

UNIEVANGÉLICA – CAMPUS CERES

CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

**ADMILSON LUIZ DA SILVA FILHO
NATAN JUNIOR FAGUNDES GERMANO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DA ARMADURA DE AÇO CA
POR ARMADURA DE FIBRA DE CARBONO DE BASALTO**

PUBLICAÇÃO Nº:

CERES / GO

2020

**ADMILSON LUIZ DA SILVA FILHO
NATAN JUNIOR FAGUNDES GERMANO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DA ARMADURA DE AÇO CA
POR ARMADURA DE FIBRA DE CARBONO DE BASALTO**

PUBLICAÇÃO Nº:

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA.**

ORIENTADOR: JANAINÉ MONICA DE OLIVEIRA SOUSA

CERES / GO: 2020

FICHA CATALOGRÁFICA

LUIZ, A. S. F;

GERMANO, N. J. F;

ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DA ARMADURA DE AÇO CA POR ARMADURA DE FIBRA DE CARBONO DE BASALTO. Estudo de caso em bibliografias relacionadas ao tema, em Ceres – Goiás, 2020, 22p. (UniEVANGÉLICA, Bacharel, Engenharia Civil, 2020). TCC – UniEVANGÉLICA Curso de Engenharia Civil.

1. Concreto Armado.

2. Aço CA.

3. Patologia.

4. Fibra de Carbono de Basalto.

I. ENC/UNI

II. Título (Série)

REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

LUIZ, Admilson da Silva Filho. GERMANO, Natan Junior Fagundes. **Estudo da viabilidade da substituição da armadura de aço ca por armadura de fibra de carbono de basalto.** Publicação ENC. Curso de Engenharia Civil, UniEVANGÉLICA, Anápolis, GO, p.22, 2020.

CESSÃO DE DIREITOS

NOME DOS AUTORES:

Admilson Luiz da Silva Filho

Natan Junior Fagundes Germano

TÍTULO DA DISSERTAÇÃO DE TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO:

Estudo da viabilidade da substituição da armadura de aço ca por armadura de fibra de carbono de basalto.

GRAU: Bacharel em Engenharia Civil

ANO: 2020

É concedida à UniEVANGÉLICA a permissão para reproduzir cópias deste TCC e para emprestar ou vender tais cópias somente para propósitos acadêmicos e científicos. O autor reserva outros direitos de publicação e nenhuma parte deste TCC pode ser reproduzida sem a autorização por escrito do autor.

Admilson Luiz da Silva Filho
76320-000 – Santa Isabel/GO – Brasil

Natan Junior Fagundes Germano
76310-000 – Rialma/GO - Brasil

**ADMILSON LUIZ DA SILVA FILHO
NATAN JUNIOR FAGUNDES GERMANO**

**ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DA ARMADURA DE AÇO CA
POR ARMADURA DE FIBRA DE CARBONO DE BASALTO**

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO SUBMETIDO AO CURSO DE
ENGENHARIA CIVIL DA UNIEVANGÉLICA COMO PARTE DOS REQUISITOS
NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL.**

APROVADO POR:

**JANAINE MONICA DE OLIVEIRA SOUSA, Mestre
(ORIENTADOR)**

**CHARLES LOURENÇO DE BASTOS, Mestre
(EXAMINADOR INTERNO)**

**VITOR MAGALINI ZAGO DE SOUSA, Mestre
(EXAMINADOR EXTERNO)**

CERES/GO, 19 de Junho de 2020.

ESTUDO DA VIABILIDADE DA SUBSTITUIÇÃO DA ARMADURA DE AÇO CA POR ARMADURA DE FIBRA DE CARBONO DE BASALTO

Admilson Luiz da Silva Filho
Natan Junior Fagundes Germano
Janaine Monica De Oliveira Sousa

RESUMO

O concreto armado é um método construtivo que utiliza um traço de concreto que envolve uma armadura de aço CA, tendo como função proteger a armadura e resistir a carregamentos de compressão e o aço de resistir aos demais carregamentos como o de tração. Embora seja um método eficiente o concreto armado é cheio de falhas e patologias devido a estrutura dos materiais usados. Um novo material que proporciona um método eficaz que soluciona os problemas que podem acontecer ao concreto com aço e a fibra de carbono de basalto. Sendo um material relativamente novo, este artigo apresenta a fibra de carbono de basalto e suas propriedades, de modo a comprovar que a fibra pode resistir a cargas mecânicas tão bem quanto o aço e que suas propriedades químicas e físicas a tornam capaz de suportar intempéries que degradam as estruturas, causando patologias. Isso é feito apresentando resultados de experimentos realizados com a fibra, e comprovando que ela é mais eficiente que o aço CA na construção de concreto armado.

Palavras-chave: Aço CA. Concreto armado. Fibra de carbono de basalto. Patologia.

¹ Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: admilsonluiz96@hotmail.com

² Discente do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: natanjrfg@gmail.com

³ Mestre, professora do curso de Engenharia Civil do Centro Universitário de Anápolis (UniEVANGÉLICA) – Campus Ceres. E-mail: monica.janaine@gmail.com

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	6
2	MATERIAL E MÉTODOS	8
3	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
3.1	Produção.....	9
3.2	Utilizações.....	Erro! Indicador não definido.
3.3	Funcionalidade na estrutura	11
<i>3.3.1</i>	<i>Comportamento da fibra frente à corrosão.....</i>	<i>11</i>
<i>3.3.2</i>	<i>Comportamento da fibra frente à variações térmicas.....</i>	<i>12</i>
<i>3.3.3</i>	<i>Comportamento à resistência mecânica</i>	<i>12</i>
4	CONSIDERAÇÕES FINAIS	17
5	REFERÊNCIAS.....	19

1 INTRODUÇÃO

O aço possui inúmeras aplicações dentro da Construção Civil, Ferraz (2003) ressalta a alta resistência a tração, compressão, cisalhamento, flexo-compressão, e sua ductilidade. Devido a essas propriedades o aço ocupa papel muito importante nos diversos setores da Indústria da Construção Civil, funcionando como reforço, elemento estrutural, função estética, elementos ligantes e até como a própria estrutura.

Composto de uma liga metálica, segundo Ferraz (2003) os principais constituintes do aço é o ferro e o carbono, é encontrado para venda em diversas formas e tipos, podendo ser cortado, dobrado, pregado e soldado, já de acordo com as necessidades ou com a admissão de ajustes em obra, as estruturas de aço proporcionam uma boa trabalhabilidade, rendendo a estruturas de difícil execução, melhor trabalhabilidade, maior segurança e estabilidade, que poucos materiais conseguem prover.

No concreto armado o aço comumente utilizado no formato de vergalhão é colocado em uma forma galgada conforme as especificações da NBR 6118 (ABNT, 2014) e conforme necessidades do projetista, recebe adição de concreto de traço dosado devidamente lançado, o elemento passa a receber a influência das propriedades do concreto, com os devidos cobrimentos que o aço necessita se tornado o elemento necessário pra as demais finalidades estruturais.

Com diversas vantagens, o aço se mostra muito viável ao se executar uma obra, não obstante as estruturas de concreto armado apresentam inúmeras patologias geradas por deficiências que as armaduras causam, dentre elas pode-se citar algumas que são de grande preocupação para o projetista, que por vezes dimensiona a estrutura sem considerar eventualidades tais como, a dilatação térmica do aço por sua alta condutibilidade térmica, a corrosão da armadura devido ao seu fácil poder de oxidação, em que Andrade (2001), aventa como o acontecimento de ocorrência mais frequente em estruturas de concreto armado.

Observando as deficiências de um material que é tão indispensável nas estruturas dos projetos quanto o aço, vê-se a necessidade de aplicação de um novo material que possa atingir os altos padrões do aço e que sanasse suas falhas. Um material que pode atingir essas expectativas são os compósitos de carbono, em especial a fibra de basalto, que demonstra grandes resultados em comparação ao aço de estruturas. Sendo produzido em diversos formatos, com propriedades mecânicas e térmicas superiores e elevada resistência à corrosão, segundo a CYK (2019). A fibra de carbono basalto apresenta melhor resistência à corrosão que qualquer outro tipo de fibra, e dilatação térmica parecida com a do concreto, não produzindo estresse por dilatação. Por se tratar de um material relativamente novo, seu uso no mercado nacional ainda não é muito comum, todavia em alguns países a utilização de vergalhões e dos demais elementos desse material já se tornou algo rotineiro.

A utilização da fibra de basalto na construção civil se mostra promissora, tendo em vista suas inúmeras características, produzida através do processo automatizado de pultrusão, sua composição trata-se de um polímero carbônico de basalto, que pode ser encontrado em diversas bitolas de vergalhão dentado, oferecendo a opção de utilização como estrutura e como armação para o concreto armado como é demonstrado pela empresa CYK (2019).

Nesse contexto de busca de novas tecnologias na construção civil, os elementos estruturais têm grande importância em edificações, à busca na melhoria de estruturas de concreto beneficia o estudo proposto.

As estruturas de concreto convencional apresentam grandes problemas ocasionados por patologias causadas em virtude de deficiências do aço CA na estrutura de concreto armado. A fibra de basalto é um material que pode ser utilizado nas estruturas de concreto armado como armadura, tendo em vista que a substituição do aço CA pela fibra de basalto

pode trazer inúmeros benefícios à estrutura de concreto armado, devido a fibra apresentar propriedades físicas e químicas vantajosas como propõe Bronze (2016).

Nas edificações é comum observar que há um grande problema quanto aos danos causados pela corrosão da armadura provocada pelos íons de cloreto, como mostra Andrade (2001). A corrosão das armaduras no concreto armado é um problema que pode ocasionar a ruína das estruturas e levar a construção a sua inutilização.

O material analisado, além de conter características semelhantes às do aço CA, também apresenta alta resistência a oxidação, resistência mecânica superior a do aço CA, baixa condutibilidade térmica e baixa massa específica, propriedades essas que favorecem a vida útil do concreto armado, diminuindo o risco de patologias causadas pelo aço CA, conforme a CYK (2019).

O presente estudo traz um comparativo entre estruturas de concreto armado com aço CA e estruturas de concreto armado com fibra de basalto, analisando as propriedades de cada material e demonstrando que a mudança do aço CA pela fibra de basalto possui vantagens no elemento construtivo, reduzindo patologias e robustez comumente encontradas nas estruturas convencionais.

Habitualmente são encontradas inúmeras patologias nos elementos estruturais de concreto armado de edificações executadas de forma convencional, resultantes das deficiências físicas e químicas que o aço CA possui. Problemas esses que podem comprometer a vida útil da estrutura e o bem-estar dos usuários. A fibra de carbono de basalto, em forma de vergalhão, é um material capaz de substituir e atender as necessidades de uma estrutura de concreto armado, diminuindo os riscos causados por problemas com o método usual.

Como a fibra de carbono de basalto permite ser moldada na forma de vergalhão, ela pode proporcionar um método construtivo equivalente, que não necessita de mão de obra especializada, suprimindo os mesmos padrões exigidos pelas solicitações das estruturas de concreto, com segurança e eficácia, resultando na melhor durabilidade e resistência do concreto armado. Estudos mostram que a fibra de basalto pode solucionar os problemas causados na dilatação térmica das armaduras de aço CA. E constatam que a fibra de basalto pode solucionar um dos mais decorrentes problemas das armaduras de aço CA, que é a sua corrosão química.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Realizou-se um levantamento de dados bibliográficos, coletados em livros, artigos científicos e normas relacionadas às estruturas de concreto armado, fibra de basalto, aço CA e patologias no concreto armado, que favoreceram o desenvolvimento do estudo. A fim de apresentar um estudo da viabilidade da substituição do vergalhão de aço CA, pela fibra de carbono de basalto, no presente estudo foram analisadas algumas propriedades dos dois materiais, para que demonstrasse que na substituição do material convencional pelo novo material seriam apresentadas vantagens nos elementos construtivos estruturais.

Foram analisadas quatro propriedades dos materiais estudados, através de artigos conforme Quadro 1, relacionados a cada característica do material e seu comportamento em diferentes ensaios. Foram elas, a corrosão química, a resistência térmica, resistência mecânica a tração e foi feito um dimensionamento de uma estrutura, com ambos os materiais a fim de comparar a quantidade necessária de cada um para a execução de um edifício.

Quadro 1 – Principais artigos utilizados para o levantamento de dados

Ano	Título	Base de dado	Autor
2017	Estudo da proteção à corrosão pelo uso de polímeros condutores.	Universidade de São Paulo.	Almada, G. F.
2019	Comportamento de vigas de concreto reforçadas com aço e com barras de fibra de basalto.	Universidade Federal do Paraná.	Baldessar, G. M. W., et al.
2016	Estudo comparativo: uso do sistema de fibras de carbono e sistema convencional para reforço de estruturas de concreto.	Universidade Federal do Rio de Janeiro.	Bronze, R. A.
2002	Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas.	Universidade de São Paulo.	Costa, C. N.
2017	Estudo do comportamento mecânico de cilindros de compósito epóxi/fibra de basalto em ensaios hidrostáticos.	Universidade de São Paulo.	Lapena, M. H.
2002	É prudente usar concreto armado / protendido em ambiente corrosivo sem proteção efetiva?	Recuperar - Rio de Janeiro.	Pinto, L. M., et al
2007	Caracterização térmica e morfológica de fibras contínuas de basalto.	Cerâmica - São Paulo.	Schiavon, M. A.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Com os estudos realizados na literatura pode-se dividir o tema da pesquisa em produção da fibra de basalto, suas principais utilizações, as funcionalidades que a fibra apresenta quando adicionada na estrutura, as propriedades à corrosão da fibra de basalto e os estudos de resistência mecânica.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nas estruturas de concreto armado é comum encontrar patologias relacionadas a corrosão química nas armaduras de aço CA, devido à baixa resistência do material quando exposto ao oxigênio. No primeiro artigo analisado, Almada (2007) mostra com um eletrodo revestido de resina epóxi, que o problema da corrosão pode ser solucionado, se envolto a resina epóxi, que é a mesma aplicada nas fibras de carbono de basalto. O intuito da análise desse artigo foi observar o comportamento da resina quando esta está exposta ao oxigênio.

Outra análise realizada por Schiavon (2007) foi quanto a resistência térmica da fibra de carbono, no ensaio o material foi exposto a uma elevação gradual de temperatura, que teve início na temperatura de 0° C, e foi elevado até 1000° C. O corpo de prova foi colocado em uma estufa em que a temperatura era elevada em 10° C por minuto, até que chegou à temperatura máxima da estufa de 1000° C. Um ponto estudado foi quando a temperatura atingiu a temperatura de 800° C, e o material sofreu a cristalização. Com a ocorrência da cristalização da fibra, analisou-se a possível existência de alguma alteração no comportamento da resistência mecânica à tração. Outro fato ocasionado com a mesma temperatura devido a cristalização foi o material ter ficado flexível, e foi examinado se isso provocou mudança na resistência da fibra.

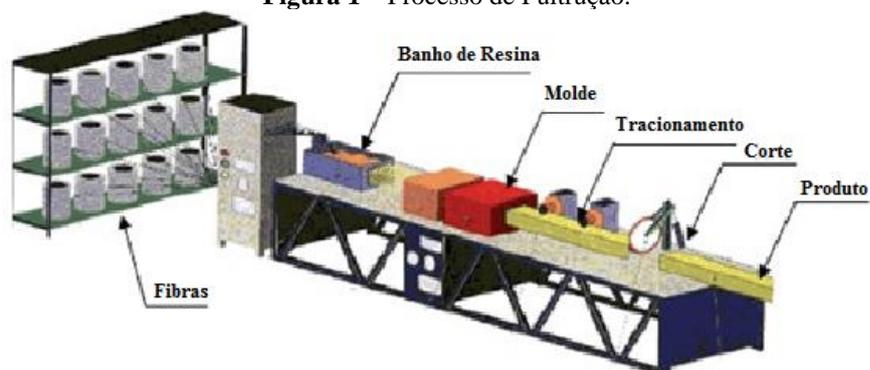
A utilização do aço nas estruturas é necessária pelo concreto não ser capaz de resistir aos esforços de tração solicitados nas estruturas, e a fibra de carbono de basalto também pode ser eficaz quando utilizada como reforço ao ser aplicada na estrutura convencional. Baldessar (2019), analisou o comportamento da fibra de carbono de basalto na estrutura de concreto armado, ao ter realizado um ensaio de flexão em três pontos. O ensaio foi feito com uma viga na condição bi apoiada, sendo aplicada uma carga no centro da estrutura, durante a realização do ensaio observou-se a deflexão da viga, e posteriormente levantou-se os dados para uma análise.

No quarto ensaio analisado, o Bronze (2016), elaborou um projeto, e dimensionou o projeto utilizando a fibra de carbono de basalto e o vergalhão de aço CA. Bronze (2016), relata que considerou cada propriedade necessária para o dimensionamento do material, como a resistência mecânica à tração, e a massa específica de cada material. Para o dimensionamento, o Bronze (2016), considerou a NBR 6118 (ABNT, 2014), como base, e os dados de cada material fornecido pelo fabricante. Por fim, Bronze (2016), através dos dados obtidos, fez uma comparação para demonstrar as vantagens na utilização da fibra de carbono de basalto na estrutura de concreto armado.

3.1 Produção

A fibra de carbono de basalto é um material novo no mercado de trabalho, com diversas atribuições e utilidades, ainda em fase de teste, muitas de suas funções tem sido estudadas. Lapena (2017), e Marcos et al., [s.d.] dizem que a função dos compósitos sintéticos é intensificar as propriedades físicas e químicas dos materiais, a fibra de carbono de basalto é produzida através do processo conhecido com pultrusão mostrado na Figura 1.

Figura 1 – Processo de Pultrusão.



Fonte: Lima (2004).

Lima (2004) apresenta o método industrial de fabricação da fibra de carbono de basalto em que as fibras resistentes são escolhidas conforme suas propriedades, passando por um processo chamado de estiramento, as fibras recebem resinas termofixas e são encaminhadas para uma compactação do elemento para fixação da resina epóxi na fibra, passando por uma alta temperatura que provoca a cura da resina e lhe dá um módulo de elasticidade maior, terminando com o vergalhão ou perfil já moldado conforme orientações da empresa ou exigências dos consumidores.

Tendo como base as ligações orgânicas, as fibras se mostram resistentes graças as ligações entre carbonos, sendo o carbono o responsável por dar às fibras uma baixa massa específica e altas resistências físicas, sendo arranjados em forma de matrizes. Almada (2017) explica que esses materiais acentuam ainda mais a característica de resistência desses compósitos orgânicos.

Matriz com cura térmica ou matriz termoplástica como foi chamado por Lapena (2017), é o arranjo em que os compósitos de carbono de basalto têm como função transmitir as tensões para as fibras, proporcionando um aumento nas resistências, isso é causado a partir da união de uma quantidade de fibras que podem ser agregadas de forma aleatória ou dispostas organizadamente, assim mesmo já sendo mais resistentes que os materiais convencionais, a sua organização em formato de matriz com a orientação dos eixos, de forma paralela, proporciona à estrutura um melhor desempenho.

3.2 Produção

Segundo Schiavon (2007), utilizado em forma de rocha em pavimentações de rodovias o basalto é uma pedra ígnea eruptiva, fundida com o ferro possibilita uma boa moldagem, proporcionando obras de arte como estátuas, compostas de plagioclásio básico e augita, com ou sem olivina. Devido a sua composição bastante variável a utilização dessas rochas é dificultada ao sintetizar uma fibra carbônica, porém sua abundância na natureza proporciona uma viabilidade significativa na produção em larga escala.

Diversas técnicas de construção são empregadas na atualidade utilizando as fibras poliméricas, proporcionadas pela tecnologia e o acesso a conhecimentos e estudos que antes não eram viáveis como a fibra de carbono de basalto que hoje é utilizada em forma de chapas de reforço, em estruturas comprometidas, dando a elas funcionalidade a fim de reparar as patologias geradas por inúmeros problemas, como foi executado por Marques (2018), em que as fibras foram propostas para solucionar um problema nas estruturas de concreto armado decorrente das variações de temperatura.

Em grande parte do mundo o compósito de carbono de basalto já é utilizado como substituto nos vergalhões de aço, mostrando suas vantagens em relação ao método

convencional de concreto armado quanto a resistência a variações térmicas, corrosão e na economia da obra devido a diminuição do peso próprio da estrutura, porém no Brasil sua utilização ainda é pequena, sendo encontrado na maioria das vezes para uso em chapas de reforço em estruturas que apresentam patologias como os procedimentos executados por Bronze (2016).

Oliva (2018), apresentou uma forma de utilizar a fibra para reforços em estruturas, mostrando seus resultados quanto aos agentes abrasivos e seu comportamento químico e mecânico no decorrer dos ensaios, comprovando que a fibra é um material propício a ser utilizado como reforços para estruturas em más condições.

3.3 Funcionalidade na estrutura

O concreto utilizado nas estruturas tem por si só uma boa resistência a compressão como explica Araujo (2010), porém sua resistência a tração e ao cisalhamento não são suficientes o que torna necessária a utilização de um elemento que supra essa deficiência mecânica, esse elemento convencionalmente são os vergalhões de aço CA que possuem uma boa resistência e atendem às necessidades da estrutura desde que dimensionados pra determinado fim.

Apesar de apresentar inúmeras propriedades boas para a utilização do concreto armado, o aço CA pode apresentar algumas patologias. Dentre as patologias que podem ocorrer em relação ao concreto armado, são apontadas a falta de cobrimento da armadura, a falta de adensamento do concreto e sua resistência a variações de temperatura, ambos os problemas citados podem comprometer a estrutura com afirma Mariano (1999).

Outro método que pode atender à necessidade da estrutura é a utilização dos vergalhões de fibra de carbono de basalto que além possuir as propriedades mecânicas que atendem à necessidade, não são afetadas pelas patologias que geralmente ocorrem no método mais utilizado. Como aparentado pela CYK (2019), além de mais eficiente também possui um menor tempo de execução do que as opções que o mercado atual possibilita, não necessitando de mão de obra especializada.

Outra característica importante da fibra de carbono é o seu custo, Bronze (2016) mostra que a fibra de carbono é mais rentável que as estruturas que são utilizadas convencionalmente, devido a sua baixa massa específica e a sua maior resistência, sendo necessária menor quantidade de barras para realizar os serviços, e por ter facilidade de execução desprende um tempo menor e mão de obra que não necessite de ser especializada, sendo esse um material com aplicação idêntica aos convencionais.

3.3.1 Comportamento da fibra frente à corrosão

As ligas metálicas sofrem inúmeras reações com substâncias presentes na natureza. Composto principalmente de uma liga metálica de ferro e carbono, o aço possui estrutura química cristalina assim como as demais ligas metálicas, sendo o carbono o responsável pela resistência das moléculas. De acordo com Pinto (2002), a estrutura de aço CA não apresenta um índice tão satisfatório quanto a sua resistência química sendo reativo a diversas substâncias encontradas facilmente, por exemplo, alguns óxidos como a água e o gás carbônico; sendo assim se expostas às ferragens de um elemento de concreto armado podem sofrer oxidação, enferrujando e diminuindo suas áreas de aço tornando a estrutura inviável para a carga solicitante.

Em estruturas de concreto armado é muito complicado se conseguir um bom cobrimento da armadura na prática, devido a aderência da armadura, mesmo se utilizando de aparelhos e com supervisão e manutenção, ainda podem ocorrer a exposição da armadura seja na execução ou com o passar do tempo. Com isso tem-se a necessidade de um material mais resistente aos intempéries externos e visíveis, Lapena (2017), mostra que as fibras de carbono

resistem muito bem a agentes químicos como ácidos, superando até mesmo outras fibras estruturais como a fibra de vidro, mostrando ainda que seu agravamento hidrolítico é 0,2% inferior às fibras comuns que já são superiores no quesito corrosão ao aço CA.

A fibra de carbono de basalto resiste satisfatoriamente na questão corrosão devido sua difícil reação com agentes abrasivos externos, no experimento realizado por Almada (2017), é possível ver que os compósitos orgânicos são resistentes à corrosão, em que um eletrodo de ferro revestido de compósito epóxi foi submetido a agentes abrasivos. O experimento mostrou também que esses materiais são menos porosos, ou seja, possuem uma proteção externa mais eficiente impedindo a entrada de água e outras substâncias que podem causar a ferrugem, resultado da alta aderência das resinas epóxi.

3.3.2 Comportamento da fibra frente a variações térmicas

Segundo Costa (2002), sendo altamente resistente a altas variações de temperatura, o concreto é utilizado pra proteção passiva das armaduras, em que a água presente nas partículas do concreto são as responsáveis por essa resistência, a água evapora saindo pelos poros presentes no concreto, aliviando as tensões. No entanto, com a crescente procura no mercado por concretos mais densos com um número menor de poros, tem o tornado menos resistente às altas temperaturas. Lima (2004) relata que ao aquecer essas estruturas ocorre deslocamento do revestimento do concreto à armadura, expondo-a à alta temperatura, além desse fator a própria armadura de aço CA não apresenta resistência ao calor, devido a sua alta condutibilidade térmica, comprometendo-a.

O aço resiste bem a variações térmicas, e apesar de que ao ocorrerem incêndios o aço não sofra fundição, a norma europeia EN 1992-1-2 (EUROPEAN STANDARD, 2004), considera que à temperatura de 1200°C as resistências do aço se anulam levando a estrutura ao comprometimento. Segundo Costa (2002) essa elevação da temperatura causa a degradação da estrutura devido a diminuição das propriedades mecânicas pela baixa na resistência e no módulo de elasticidade.

A fibra de carbono de basalto diferente do aço possui propriedades térmicas muito satisfatórias, em que mesmo exposta a altas temperaturas ainda continua resistente como diz Lapena (2017), ao indicar que a variação de temperatura que a torna utilizável é de -260°C a 700°C. Acrescenta ainda Lapela que as resistências a vibrações acústicas da fibra de carbono de e a sua resistência às altas temperaturas são melhores do que as demais fibras encontradas na construção civil.

Em um experimento realizado por Schiavon (2007), pode-se visualizar como a fibra se comporta perante a elevadas temperaturas, nele a fibra foi exposta a um aumento de temperatura de 10°C/min, até atingir a temperatura de 1000°C. Analisando os corpos de prova após o experimento notou-se uma cristalização na superfície da fibra, Schiavon (2007) concluiu dizendo que a fibra resiste bem à temperatura que foi exposta, porém ao atingir a temperatura de 800°C a fibra sofreu uma cristalização onde ocorre uma mudança na sua morfologia. A fibra se mostra um excelente material para solucionar os problemas causados pelas variações térmicas no concreto armado, tendo ela resistido a testes em temperaturas próximas as indicadas em incêndios, mesmo tendo sido fragilizada por ela.

3.3.3 Comportamento à resistência mecânica

A fibra de basalto apresenta padrões de resistência mecânica parecidos aos do aço CA podendo substituí-lo numa estrutura de concreto armado sem perda de resistência no cisalhamento e na tração, ainda solucionando algumas patologias ocasionadas nas estruturas de concreto com aço CA como mostrou Baldessar (2019). O Quadro 2 mostra as características avaliadas para o vergalhão de fibra de carbono de basalto e o vergalhão de aço CA 50.

Quadro 2 – Comparativo entre os vergalhões de Fibra de Carbono Basalto e Aço CA 50.

Características	Vergalhão de Fibra de Carbono Basalto	Vergalhão de Aço CA 50
Principais componentes químicos	Fibra de Basalto	Ferro e carbono
Resistência a tração (MPa)	1000	500
Resistência alcalina	Alta	Baixa
Condutibilidade térmica ($10^{-6} / ^\circ\text{C}$)	21 - 22	11,3
Massa específica (g/cm^3)	1,9 - 2,1	7,85

Fonte: CYK (2019)

A partir dos dados apresentados no quadro, percebe-se que a fibra de carbono basalto apresenta baixa densidade, tendo ela $\frac{1}{4}$ da densidade do aço comum, não agregando à estrutura um peso adicional muito considerável, e sua alta resistência à tração e compressão, a torna o elemento resistente do corpo. De acordo com CYK (2019), as barras de fibra de carbono basalto possuem resistência a tração 2 vezes maior que a encontrada em uma barra de aço CA, com as mesmas dimensões sendo mais resistente a corrosão, devido a sua composição que pode ter resina vinil ou resina epóxi. Também sendo mais resistente que o aço CA quanto a variações térmicas por ter maior condutibilidade térmica.

A substituição da armadura convencional de aço CA pela fibra sintética de carbono de basalto possui uma resistência estrutural que deve ser analisada e testada, tendo em mente que mesmo sendo mais resistente a elevadas temperaturas e a ambientes abrasivos com substâncias corrosivas, se sua substituição não for satisfatória às cargas que atuam na estrutura, ela não será um material próprio para essa substituição, a fim de testar isso Baldessar (2019), realizou um experimento testando quatro vigas de concreto armado sendo duas com armadura de aço CA em que foram dispostas ao ensaio de flexão em três pontos, apoiando em dois pontos e uma terceira carga no centro do corpo de prova como mostra a Figura 2.

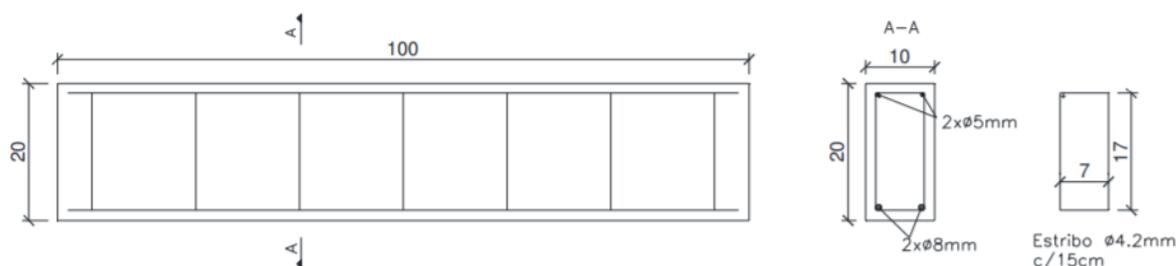
Figura 2 – Esquema do ensaio



Fonte: Baldessar (2019).

No experimento de Baldessar (2019) os corpos de prova foram fabricados com 100 cm de comprimento e seção transversal retangular de 10 x 20 cm e tiveram sua armadura disposta conforme especificado na Figura 3, com barras de diâmetro de 5 mm na armadura superior, 8 mm na armadura inferior, estribos com diâmetro de 4,2 mm espaçados a cada 15 cm o cobrimento da armadura adotado foi de 1,5 cm e concreto com resistência característica aos 28 dias de 28 MPa, o aço escolhido foi CA 50 com tensão de escoamento de 500 MPa e módulo de elasticidade de 210 GPa. As barras de fibra de carbono de basalto utilizadas possuíam uma resistência última de 800 MPa (sem patamar de escoamento) e módulo de elasticidade de 50 GPa.

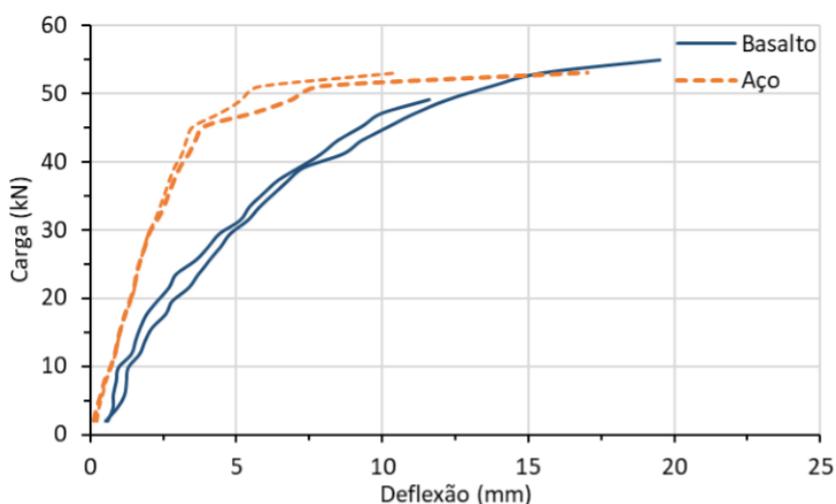
Figura 3 – Geometria e disposição do reforço nas vigas ensaiadas.



Fonte: Baldessar (2019).

No experimento realizado por Baldessar (2019), pode-se constatar que nas estruturas de aço após atingir o ponto de tensão de escoamento, mesmo com carregamento constante, a deformação ainda ocorria, característica de matérias dúcteis, diferentemente da fibra de carbono de basalto que não apresentou um ponto de escoamento e demonstrou maiores deflexões em relação ao aço da estrutura fruto, segundo o autor, da tensão/deformação e do módulo de elasticidade que é inferior ao das barras convencionais de aço CA, tal comparação fica evidenciada no gráfico de carga/deflexão da Figura 4 compara os dois materiais analisados pelo autor.

FIGURA 4 – Comparativo entre as vigas reforçadas com barras de aço e com fibra de basalto.



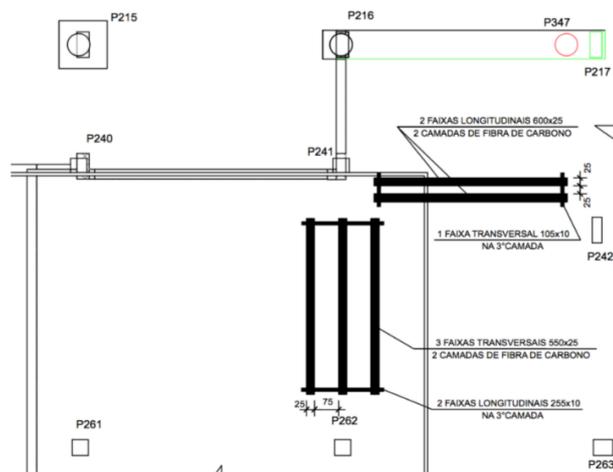
Fonte: Baldessar (2019).

O autor não encontrou os resultados esperados devido ao escorregamento causado pela barra de fibra proporcionando uma curva na relação carga/deflexão algo não característico

de materiais que na fase de ruptura têm comportamento elástico-linear. Tal acontecimento poderia ser solucionado aumentando a nervura das barras ou conciliando um comprimento de ancoragem que atendesse ao necessitado.

Por meio dos resultados apresentados por Baldessar (2019) pode-se perceber que as duas estruturas possuem comportamento estrutural semelhante, a substituição da fibra de carbono de basalto no ponto de vista estrutural não vai gerar nenhum retardo no dimensionamento das estruturas e pelas demais propriedades do material, é um excelente material pra substituir o aço nas estruturas em ambientes com agentes abrasivos e intempéries térmicos.

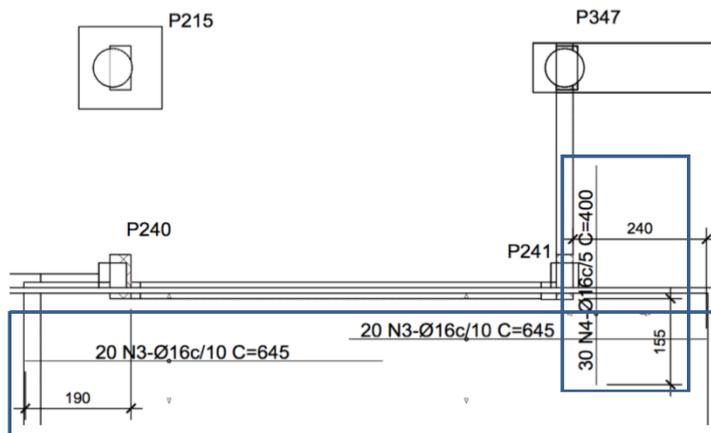
Figura 5 - Croqui de ilustração de projeto de reforço de laje de concreto armado com adição de compósito de fibra de carbono.



Fonte: Bronze (2016).

Nos reforços estruturais, a fibra se mostra capaz de suprir as necessidades estruturais a que está sujeita como mostrou Bronze (2016), em que foi realizado um projeto de reforço de uma estrutura utilizando a fibra de carbono de basalto como mostrado na Figura 5. No projeto foram levados em consideração o tratamento superficial do concreto e a fixação das faixas transversais e verticais.

Figura 6 - Croqui de ilustração de projeto de reforço de laje de concreto armado com adição de compósito de fibra de carbono.



Fonte: Bronze (2016).

Foi realizado pelo autor um projeto de reforço com aço CA como mostra a Figura 7, chegando ao consenso através do projeto que 2000 kg de aço são necessários para realizar o mesmo reforço que 20 kg de fibra de carbono, se mostrando mais rentável econômico e barato que o aço CA. Bronze (2016), ainda acrescenta a quantidade de resíduos sólidos que são reduzidos no método em que se utilizou fibra de carbono.

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Com a finalidade de indicar um possível substituto do aço CA para as estruturas, e que solucione as inúmeras patologias que ocasionalmente acontecem, conclui-se que as inúmeras vantagens da fibra de carbono podem melhorar o desempenho das estruturas que forem dimensionadas.

A boa resistência à corrosão apresentada pela fibra podendo suportar a agentes químicos nocivos que estão presentes no meio ambiente, a estrutura convencional, como as substâncias inorgânicas provenientes das chuvas ácidas, e os inúmeros materiais e ambientes que corroem e deterioram as estruturas, tal comportamento da fibra é explicado por Almada (2017), em que os materiais e a substâncias que compõem a estrutura da resina epóxi que é fixada na fibra, possibilita a ela uma proteção química, graças a força das ligações carbônicas que montam a estrutura molecular.

Além de uma boa resistência a substâncias nocivas, a fibra precisava apresentar uma boa resistência a variações de temperatura, já que Costa (2002), indagou sobre os problemas causados por elas nos métodos convencionais de construção. Schiavon (2007), mostrou que mesmo sofrendo com a temperatura elevada próxima às indicadas pela norma europeia EN 1992-1-2 (EURIOEAN STANDARD, 2004), para incêndios, a fibra continuava resistente, comprovando que ela está apta a anular as patologias referentes às elevações térmicas que causam o comprometimento da armadura e o possível desmoronamento da estrutura, podendo ocasionar acidentes terríveis.

Chega-se à conclusão de que a fibra é um material eficaz contra as variações térmicas e as substâncias prejudiciais encontradas na natureza que degradam as estruturas convencionais. A fibra ainda precisa se mostrar funcional para a necessidade inicial, que e a sua funcionalidade estrutural. A CYK (2019), nos apresenta seu produto com sendo superior ao material comumente utilizado, o aço CA, com massa específica, $\frac{1}{4}$ da densidade do aço comum, e sua estrutura já mostra ser um compósito promissor no quesito resistência. Sendo uma estrutura mais leve e mais resistente concluiu-se também que as construções que utilizarem esse material terão um custo financeiro reduzido, tendo em mente que a quantidade de material a ser utilizado será bem menor, referente a maior resistência da fibra, e também a diminuição do peso próprio da estrutura.

Agindo no concreto como armadura a fibra se mostrou resistente e eficaz, pois quando foi ensaiada a flexão em três pontos até o seu rompimento por Baldessar (2019), sua resistência a flexão foi superior a encontrada pelo aço CA as mesmas condições experimentais, embora os resultados segundo o autor não terem sido o esperado devido aos vergalhões de fibra utilizados não terem o mesmo formato que o de aço que facilita a aderência com o concreto. Observando esse resultado conclui-se que a fibra de carbono de basalto atende à necessidade inicial das estruturas de concreto armado, que é a resistência a cargas, sendo que essas estruturas se dimensionadas de maneira correta podem se tornar ainda mais vantajosas devido aos resultados dos testes que se mostraram superiores ao serem comparados.

A evolução teológica tem avançado muito nos setores da construção civil, e vem comprovando que mesmo um material ou um método construtivo que funcione satisfatoriamente, não significa que ele não possa ser melhorado, pode se ver isso claramente no concreto armado com aço CA e na substituição proposta nesse trabalho. O aço funciona satisfatoriamente aos projetistas, mesmo com suas desvantagens químicas e seu comportamento perante variações térmicas, sendo ele um material altamente resistente usado para construir os mais altos edifícios e vencendo os mais longos vãos livres. Porém a fibra de carbono de basalto, um material novo no mercado, que é mais utilizado em reforços a

estruturas deterioradas, tem avançado ainda mais na construção civil atingindo agora o método de concreto armado, mostrando sua eficácia quanto aos diversos problemas do aço CA. Conclui-se que a fibra de carbono de basalto é um material mais eficiente para ser utilizado no lugar do aço convencional, comprovando que esse método da indústria 4.0 é superior ao usual.

REFERÊNCIAS

ANDRADE, T; HELENE, P. **Concreto de cimento Portland. In: Materiais de Construção Civil e Princípios de Ciência e Engenharia de Materiais.** IBRACON. São Paulo, 2007.

Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto - Procedimento. 3ª ed. Rio de Janeiro, 2014.

ALMADA, G. F. **Estudo da proteção à corrosão pelo uso de polímeros condutores.** USP. São Paulo, Rio Grande do Sul, 2017.

ARAUJO, J. M. **Curso de Concreto Armado.** Editora Dunas. Rio Grande, 2010.

BALDESSAR, G. M. W., et al. **Comportamento de vigas de concreto reforçadas com aço e com barras de fibra de basalto.** 4º SPPC. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2019.

BRONZE, R. A. **Estudo comparativo: uso do sistema de fibras de carbono e sistema convencional para reforço de estruturas de concreto.** Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 2016.

CARVALHO, J. D. N. **Sobre as origens e desenvolvimento de concreto.** Revista Tecnológica. Maringá, 2010.

CASTRO, E. M. C; ARAÚJO, E. C. **Patologia dos edifícios em estrutura metálica.** Universidade Federal de Ouro Preto. Ouro Preto, 1999.

CHIAVERINI, V. **Aço e Ferros Fundidos.** 7. ed. Associação Brasileira de Metalurgia e Materiais. São Paulo, 2005.

CYK, Chongqing Yangkai Import & Export Trade Co Ltd. **Fibra de Carbono Basalto.** China, 2019.

COSTA, C. N. **Aspectos tecnológicos dos materiais de concreto em altas temperaturas.** PEF-EPUSP. Dissertação de Mestrado em Engenharia Civil – Estruturas, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, 2002.

EURIOEAN STANDARD. **Eurocode 2: Design of concrete structures - Part 1-2: General rules - Structural fire design.** União Europeia, 2004.

FARIAS, L. A., et al.. **Ensaio de Tração Direta em Corpos de Prova de Concreto.** Disponível em: <http://www.mfap.com.br/pesquisa/arquivos/20081127104112-209.pdf>. Acesso em: 22 out. 2019.

FERRAZ, H. **O aço na Construção Civil.** Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

LAPENA, M. H. **Estudo do comportamento mecânico de cilindros de compósito epóxi/fibra de basalto em ensaios hidrostáticos.** Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares – USP. São Paulo, 2017.

LIMA, R. C. A., et-al. **Efeito de altas temperaturas no concreto.** II Seminário de patologias das edificações. Porto Alegre, 2004.

PACHECO, J., et-al. **Considerações sobre o Módulo de Elasticidade do Concreto**. Anais do 56º Congresso Brasileiro do Concreto – IBRACON. São Paulo, 2014.

PINHEIRO, L. M., et-al. **Estruturas de concreto – Capítulo 2**. USP – EESC – Departamento de Engenharia de Estruturas. São Paulo, 2010.

PINTO, E. S. **É prudente usar concreto armado / protendido em ambiente corrosivo sem proteção efetiva?** Recuperar. Rio de Janeiro, 2002.

SCHIAVON, M. A; REDONDO, S. U. A; YOSHIDA, I. V. P. **Caracterização térmica e morfológica de fibras contínuas de basalto**. Cerâmica vol.53 no.326. São Paulo, 2007.