Ademais, o valor de tensão do modelo reforçado com 2 camadas chega atingir mais que o dobro do pilar sem reforço. Mostrando assim a eficiência dos pilares submetidos ao reforço da manta de GFRP, sendo ainda independente do ambiente de degradação.

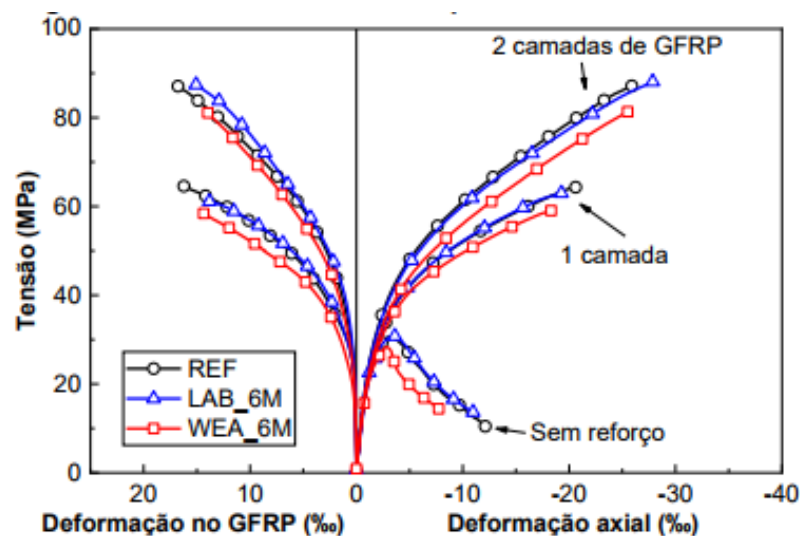
É importante salientar que os pilares que passaram pelo processo de confinamento no laboratório mostram-se equivalentes aos pilares de referência.

Sendo que em alguns casos houve um aumento de tensão dos pilares que estavam no laboratório, provavelmente ocorrido pelo longo processo de cura do concreto, fazendo com que o mesmo aumentasse a sua resistência.

Quanto a deformabilidade mediante a tabela 08, é possível perceber que os valores aumentaram significativamente de acordo com o número de camadas de GFRP. Além disso os modelos que mais aumentaram seu grau de deformação foram aqueles que passaram pelo processo de intemperismo. Dessa forma, é possível concluir que os pilares sem reforço, ou com menos camadas também degradam quando expostos a ambientes de deformação.

Ademais, estudando os resultados dos ensaios de compressão dos pilares curtos, entende-se que os modelos exposto aos ambientes de degradação não tiveram menor desempenho quando comparado aos pilares de referência e o laboratorial. Contudo, a degradação notada pelos modelos submetidos ao intemperismo pode estar ligada a própria degradação do concreto.

Gráfico 3: Média dos pilares ensaiados



Fonte: Oliveira (2019)

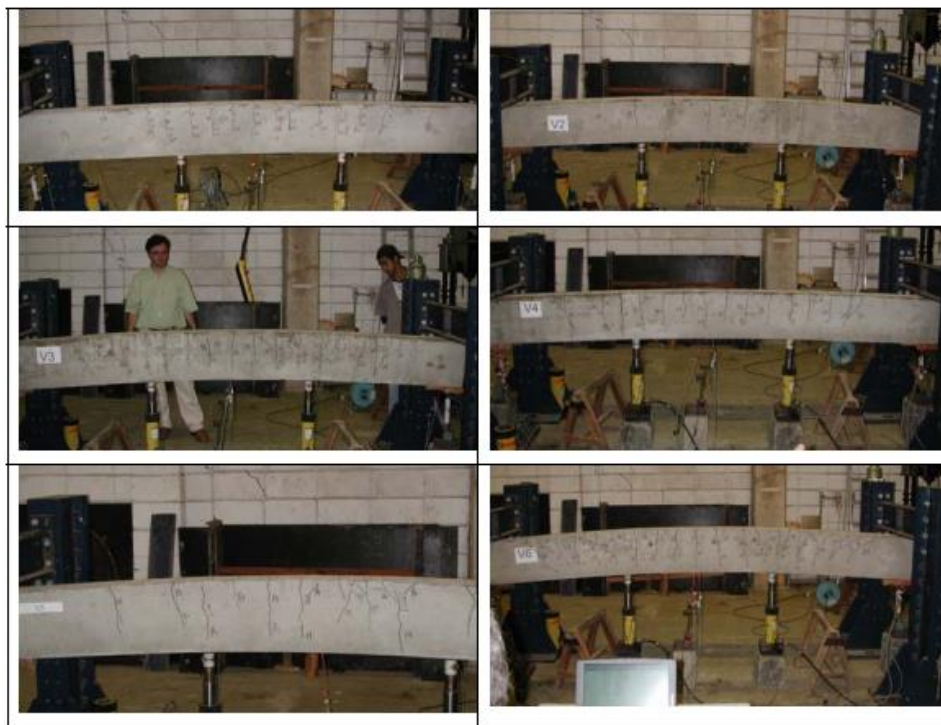
Ao analisar o Gráfico 3 é possível verificar que ocorreu uma diminuição do valor de ruptura nos modelos exposto a 6 meses, independente do ambiente em que os mesmos estavam expostos. Também é possível comprovar que houve um aumento da resistência a compressão a medida que camadas de GFRP foram inseridas nos pilares.

5.3. Vigas armadas com barras de GFRP

O estudo realizado por Taraves (2006) é de suma importância, pois mediante a ele é possível compreender o comportamento do GFRP quando submetido a ser a armadura principal de uma estrutura, como a viga. Além disso, realizar a comparação com a viga referência armada com aço, nos traz evidências de como os dois materiais se comportam.

Na Figura 23 é exibido o ensaio das vigas realizado por Tavares (2006) no laboratório da UFSCar, onde é mostrado as deformações das 6 vigas. É possível visualmente observar as suas deformações, onde se nota que os deslocamentos das vigas armadas com GFRP é maior do que está armada com aço.

Figura 23: Deformações das vigas após os ensaios

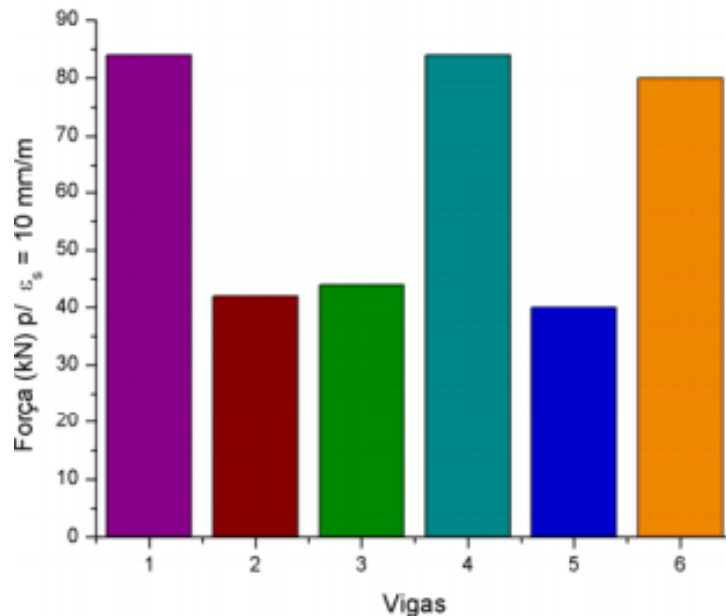


Fonte: Tavares (2006)

Quanto aos resultados dos ensaios observou um possível equiparidade entre os modelo de referência e os modelos das vigas 04 e 05, onde esses apresentaram valores de 80 kN para a obtenção de uma deformação de 10 mm/mm. Também houve um equilíbrio entre as vigas 02, 03 e 05, onde essas precisaram de entorno de apenas 40 kN para a atingir a deformação de 10 mm/m.

No Gráfico 4 é mostrado um diagrama de comparação entre as seis vigas ensaiadas, onde é levado em consideração a força em kN necessária para atingir a deformação de 10 mm/m.

Gráfico 4: Comparação das forças nas vigas



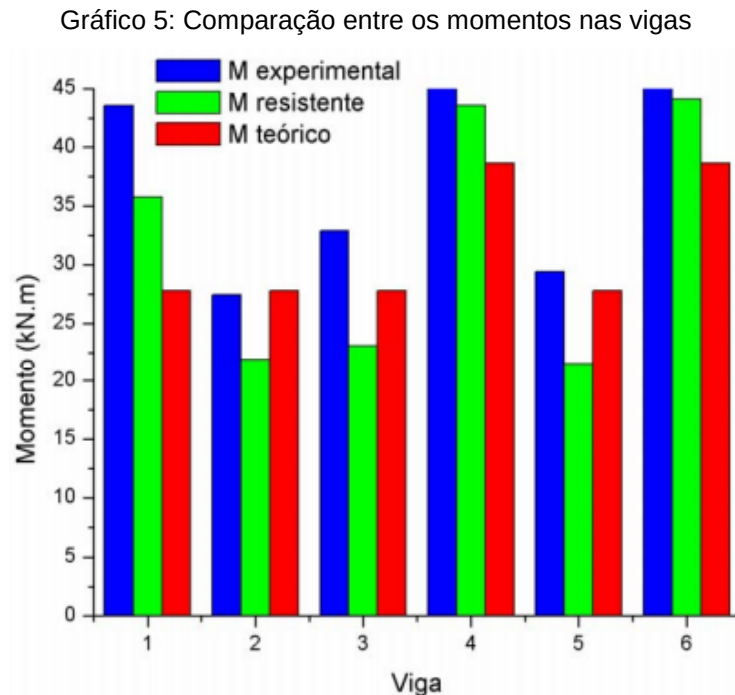
Fonte: Tavares (2006)

Mediante a análise do diagrama é possível verificar uma certa discrepância entre os resultados dos modelos das vigas. Esse fator é explicado devido a variação de distribuição das barras de GFRP, onde nas vigas 02, 03 e 05 foram usadas 2 barras de 9,53 mm, 5 barras de 6,35 mm e 2 barras de 9,53 mm, respectivamente. Já nas vigas 04 e 06 foi utilizado 3 barras de 9,53 e 3 barras de 6,35mm, em cada modelo.

Contudo, nota-se então uma necessidade de maiores áreas de armadura no GFRP para atingir a mesma força que as armaduras de aço, sem que a deformação seja brusca. Esse fato acontece mediante a diferença dos módulos de elasticidades dos materiais, visto que a elasticidade do GFRP é menor do que a do aço.

Além disso, Tavares (2006) estudou a capacidade resistente das vigas, onde mediante a realização de cálculos embasados na literatura técnica, como as deformações do concreto e das armaduras de aço e GFRP, obteve os valores dos momentos resistentes e os momentos solicitantes teóricos, para posteriormente realizar a comparação com o momento solicitante, obtido nos ensaios.

No Gráfico 5 é apresentado um gráfico que contém os valores dos momentos experimentais ensaiados, os momentos resistente e o momento teórico calculados, nas seis vigas.



Fonte: Tavares (2006)

Com a análise dos resultados do gráfico 05 é compreensível que nas vigas 02, 03 e 05 o momento resistente se mostrou conservador, enquanto o experimental e o teórico equiparam-se. Além disso, esses três modelos apresentaram valores significativamente inferiores aos demais.

Contudo, os modelos 04 e 06 apresentaram valores equilibrados quando comparados ao modelo de referência. Comprovando então que com uma taxa de armadura maior, a sua capacidade resistente tende a aumentar.

Outro ensaio realizado por Tavares (2006) foi o ensaio das barras à tração. Esse ensaio foi feito tanto para as barras de aço como para as barras de GFRP, com diferentes bitolas. Assim, podendo obter os parâmetros técnicos das barras e compará-las.

A Tabela 9 mostra os resultados obtidos mediante o ensaio de tração nessas barras, onde pode-se obter valores como módulo de elasticidade, resistência e deformação última. No qual os valores de resistência mostraram um equilíbrio, já em relação a deformação, as barras de GFRP apresentaram valores menores. Ademais,

não foi calculado o módulo de elasticidade do aço, mas segundo a literatura técnica, as barras de GFRP têm valores significativamente abaixo.

Tabela 9: Comparação entre as barras de aço e GFRP após ensaio de tração

	GFRP		Aço
Diâmetro (mm)	6,35	9,53	12,5
Resistência (MPa)	598,04	510,72	579,08
Deformação (mm/m)	17,08	13,19	26,6
Módulo de Elasticidade (Gpa)	37,17	38,19	-

Fonte: Adaptado de Tavares (2006).

6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Mediante a literatura técnica apresentada e as análises dos resultados obtidos experimentalmente em outros trabalhos, conclui-se que a fibra de vidro reforçada com polímeros possui um grande potencial de desenvolvimento no setor estrutural, no ramo da construção civil.

Esse potencial é verificado principalmente em obras onde existe a presença do agente degradador água, como em pontes, subestações de água e cidades litorâneas, visto que o GFRP é um material não metálico com melhor comportamento corrosivo quando exposto a esses ambientes. Além disso, mostrou-se adequado quando submetido a raios ultra violetas e variações de temperatura.

Ademais, quanto ao seu uso estrutural, o compósito apresentou grande eficiência quando empregado como reforço estrutural, sendo seu uso em barras, mantas ou lâminas, sanando os problemas das estruturas e aumentando as propriedades de capacidade de solicitação de esforços da mesma. Já a sua utilização como armadura principal, na substituição do aço, exibiu a necessidade de maiores taxas de armadura para atingir as capacidades técnicas apresentadas pelas estruturas armadas com barras de aço.

Contudo, esse estudo do estado da arte abre precedentes para a realização de outros trabalhos, no qual seja possível contribuir para a disseminação da existência dessa tecnologia no setor da construção civil, focando principalmente no seu uso como armadura principal.

Também é importante salientar que esse trabalho contribuir, com informações e propagação desse tema, para que novos estudos sejam feitos e que haja a concepção de uma norma técnica brasileira, para que a utilização da fibra impregnada com polímeros seja realizada com segurança e eficácia. Validando assim, o uso do GFRP no Brasil, visto que é uma tecnologia que irá agregar para o setor da construção civil.

7. REFERÊNCIAS

ALMEIDA FILHO, F. M. **Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáveis**. 2006. 292 p. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) - Universidade Federal de São Carlos, São Carlos, 2006. Disponível em: <[Contribuição ao estudo da aderência entre barras de aço e concretos auto-adensáv... \(usp.br\)](#)>. Acesso em: 24 out 2022.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. **ACI 440.2R-17** – Guide for the design and construction of externally bonded FRP systems for strengthening concrete structures. 2017. Disponível em: <[ACI 440.2R Topic \(concrete.org\)](#)>. Acesso em: 30 out. 2022.

ARMASTEK. **Histórico**. Rússia, 2022. Disponível em: <<https://armastek.ru/en/about-us/>>. Acesso em: 4 out. 2022.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. Rio de Janeiro, 2014. Disponível em: <[ABNT Catalogo](#)>. Acesso em: 25 out. 2022.

AZEVEDO, D. M. M. **Reforço de estruturas de betão com colagem de sistemas de compósitos de CFRP – Recomendações para dimensionamento**. 2008. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade do Porto, Porto, 2008. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/153403101.pdf>>. Acesso em: 22 out. 2022.

BRAFIB. **Histórico**. Pinhais: 2022. Disponível em: <<https://brafib.com.br/gfrp/>>. Acesso em: 5 out. 2022.

BROTHERS, H.. Glass Fiber Reinforced Polymer (GFRP) Rebar – Aslan 100 series FIBERGLASS REBAR. **BTK Industrial Products Manufacturing**. p. 16. 2011. Disponível em: <<http://www.btk.com.tr/images/file/BTK%20PDF%20DOSYALAR/Aslan100.pdf>>. Acesso em: 4 out. 2022.

CARNEIRO, L. A. V.; TEIXEIRA, A. M. A. J. et al. Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na engenharia e construção. **Revista Militar de Ciência e Tecnologia**, Rio de Janeiro, v.3, p. 54-66, 2008. Disponível em: <[miolo revista \(eb.br\)](#)>. Acesso em: 7 set. 2022.

CHASTRE, C; et al. Materiais e tecnologias de reforço de estruturas de betão – potencialidade e limitações. In: CONGRESSO LATINOAMERICANO “Patologia de la construcción, Tecnología de la rehabilitación y gestion del patrimonio”. 10. 2014. Santander: REHABED. 2014. Disponível em: <[Materiais e tecnologias de reforço de estruturas de betão - potencialidade e limitações | Carlos Chastre \(unl.pt\)](#)>. Acesso em: 11 set. 2022.

CORREIA, M. M. **Comportamento estrutural de perfis pultrudidos de GFRP: Caracterização experimental e modelação numérica**. 2012. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Técnica de Lisboa, Lisboa, 2012. Disponível em: <[Dissertação · Departamento de Engenharia Civil, Arquitectura e Georrecursos \(ulisboa.pt\)](#)>. Acesso em: 12 out. 2022.

COUTO, I. A. **ANÁLISE TEÓRICA E EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DA ADERÊNCIA ENTRE O CONCRETO E BARRAS DE FIBRA DE VIDRO IMPREGNADA POR POLÍMERO**. 2007. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, São Carlos, 2007. Disponível em: <[Produção Científica \(usp.br\)](#)>. Acesso em: 23 jun. 2022.

DALFRÉ, G. M. **Flexural and shear strengthening of RC elements**. 2013. 400p. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade do Minho, Guimarães, 2013. Disponível em: <<https://hdl.handle.net/1822/24424>>. Acesso em: 02 out. 2022.

DALFRÉ, G. M.; SARTÍ JÚNIOR, I. A.; ARAÚJO, C. J. R. Protocolo acelerado de degradação do sistema de reforço EBR-CFRP aplicado em vigas de concreto armado. **SciELO**. v. 21 n. 3, p. 13, abr. 2021. Disponível em: <<https://www.scielo.br/j/ac/a/g9mJ4DGPSMSwqRMzK537RjM>>. Acesso em: 25 set. 2022.

ESCOBAL, A. D.; DALFRÉ, G. M. **Caracterização da degradação de adesivos estruturais utilizados em sistemas de reforço de estrutura de concreto armado**. Relatório científico de progresso. Projeto FAPESP – Processo 2016/20025-6. São Carlos, SP, 2017. Disponível em: <[Bolsa 16/20025-6 - Reforço de estruturas, Cimento reforçado com fibras - BV FAPESP](#)>. Acesso em: 25 set. 2022.

FEDERATION INTERNATIONALE DU BETON. **FIB 9.3 TG – FRP as reinforcement in concrete**. 2003. Disponível em: <<https://www.fib-international.org>>. Acesso em: 10 set. 2022.

FUSCO, P. B. **Técnica de Armar as Estruturas de Concreto**. São Paulo: PINI, 1995. 392 p.

INEIA, A; POL, W. O.; BRAUN, J. C. A.; JUNIOR, L. S. L. et al. Barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades: revisão bibliográfica. **Revista tecno-lógica**. Passo fundo, p9. 2021. Disponível em: <[Barras de fibra de vidro, uma alternativa inovadora e suas potencialidades: revisão bibliográfica | Tecno-Lógica \(unisc.br\)](#)>. Acesso em: 6 out. 2022.

ISIS, M. M.; CEA, A. A.; RENÓFIO, A. et al. Aderência entre concreto auto-adensável de alta resistência e Armadura. **Acta Scientiarum. Technology**. Maringá, v. 26, n. 2, p. 135-139. 2004. Disponível em: <[\(PDF\) Aderência entre concreto auto-adensável de alta resistência e armadura - DOI: 10.4025/actascitechnol.v26i2.1512 \(researchgate.net\)](#)>. Acesso em: 30 out. 2022

MARTINS, J. V. et al. Análise experimental das técnicas EBR (Externally Bonded Reinforcement) e NMS (Near Surface Mounted) para reforço de estruturas de concreto. In: CONGRESSO BRASILEIRO DO CONCRETO, 10, 2015, Bonito. Anais 57º. Bonito: CBC, 2015. Disponível em: <[\(19\) Análise experimental das técnicas EBR \(Externally Bonded Reinforcement\) e NSM \(Near Surface Mounted\) para reforço de estruturas de concreto | LinkedIn](#)>. Acesso em: 22 out. 2022.

UOMOTO, T. et al. Use of fiber reinforced polymer composites as reinforcing material for concrete. 2022. **Journal of Materials in Civil Engineering**, v.14, n. 3, p. 191-209. Disponível em: <https://ascelibrary.org>. Acesso em: 7 set. 2022.

VEROTREX, S. G. Vetrotex Glass Fibre. Chambéry: 2000. Disponível em: <<https://www.vetrotextextiles.com>>. Acesso em: 4 out. 2022.