



Análise comparativa entre fibras de carbono, vidro e aramida para reforço estrutural em elementos de concreto armado

Kelly Nara de Carvalho Gama¹
Thaís Stephanie Costa²
Ladir Antonio da Silva Junior³

Universidade do Estado de Minas Gerais

Resumo

O presente artigo apresenta um estudo comparativo entre as propriedades físicas e mecânicas das fibras de carbono, vidro e aramida, na sua aplicação como reforço estrutural em elementos de concreto armado. Este estudo é composto por uma análise de revisão bibliográfica no qual buscou-se avaliar as principais características desses materiais, sendo elas: resistência à tração, resistência à compressão, rigidez, resistências à fadiga, expansão térmica, resistência à umidade, resistência à corrosão e custo. Observa-se que para um bom resultado no reforço com aplicação das fibras, é necessário o conhecimento do material, do elemento que será reforçado e das propriedades desejadas.

Palavras-chave: Fibras; Reforço estrutural; Propriedades.

1. Introdução

A partir das primeiras apropriações e combinações de materiais adotados para atender à necessidade de abrigo ou suporte para as atividades humanas, ou seja, a partir da utilização de materiais de construção por excelência – como o solo, a água, a rocha, a madeira e vários outros elementos de origem mineral e orgânica – desenvolveu-se a enorme diversidade de componentes hoje disponíveis para serem empregados na construção civil (RIBEIRO, 2002).

¹Graduanda em Engenharia Civil. kellygama67@hotmail.com

²Graduada em Engenharia Civil. thaisstephaniecosta@yahoo.com.br



³Mestre em Engenharia Civil, docente na Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade João Monlevade. ladir@hotmail.com

No Brasil, após 1930, o concreto tornou-se um símbolo do desenvolvimento tecnológico nacional, empregado desde então nas principais obras do país. A par de outros fatores que contribuiriam para o incremento do uso do concreto na construção civil, a descoberta das várias propriedades específicas do novo material proporcionou um grande desenvolvimento da sua tecnologia, sobretudo a partir da década de 30. Arquitetos e engenheiros empenharam-se em explorar e valorizar as possibilidades do novo material, exibindo suas especificidades, reforçadas, no mesmo instante, com o surgimento da arquitetura moderna brasileira, quando o concreto armado passou a desempenhar importante papel (DIÓGENES, 2006).

De acordo com Meneghetti (2007), a consolidação do concreto armado como uma das mais importantes técnicas da construção civil se deu no século XX. O autor afirma, que as estruturas de concreto armado são as mais difundidas no Brasil, superando por larga margem as de aço e as de madeira nos ambientes urbanos, principalmente devido à sua versatilidade e a seu custo de produção relativamente baixo.

Contudo, Sousa (2008) expõe que o concreto armado também envelhece, sendo necessário prever a sua manutenção ao longo da vida útil da estrutura. De acordo com esse mesmo autor, houve uma menor preocupação no passado às questões da durabilidade de estruturas, devido a isso, assistimos hoje ao aumento de estruturas degradadas que prejudicam o aspecto, segurança e funcionalidade do edificado, necessitando de reparação, reabilitação e reforço, de forma a responder às exigências atuais ou às eventuais alterações de uso previstas.

Segundo Bronze (2016), em geral, as intervenções de reforço estrutural podem ocorrer tanto ao longo da vida útil quanto nos estágios construtivos, onde erros comumente ocorrem. Esse autor também expõe que, dentre as causas de necessidade de reforço, podem ser apontadas as falhas na execução ou no projeto, uso de material inadequado, mudança no uso de determinada área com o aumento da carga de utilização, incompatibilidade de projetos, entre outras causas diversas.

Para o reforço de matrizes cimentícias, existem inúmeras fibras viáveis. Além das fibras naturais (algodão, sisal, de bananeira e de coco), de origem vegetal ou mineral (asbesto), numerosos materiais fibrosos foram criados nos últimos anos a partir da



cadeia de petróleo. Essas fibras têm características muito interessantes e já são largamente exploradas na indústria química, naval e aeroespacial. Combinadas a outros materiais fabricados pelo homem, elas formam o grupo mais importante das fibras, o das fibras sintéticas. Como exemplo de fibras sintéticas têm-se, principalmente: as fibras de carbono, de aramida e de vidro (BERNARDI, 2003).

As fibras de carbono, como afirma Monteiro (2017), possuem boa resistência, pouco peso e resistência à corrosão, proporcionando uma maior vida útil ao reforço da estrutura. Para Fiorelli (2002), as fibras de vidro apresentam vantagens como: baixo custo, alta resistência ao impacto e à corrosão. Como benefícios esperados da incorporação de aramida ao concreto, tem-se o aumento da capacidade de carga, restrição da deformação, o aumento da ductilidade, durabilidade, dentre outros (BERNARDI, 2003).

Diante disso, o presente trabalho realizou um estudo comparativo sobre a eficiência de três tipos de fibras utilizadas para reforço estrutural: fibras de carbono, vidro e aramida (Kevlar). Dessa forma, foram comparadas as principais características desses materiais, em relação à resistência à tração, resistência à compressão, rigidez; resistências à fadiga, expansão térmica, resistência à umidade, resistência à corrosão e custo, tendo por base estudos já realizados sobre esses métodos de reforço em estruturas de concreto armado.

2. Metodologia

O presente artigo estrutura-se numa revisão bibliográfica, de caráter analítico e comparativo a respeito das fibras de carbono, vidro e aramida, para reforço estrutural em elementos de concreto armado. O estudo proposto baseia-se principalmente em artigos científicos, dissertações de mestrado, teses de doutorado e livros.

3. Resultados e Discussão

3.1 Utilização de materiais compósitos para reforço estrutural

São denominados compósitos, materiais cuja estrutura é constituída pela combinação de dois ou mais produtos não solúveis entre si. Um dos produtos é o material de reforço o outro é a matriz. A matriz envolve o reforço, e pode ter na sua composição adições, tais como aditivos materiais de enchimento (*fillers*), que modificam e podem melhorar as



suas propriedades. Um exemplo de material compósito é o concreto (CARNEIRO E TEIXEIRA, 2008).

Os materiais compósitos poliméricos, ou plásticos reforçados com fibras, são compostos, basicamente, por fibras de elevada resistência envolvidas numa matriz polimérica. Essas fibras devem ser selecionadas em função da resistência, rigidez e durabilidade requeridas. Dessa forma, os materiais compósitos poliméricos podem ser utilizados para reparo e reforço de estruturas convencionais de concreto e também no projeto de novas estruturas (CARNEIRO E TEIXEIRA, 2008).

De acordo com Higashi (2016), a necessidade de reforçar estruturas surge sempre que é necessário a correção de anomalias de projeto, execução, utilização ou da necessidade de se modificar a finalidade da edificação.

Nakamura (2009) expõe que, para o tratamento de uma construção defeituosa ou que sofreu alterações por seu uso, primeiramente deve ser feito o correto diagnóstico das patologias existentes. Para cada caso, haverá pelo menos um método para realizar o conserto.

Com o reforço estrutural pode surgir o problema do aumento de peso da secção e assim começou-se a recorrer a materiais sintéticos, materiais esses que tem como principais vantagens a não corrosão, elevada resistência e leveza, proporcionando à estrutura a resistência pretendida e uma sobrecarga não acentuada, sendo que o material sintético mais utilizado é o carbono (MONTEIRO, 2017).

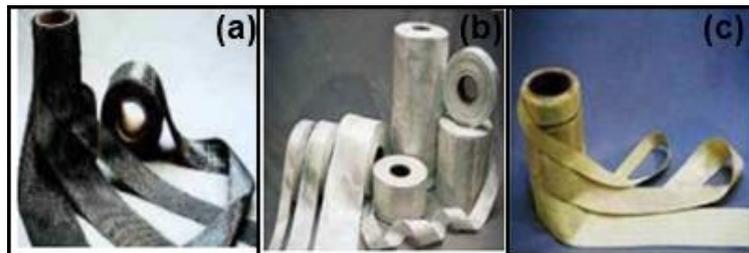
Para Menon (2008), a escolha entre um tipo de fibra e uma matriz depende fundamentalmente da aplicação que será dada ao material compósito: características mecânicas elevadas, resistência à alta temperatura, resistência à corrosão, etc. Além disso, de acordo com Nakamura (2009), devem ser levados em consideração fatores como características do ambiente, durabilidade e tempo de aplicação, além do atendimento aos quesitos de segurança estrutural.

O custo em muitos casos pode também ser um fator de escolha entre um ou outro componente. Deve ser observada também a compatibilidade entre as fibras e as matrizes (MENON, 2008).



Na Figura 1 é possível visualizar os tipos mais recorrentes de fibras para reforço estrutural, segundo Sousa (2008), são elas: fibras de carbono (a), fibras de vidro (b) e fibras de aramida (c).

FIGURA 1. Fibras utilizadas para reforço estrutural, fibras de carbono (a), fibras de vidro (b) e fibras de aramida (c).



Fonte: (Sousa, 2008)

3.1.1 Fibras de Carbono

A utilização das fibras de carbono, foi primeiramente aplicado nas indústrias aeronáuticas, aeroespacial, automobilística, naval e bélica. O emprego dessa técnica como reforço estrutural, significou uma evolução tecnológica para a engenharia civil, que vem buscando a aplicação de novos materiais, com propriedades mecânicas e químicas cada vez mais nobres. As fibras de carbono têm sido bastante utilizadas em estruturas de pontes, viadutos, no reforço de pilares, em vigas submetidas a esforços de flexão e cisalhamento e lajes fletidas (FORTES, 2000).

As fibras de carbono se originam do tratamento térmico (carbonização) de fibras antecessoras orgânicas, tais como o poliácridonitril (PAN) ou com base no alcatrão derivado do petróleo ou do carvão (PITCH) em um ambiente inerte e, também através de fibras de rayon. O processo de produção se constitui da oxidação dessas fibras, seguido do processamento a elevadas temperaturas (variando de 1.000°C a 1.500°C). Ao final desse processo as fibras apresentam os átomos de carbono perfeitamente alinhados ao longo da fibra precursora, essa característica confere ao produto final uma extraordinária resistência mecânica (MACHADO, 2011).



As fibras de carbono geralmente apresentam coloração escura e durante o seu processo de manufatura podem ser manipuladas com o objetivo de se obter resistência e módulos de elasticidade mais elevados. Os filamentos de fibra podem ser produzidos em orientações específicas, como modificação as fases críticas do processo de produção. Quanto mais elevada a temperatura no processo de fabricação maior será o módulo de elasticidade das fibras (GARCEZ, 2007). Entretanto, de acordo com o mesmo autor, o emprego de temperaturas mais elevadas provoca redução da resistência a tração. Segundo Carneiro e Teixeira (2008), as fibras de carbono possuem como vantagens, elevada rigidez e resistência a todos os tipos de ataques químicos (devido ao carbono ser um material inerte), bom comportamento em relação a fadiga, a variação térmica e reológica, e pouco peso. No Quadro 1 é possível observar as principais vantagens e desvantagens das fibras de carbono.

QUADRO 1 – Principais características das fibras de carbono

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Excelentes características mecânicas	Reduzida resistência ao impacto
Elevado módulo de elasticidade longitudinal	Elevada condutibilidade térmica
Baixa massa específica	Fratura frágil
Elevada condutibilidade elétrica	Baixa deformação antes da fratura
Elevada estabilidade dimensional	Baixa resistência à compressão
Baixo coeficiente de dilatação térmica	Elevado custo
Bom comportamento a elevadas temperaturas (sem oxigênio)	
Inércia química (exceto em ambientes fortemente oxidantes)	
Boas características de amortecimento estrutural	

Fonte:(Soares, 2006)

3.1.2 Fibras de Vidro



A produção de fibras de vidro teve início na antiga Síria, Grécia e Egito. A aproximadamente 250 a.C, artesãos começaram a produzir as fibras através de uma vara de vidro aquecida para aplicar como relevo sobre a superfície de produto acabados. Comercialmente, a fibra de vidro começou a ser desenvolvida no ano de 1939, no decorrer da 2^a Guerra Mundial, com o intuito de fornecer rigidez e leviandade aos equipamentos bélicos (OTA, 2004).

De acordo com Almeida (2004), o que é usado neste contexto “fibra de vidro”, consiste num compósito de matriz de resina plástica, reforçada através de fibras de vidro embutidas. Segundo Silva (2014) as fibras de vidro são feitas com composições variadas de diversos elementos químicos, e pelo fato de o vidro ser um material fluido, ele permite uma melhor capacidade de adaptação às cargas dinâmicas.

Ainda de acordo com Silva (2014), os compósitos formados com fibras de vidro recebem a terminologia GFRP (glass fiber reinforced polymer) e dividem-se em:

E-Glass: Sua formulação química resulta em uma grande resistência à corrosão pela maioria dos ácidos;

S-Glass: É a mais cara das fibras de vidro, e sua produção é resultado de um específico controle de qualidade, atendendo a determinados procedimentos e especificações da área militar;

C-Glass: É frequentemente utilizada em indústrias químicas onde é exigido um contato com ácidos altamente corrosivos.

As vantagens e desvantagens deste material se encontram no Quadro 2.

QUADRO 2 – Principais características das fibras de vidro.

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Boa resistência à tração e compressão	Módulo de elasticidade reduzido
Baixo custo, relativamente às outras fibras	Elevada massa específica
Elevada resistência química	Sensibilidade à abrasão
Elevada resistência ao fogo	Sensibilidade a temperaturas elevadas
Boas propriedades de isolamento acústico, térmico e elétrico	Baixa resistência à fadiga

Fonte:(Soares, 2006)



3.1.3 Fibras de Aramida

As fibras de aramida, ou Kevlar, são compostas por materiais orgânicos aromáticos sintéticos, constituídos por carbono, hidrogênio, oxigênio e nitrogênio, são resultantes da extrusão e trefilação de um tipo de nylon, cuja estrutura molecular é formada por cadeias de benzeno e aramida (CARNEIRO E TEIXEIRA, 2008).

A fibra de aramida, é muito semelhante a fibra de carbono. No entanto, exige sobretudo qualidade na mão de obra para aplicação e preparação das superfícies (ROCHA, 2000). Essa fibra, segundo Trombetta (2012), pode ser encontrada sob diversas formas e com diferentes seções transversais.

De acordo com Rocha (2000), a fibra de aramida em por não conduzir eletricidade, é ideal para aplicação e trabalhos subaquáticos. Conforme o mesmo autor, o compósito formado pela fibra Kevlar e o epóxi torna-se a única opção quando se deseja fazer reforços junto à linhas de transmissão ou de comunicação, não oferecendo, por outro lado, interferência eletromagnética às ondas de rádio e de instrumentação.

Caracterizadas por possuírem uma elevada resistência mecânica, alta estabilidade dimensional, módulo de elasticidade relativamente alto e uma baixa densidade (em relação às fibras de carbono e vidro), é muito empregada atualmente como reforço em compósitos de alto desempenho (NOSSA, 2011). Carneiro e Teixeira (2008) defendem que essa fibra tem como vantagens a baixa densidade e retração, e altas resistências à tração e ao impacto.

O Quadro 3 expõe as principais vantagens e desvantagens associadas à utilização deste material.

QUADRO 3– Principais características das fibras de aramida

VANTAGENS	DESVANTAGENS
Baixa massa específica	Baixas resistências à compressão
Elevada resistência à tração	Degradação lenta sob luz (UV)



Elevada resistência ao impacto	Elevada absorção de umidade
Baixa condutibilidade elétrica	Custo relativamente elevado
Boa resistência química (exceto a ácidos e bases concentrados)	Aderência medíocre à maioria das matrizes poliméricas (resinas)
Elevada resistência à abrasão	Má resistência química a ácidos fortes concentrados
Excelente comportamento sob temperaturas elevadas de serviço	

Fonte:(Soares, 2006)

3.2 Análise comparativa das fibras de carbono, vidro e aramida

Na elaboração de um componente estrutural em material compósito procura-se otimizar o aproveitamento das propriedades mecânicas associadas aos reforços fibrosos. Pode-se considerar uma estrutura sob a ação de determinados carregamentos, tais como carregamentos estáticos, dinâmicos ou mesmo esforços combinados, os componentes que a compõem têm que estar capacitados a desempenhar ações de acordo com as condições previstas ou estabelecidas em projetos (CAPELLA et al., 2012).

De acordo com Capella et al. (2012), a seleção dos reforços leva sempre em conta aspectos que variam desde o custo desses materiais até o desempenho pretendido e a técnica de fabricação. Para Meneghetti (2007), a escolha da fibra deve levar em consideração o ambiente ao qual o reforço será exposto e o incremento de carga demandado pela estrutura. Além disso, para este autor, os custos diretos e indiretos de cada sistema devem ser avaliados, resultando numa escolha que compatibiliza custos e necessidades estruturais.

Dessa forma, o Quadro 4 expõe os resultados da comparação entre as fibras de carbono, vidro e aramida e os classifica como ruim, regular, bom e ótimo, em relação à resistência à tração, compressão, fadiga, umidade e isolamento térmico.

QUADRO 4 – Comparativo de desempenho entre fibras de carbono, vidro e aramida.

CARACTERÍSTICAS	FIBRAS		
	CARBONO	VIDRO	ARAMIDA
Resistência à tração	Ótimo	Bom	Ótimo



Resistência à compressão	Ótimo	Bom	Regular
Rigidez	Ótimo	Bom	Bom
Resistência à fadiga	Ótimo	Ruim	Regular
Expansão térmica	Ruim	Ótimo	Ruim
Resistência à umidade	Ótimo	Regular	Regular
Resistência à corrosão	Ruim	Ótimo	Ótimo
Custo	Alto	Baixo	Médio

Fonte:(Perelles et al., 2013)

3.2.1 Resistência à tração

De acordo com Moreira (2009), as três fibras comparadas neste artigo (carbono, fibra e aramida) apresentam como característica uma elevada resistência à tração.

Em relação a fibra de carbono, Garcez (2007) ressalta como uma de suas vantagens uma resistência a tração até dez vezes maior que a do aço na utilização da fibra em compósitos, chegando a ser cinco vezes mais leve que o mesmo. Machado (2002) afirma que, um sistema compósito de fibras de carbono pode alcançar até 3.800 MPa de resistência à tração. Já Meneghetti et al. (2010), em seus estudos obtiveram o valor de 3.400 MPa para a resistência à tração das fibras de carbono, o que corrobora com a afirmação de Machado (2002).

Segundo Silva (2014), as fibras de vidro, em sua fabricação são submetidas a tratamentos superficiais, que variam de acordo com as propriedades desejadas para o material, sendo assim, podem ser classificadas em: A, E, S e R, de acordo com sua composição e aplicação.

A fibra do tipo A, fortemente alcalina foi sendo substituída pela fibra do tipo E, um vidro borossilicato com baixas quantidades de compostos alcalinos. Este tipo de fibra predomina em compósitos de matriz polimérica por causa das suas elevadas propriedades de isolamento elétrico, boa resistência à humidade e elevadas propriedades mecânicas. A fibra de vidro do tipo S caracteriza-se por uma maior resistência ao calor, boa resistência à tração e elevado módulo de Young, sendo, porém, de custo mais elevado. Outras fibras especiais de vidro, como AR ou R, possuem melhor resistência química (SILVA, 2014). Para Meneghetti et al. (2010), o valor de resistência à tração das fibras de vidro é de 1.517 MPa.



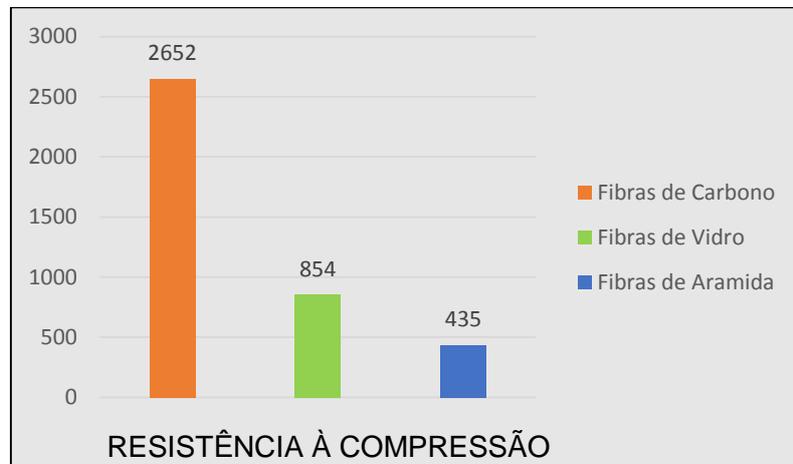
A aramida por sua vez, por ser uma fibra orgânica, em poliamida aromática, apresenta altíssima resistência à tração. Dado que a adição em uma matriz epóxica, promove um extraordinário aumento na resistência à flexão, tração e impacto. Oferecendo uma resistência à tração, em projeto, de 2.131 MPa (ROCHA, 2000), próximo ao valor encontrado por Meneghetti et al. (2010), de 2.173 MPa.

3.2.2 Resistência à compressão

Estudos apontam que no reforço com fibras, o comportamento à compressão (resistência, módulo de elasticidade, deformação específica relativa a tensão máxima) não é tão melhorado quanto o comportamento à tração e à flexão (MEDEIROS, 2012). Nesse sentido, a fibra de aramida mesmo quando solicitada a níveis de tensão relativamente baixos, apresenta um comportamento não linear à compressão. Correspondendo a apenas 20% de sua resistência a tração, o que desfavorece a fibra de aramida se compara a utilização de outras fibras. De modo geral, as fibras de carbono e vidro quando submetidas a tensões de compressão, apresentam desempenho superior no reforço de elementos estruturais (PERELLES et al., 2013).

De acordo com Isis (2003), se comparado a resistência a tração, a fibra de carbono apresenta uma resistência a compressão de 78%, a fibra de vidro 55% e a fibra de aramida 20%. Baseado na afirmação de Isis (2003), o Gráfico 1 representa os valores de resistência à compressão das fibras, baseados nos valores de resistência à tração atribuídos por Meneghetti et al. (2010).

GRÁFICO 1- Resistências à compressão axial de polímeros à base de fibras (Mpa).



Fonte:(Isis, 2003; Meneghetti et al., 2010)

3.2.3 Rigidez

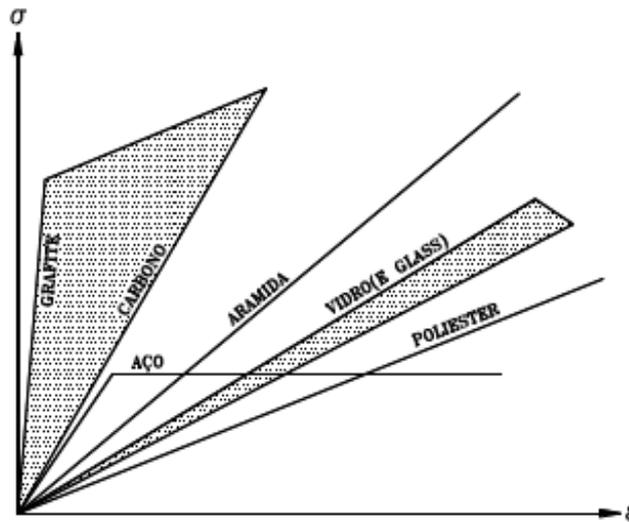
A rigidez de um material é medida de acordo com seu módulo de elasticidade, dessa forma, se o material exibe valor elevado desse parâmetro, significa que uma tensão mecânica elevada será necessária para deformá-lo (MORA et al., 2010).

De acordo com Taylor (1994), elementos de grande rigidez, possuem também elevada resistência à tração, à compressão e ao impacto, além de melhor resistência à fadiga.

Para Beber (2003), as fibras de carbono possuem alto módulo de elasticidade, na ordem de 100 GPa a 300 GPa, porém de acordo com Machado (2011), os valores variam de acordo com a orientação das fibras, ou seja, do paralelismo entre os eixos. As fibras de aramida apresentam módulo de elasticidade que variam de 60 GPa a 120 GPa (BEBER, 2003). Em relação a fibra de vidro, Carneiro e Teixeira (2008) afirmam que a fibra de aramida é mais rígida, pois embora a fibra de vidro apresente boa capacidade de deformação, sofre degradação sob luz solar.

Conforme Machado (2011) o processo térmico de produção das fibras confere extraordinária resistência mecânica ao produto final, como pode ser visto no Gráfico 2.

GRÁFICO 2 -Diagrama tensão X deformação das fibras



Fonte:(Machado, 2011)

A produção das fibras é dada partir da oxidação das fibras precursoras, seguido do processamento em temperaturas elevadas (para as fibras de carbono variam de 1.000°C a 1.500°C, para as fibras de grafite chega a cerca de 3.000°C). Quanto mais elevada a temperatura em que o processo indústria é realizado, maior será o módulo de elasticidade do material resultante (MACHADO, 2011).

3.2.4 Resistência à fadiga

Do ponto de vista da engenharia, a fadiga é entendida como um modo de ruptura que envolve a formação e o crescimento progressivo de uma fissura em qualquer elemento estrutural submetido a carregamento variável no tempo. Esse fenômeno ocorre mesmo quando a amplitude máxima do carregamento induz a tensões bem inferiores à resistência estática do material utilizado (MENEGHETTI, 2007).

Pode-se considerar que os reforços com fibras de carbono favorecem a resistência à fadiga dos elementos reforçados, já que proporcionam uma redução na fissuração e melhoram a distribuição das fissuras ao longo do elemento, antes da ruptura (PERELLES et al., 2013).

Meneghetti et al. (2010) confeccionaram corpos de prova, produzidos a partir de três mantas de fibras: carbono, vidro e aramida, e, duas formulações adesivas de base epóxi, bicomponente, selecionadas de acordo com as recomendações dos fabricantes das



fibras. Os corpos de prova originados desses compósitos, foram cortados nas dimensões 250 mm x 400 mm e submetidos a cargas de tração cíclica a uma frequência de 5 Hz até a ruptura. Constataram que a carga máxima aplicada variou na faixa de 0,45 a 0,80 da tensão última à tração, mantendo sempre a razão $R=0,1$ (razão entre a carga mínima e a máxima). Os resultados mostraram que a fibra de carbono apresenta o melhor desempenho à fadiga, seguida pela aramida e pelo vidro. Para o autor referido, o desempenho inferior exibido pelas fibras de vidro pode estar relacionado com o fenômeno de ruptura dos filamentos que compõem o compósito logo no início do carregamento, fazendo com que se perca o efeito de reforço da matriz, prejudicando as características mecânicas do conjunto.

3.2.5 Expansão térmica

Os coeficientes de dilatação térmica dos compósitos poliméricos diferem em função do tipo de resina, do tipo de fibras, da percentagem volumétrica de fibras e de sua orientação no compósito (CARNEIRO E TEIXEIRA, 2008).

Segundo Carneiro e Teixeira (2008), na direção paralela às fibras, os compósitos de resinas e fibras de aramida se contraem com o aumento da temperatura, os de fibras de vidro possuem coeficiente de dilatação térmica semelhante ao do concreto e os de fibras de carbono possuem este coeficiente quase nulo.

De acordo com Perelles et al. (2013), embora os coeficientes de expansão térmica das resinas e dos adesivos também devam ser considerados quando se avalia a aplicação de um polímero reforçado com fibras em estruturas de concreto, os reforços com fibra de vidro parecem ser mais adequados à utilização nestas estruturas, devido à similaridade nos coeficientes de expansão térmica das fibras de vidro e do concreto.

Quanto ao seu comportamento térmico, as fibras de carbono possuem coeficiente de dilatação térmica longitudinal de valor negativo (cerca de $-10^{-6}/^{\circ}\text{C}$). Ou seja, com o aumento de temperatura a fibra retrai e com redução da temperatura, ela expande. Esta característica pode ser prejudicial já que o concreto tem coeficiente da mesma ordem,



no entanto positivo, deformando de maneira oposta à fibra com a variação térmica (MACHADO, 2011).

3.2.6 Resistência à umidade

De acordo com Bernardi (2003), a absorção de água é uma propriedade que deve ser considerada, uma vez que, a maioria das fibras apresenta uma certa porosidade e é suscetível a variações volumétricas ou químicas induzidas pela exposição à água.

A presença de umidade pode ocasionar perdas substanciais nas propriedades físicas dos compósitos, quando seus materiais componentes apresentam elevados índices de retenção de água. As fibras de carbono apresentam baixa retenção de água e por isso podem ser consideradas como as menos afetadas pela presença de umidade. Em contrapartida, as fibras de aramida e vidro apresentem elevada retenção de água. Visto isso, a sua utilização é mais indicada para ambientes onde os teores de umidade ou de vapor de água sejam reduzidos (PERELLES et al., 2013).

A degradação das fibras de vidro devido a presença de umidade é iniciada pela extração de íons da fibra pela água. Estes íons combinam com as moléculas de água, formando bases que atacam as fibras de vidro, podendo afetar de forma significativa a sua resistência (KARBHARI, 2001 apud GARCEZ, 2007).

Já as fibras de Aramida, conforme Garcez (2007), absorvem mais de 13% de umidade em peso, o que pode gerar como consequência um efeito prejudicial na resistência a tração e pode também afetar a interface fibra-matriz.

3.2.7 Resistência à corrosão

A resistência a corrosão é uma característica essencial para se garantir a durabilidade das estruturas reforçadas. Nesse critério a fibra de carbono sai em desvantagem em relação as demais. As fibras de carbono são condutoras, e podem ocasionar corrosões galvânicas quando em contato com a armadura (GARCEZ, 2007).

Para evitar a ocorrência do processo de corrosão, é de extrema importância que haja atenção do projetista de sistema de reforço, para que seja evitado o contato direto do reforço com o aço (PERELLES et al., 2013). Garcez (2007), também recomenda que



caso não seja possível evitar o contato do reforço com a armadura o emprego de uma matriz de resina envolvente evita o problema em situações nas quais o reforço é moldado in loco.

No que se diz respeito as fibras de vidro e aramida, ambas são isolantes e não transmitem correntes elétricas, o que impede o processo de corrosão do tipo eletroquímico (GARCEZ, 2007).

3.2.8 Custo

A fibra de carbono, segundo Leite (2014), contém a melhor combinação de propriedades mecânicas, mas também é mais cara que a fibra de vidro e aramida. Corroborando ao exposto por Machado (2011), que quanto maior o módulo de elasticidade maior é o custo do material.

As fibras de vidro apresentam um custo bem inferior das fibras de carbono e aramida. Entretanto, deve-se analisar que para atingir o mesmo nível de um reforço dimensionado com fibra de carbono utilizando a fibra de vidro, é necessária a utilização de uma quantidade bem maior de fibra de vidro em relação à quantidade de fibra de carbono utilizada. A utilização de uma maior quantidade de fibra, por sua vez, exige a utilização de mais resina ou adesivo e consome mais horas de trabalho, aumentando o custo de utilização do sistema. Portanto, somente a análise da relação custo-benefício referente à utilização de cada sistema de reforço permitirá a escolha da fibra mais adequada para formar o compósito (PERELLES et al., 2013).

4. Considerações Finais

O reforço estrutural com fibras tem sido empregado cada vez mais. A sua utilização é dada principalmente por aspectos como: falta de manutenção ao longo da vida útil da construção; falhas humanas que podem ocorrer em etapas do projeto e/ou construção; alterações na finalidade das edificações, de acordo com as necessidades do proprietário, que podem elevar as cargas solicitantes da estrutura. Ademais, as estruturas de concreto armado têm sua durabilidade limitada, e tendem a apresentar falhas e perda de resistência, com o passar do tempo (PIVATTO, 2014).



Dessa forma a utilização do reforço com fibras se faz relevante por se tratar de uma reabilitação da estrutura, cuja principal finalidade é garantir a funcionalidade e segurança da edificação, evitando também o surgimento de patologias.

No presente trabalho foram apresentadas as características, vantagens e desvantagens das principais fibras utilizadas para reforço estrutural, em estruturas de concreto armado.

A fibra de carbono, por exemplo, apesar de apresentar ótimos comportamentos na maioria das características analisadas, não é indicada para locais onde estarão sujeitas a expansão térmica. Da mesma forma, as fibras de aramida também não devem ser utilizadas em locais onde sofrerão grandes expansões térmicas, no entanto possuem ótimos comportamentos quando solicitadas à tração. Já as fibras de vidro, podem ser utilizadas em locais propícios a expansões térmicas, porém são pouco resistentes à fadiga.

Contudo, é possível inferir que, a escolha do material a ser empregado para reforço deve levar em consideração não apenas o custo, deve-se considerar as condições das estruturas a serem reforçadas, além de aspectos aos quais elas estarão sujeitas, como umidade, temperatura, etc., que são particulares de cada projeto.

5. Referências

ALMEIDA, Sandra Penha Souza. **Avaliação das Propriedades Mecânicas de Compósitos Pultrudados de Matriz Polimérica com Reforço de Fibra de Vidro**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2004. Disponível em: <http://www.coc.ufrj.br/teses/mestrado/estruturas/2004/Teses/ALMEIDA_SPS_04_t_M_est.pdf>. Acesso em: 07 nov. 2018.

BEBER, Andriei José. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/2974/000379925.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

BERNARDI, Stefania Tesi. **Avaliação do comportamento de materiais compósitos de matrizes cimentícias reforçadas com fibra de aramida Kevlar**. Porto Alegre: Universidade do Rio Grande do Sul, 2003. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/3596/000402339.pdf?sequence=1>> Acesso em: 22 set. 2018.



BRONZE, Ricardo Alves. **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. Disponível em:
<<http://monografias.poli.ufrj.br/monografias/monopoli10017651.pdf>> Acesso em: 21 set. 2018.

CAPELLA, M. C.; SOUFEN C. A.; CORREIA, G. V.; GRIZOLA, O. S.; PINTÃO, C. A. F.; IMAIZUMI M. **Propriedades mecânicas em laminados fibras de vidro e fibra de carbono em resina epóxi.** Joinville: Congresso Brasileiro de Engenharia e Ciência dos Materiais, 2012. Disponível em: <<http://www2.fc.unesp.br/gsm/dnm/soufen/417-223.pdf>>. Acesso em: 21 nov. 2018.

CARNEIRO, Luiz Antônio Vieira; TEIXEIRA, Ana Maria Abreu Jorge. **Propriedades e características dos materiais compósitos poliméricos aplicados na Engenharia de Construção.** 2008. Disponível em:
<http://rmct.ime.eb.br/arquivos/RMCT_3_quad_2008/propr_caract_compostos_compositos.pdf> Acesso em: 12 nov. 2018.

DIÓGENES, Beatriz Helena Nogueira. **O emprego do concreto armado na arquitetura de Fortaleza.** IBRACON, 2006. Disponível:
<<http://conteconcreto.com.br/site/artigos/O-emprego-do-concreto-armado-na-arquitetura-de-Fortaleza.pdf>> Acesso em: 21 set. 2018.

FIORELLI, Juliano. **Utilização de fibras de carbono e de fibras de vidro para reforço de vigas de madeira.** Universidade de São Paulo. São Paulo: 2002. Disponível em:
<<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-12052003-144536/pt-br.php>>. Acesso em: 22 set. 2018.

FORTES, Adriano Silva. **Vigas de concreto armado reforçadas com fibra de carbono.** Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 2000. Disponível em:
<<https://core.ac.uk/download/pdf/30359285.pdf>> Acesso em: 12 nov. 2018.

GARCEZ, Mônica Regina. **Alternativas para melhoria no desempenho de estruturas de concreto armado reforçadas pela colagem de polímero reforçados com fibra.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2007. Disponível em:
<<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/10593/000599781.pdf?sequence=1&isAllowed=y>> Acesso em: 24 out. 2018.

HIGASHI, Marcos Maki Yamasaki. **Reforço em Estruturas de Betão Armado com Chapas de Aço.** Instituto Superior de Engenharia de Porto. Porto, 2016. Disponível em:
<http://recipp.ipp.pt/bitstream/10400.22/9171/1/DM_MarcosHigashi_2016_MEC.pdf>. Acesso em: 26 nov. 2018.



Intelligent Sensing for Innovative Structures. **ISIS Educacional Modules about FRP**. Winnipeg: ISIS, 2003.

LEITE, Vinicius Reis. Estado da arte dos materiais compósitos na indústria aeronáutica. Revista de Ciência Exatas. Universidade de Taubaté. Taubaté, 2014. Disponível em: <<http://revistas.unitau.br/ojs/index.php/exatas/article/view/2014/1418>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

MACHADO, Ari de Paula. **Manual de reforço das estruturas de concreto armado com fibra de carbono**. São Paulo. 2011. Disponível em: <<http://viapol.com.br/media/97576/manual-fibra-de-carbono.pdf>> Acesso em: 24 out. 2018.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono**. 282 p.1 Ed., São Paulo, 2002.

MEDEIROS, Athur. **Estudo do comportamento à fadiga em compressão do concreto com fibras**. Rio de Janeiro: Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, 2012. Disponível em: <http://www.civ.puc-rio.br/wp-content/view/down_pdf.php?pdf=../pdf/2012_Arthur_Medeiros.pdf> Acesso em: 22 nov. 2018.

MENEGHETTI, Leila Cristina. **Análise do comportamento à fadiga de vigas de concreto armado reforçadas com PRF de vidro, carbono e aramida**. Porto Alegre: Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2007. Disponível em: <<https://lume.ufrgs.br/bitstream/handle/10183/12145/000622686.pdf?...1>> Acesso em: 22 set. 2018.

MENEGHETTI, Leila Cristina; GARCEZ, Mônica Regina; FILHO, Luiz Carlos Pinto da Silva; GASTAL, Francisco de Paula Simões Lopes. **Resistência à Fadiga de Polímeros Reforçados com Fibras de Aramida, Vidro e Carbono**. Revista Engenharia Estudo e Pesquisa. 2010. Disponível em: <http://www.revistaeeep.com/imagens/volume10_02/cap02.pdf>. Acesso em: 21 nov. 2018.

MENON, Nara Villanova. **Estudo experimental de sistemas de reforço ao cisalhamento em vigas de concreto armado utilizando-se polímero reforçado com fibras de carbono (PRFC)**. Florianópolis: Universidade Federal de Santa Catarina, 2008. Disponível em: <<https://core.ac.uk/download/pdf/30372849.pdf>>. Acesso em: 15 nov. 2018.

MONTEIRO, Carlos Alberto Cardoso. **Estudo de viabilidade técnica e económica do reforço de elementos estruturais**. Lisboa: Instituto Superior de Engenharia de Lisboa. 2017. Disponível em: <<https://repositorio.ipl.pt/bitstream/10400.21/7937/1/Disserta%C3%A7%C3%A3o.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.



MORA, Nora Díaz; LUCAS, Juliana Fenner R.; MARAN, Maycon A. **Propriedades mecânicas de materiais**. Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Foz do Iguaçu, 2010. Disponível em: <<http://www.foz.unioeste.br/~lamat/downmateriais/materiaiscap10.pdf>>. Acesso em: 24 nov. 2018.

MOREIRA, Anabela Mendes. **Materiais Compósitos**. Instituto Politécnico de Tomar – ESTT. 2009. Disponível em: <http://www.estt.ipt.pt/download/disciplina/2932__Compositos_MC1.pdf>. Acesso: 25 nov. 2018.

NAKAMURA, Juliana. **Reparo, reforço e recuperação de concreto**. Revista Técnica, ed. 146, mai. 2009. Disponível em: <<http://www.revistatechne.com.br/engenharia-civil/146/artigo139046-1.asp>>. Acesso em: 11 out. 2018.

NOSSA, Tamires de Souza. **Estudo comparativo das Tensões na Interface de Compósitos de Resina Epóxi Reforçados com Fibras de Carbono, Aramida e Vidro**. Universidade Federal de São Carlos, Sorocaba. 2011. Disponível em: <https://repositorio.ufscar.br/bitstream/handle/ufscar/1161/NOSSA_Tamires_2011.pdf?sequence=1&isAllowed=y>. Acesso em: 25 fev. 2019.

OTA, Waldyr Naoki. **Análise de compósitos de polipropileno e fibras de vidro utilizados pela indústria automotiva nacional**. Universidade Federal do Paraná, PR, 2004. Disponível em: <<http://dspace.c3sl.ufpr.br/bitstream/1884/1285/1/WALDYR%20NAOKI%20OTA.pdf>>. Acesso em: 9 nov. 2012.

PERELLES, D. H.; MEDEIROS, M. F.; GARCEZ, M. R. **Aplicação da análise hierárquica como ferramenta de tomada de decisão para escolha do compósito de reforço com polímeros reforçados com fibras**. Revista ALCONPAT. 2013. Disponível em: <<http://revistaalconpat.org/index.php/RA/article/view/52>>. Acesso em: 6 nov. 2018.

PIVATTO, Amanda Brandenburg. **Reforço estrutural à flexão para viga biapoiada de concreto Armado por chapas metálicas e compósito reforçado com Fibras de carbono**. Curitiba: Universidade Federal do Pará, 2014. Disponível em: <http://www.dcc.ufpr.br/mediawiki/images/8/8e/Amanda_Pivatto_2014.pdf> Acesso em: 22 nov. 2018.

RIBEIRO, Carmen Couto. **Materiais de construção civil**. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2002.

ROCHA, Carlos Carvalho. **A fibra de Aramida**. Revista Recuperar, Ano 7. nov./dez., 2000.



SILVA, Henrique Pereira. **Comportamento mecânico de compósitos de fibra de vidro/epoxy nano-reforçados**. Portugal, Coimbra: Universidade de Coimbra, 2014. Disponível em: < <https://core.ac.uk/download/pdf/43579528.pdf> > Acesso em: 22 nov. 2018.

SOARES, C. M. **Reforço de Estruturas de Betão Armado com CFR** - 1^a Edição, Universidade Fernando Pessoa (UFP). Porto - Portugal, 2006.

SOUSA, Álvaro Fernando Vieira da Silva. **Reparação, reabilitação e reforço de estruturas de betão armado**. Universidade do Porto. Porto: 2008. Disponível em: <<https://repositorio-aberto.up.pt/bitstream/10216/58292/1/000129827.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2018.

TAYLOR, G.D. **Materials in Construction**. Londres: Longman Scientific & Technical. 1994.

TROMBETTA, Fabiane. **Uso de fibras aramidadas para melhoria de propriedades de compostos de borrachas nitrílicas**. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre. 2012. Disponível em: <<https://www.lume.ufrgs.br/handle/10183/79815>>. Acesso em: 25 fev. 20