



AVALIAÇÃO DO USO DE COMPÓSITO DE FIBRAS DE CARBONO COMO ELEMENTO DE REFORÇO EM ESTRUTURAS DE CONCRETO

FERNANDES, Emerson (1); RAMOS, João (2); FIGUERO, Felipe (3);
BARRETO, Eliana (4)

Universidade Católica de Pernambuco, messonandes@gmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, joaoluiz.civil@gmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, eng2.felipe@gmail.com; Universidade Católica de Pernambuco, eliana@poli.br

RESUMO

Este artigo tem como objetivo identificar os conceitos que definem a fibra de carbono como material constituinte de um de reforço estrutural, devido à grande necessidade de novas alternativas mais sustentáveis e tecnológicas, visando o aumento de reforços eficientes os quais serão responsáveis por não alterar as seções dos elementos bruscamente, foi analisado o seu comportamento mecânico, verificando a viabilidade de sua aplicação e sua praticidade. A Proposta é avaliar a fibra de carbono como material constituinte de um compósito, aplicando em corpos de prova prismáticos de concreto simples para ensaiá-las por meio do ensaio de tração na flexão como disposta na NBR12142 e aplicá-la em corpos de provas cilíndricos para determinação comparativa da compressão diametral como disposta na NBR7222. Observa-se a melhora expressiva nos elementos reforçados com a fibra de carbono, para o ensaio de compressão diametral o acréscimo de resistência chega a 63%, no ensaio de resistência a tração na flexão temos um acréscimo de resistência a tração de 220%. Vê-se que a fibra rompe após a ruptura do concreto quando analisado os corpos de prova em compressão diametral e a ruptura dos elementos em tração na flexão se deu na interface do reforço e do corpo de prova.

Palavras-chave: Compósito. Reforço Estrutural. Fibra de Carbono.

ABSTRACT

This article aims to identify the concepts that define carbon fiber as a constituent material of a structural reinforcement, due to the great need for new, more sustainable and technological alternatives, aiming at increasing efficient effluents which are responsible for Do not change sections of the elements abruptly, was analyzed its mechanical behavior, verifying a feasibility of its application and its practicality. The proposal is to evaluate a carbon fiber as a constituent material of a composite, applying in prismatic concrete specimens to test them by means of the flexural tensile test as device in NBR12142 and apply it in cylindrical test bodies to Comparative determination of diametral compression as set forth in NBR7222. It is observed the significant improvement in the reinforced elements with a carbon fiber, for the test of diametral compression or increase of resistance reaches 63%, without tensile strength test in the flexion. An increase in tensile strength of 220%. It is seen that the fiber breaks after the rupture of the concrete when analyzing the specimens in diametral compression and the rupture of the elements in traction in the flexion occurred in the interface of the reinforcement and the body of evidence.

Keywords: Composite. Structuralreinforcement. Carbonfiber.

1 INTRODUÇÃO

O início da pesquisa em relação a utilização de materiais compósitos na construção civil foi desenvolvido no Japão, devido aos problemas e danos estruturais originados por abalos sísmicos, pois as estruturas necessitavam de recuperação e reforço em um curto intervalo de tempo.

Foram executados reforço de pilares com fibras de carbono, de modo a enrijecer os pontos das estruturas, buscando reduzir os danos causados pelos abalos sísmicos.

Nos EUA esse tipo de material foi utilizado em projetos aeroespaciais da NASA, posteriormente sua utilização estendeu-se à indústria automobilística.

O reforço com compósitos de fibra de carbono além de possuir características semelhantes às encontradas em sistemas de reforços realizados com chapas de aço, tais como a enorme variedade de casos em que podem ser empregadas, é uma técnica rápida, fácil e de eficaz aplicação. O fato das dimensões das estruturas permanecerem praticamente inalteradas é um fator determinante na adoção desse tipo de reforço. O baixo peso específico do sistema.

Reforço Estrutural é a Intervenção em uma estrutura existente, aumentando sua capacidade resistente antes de atingir o seu estado limite. (CÁNOVAS, 1988)

Segundo Beber (2003), juntamente com o advento do concreto surgiu a demanda pelo reforço estrutural, como uma resposta aos diversos problemas das construções.

2. USO DE COMPÓSITOS COMO REFORÇO ESTRUTURAL EM CONCRETO ARMADO.

Nos últimos tempos, tem-se buscado soluções para a grande preocupação com a questão da durabilidade das construções, devido às exigências de seu desempenho, do conforto em sua utilização e de todo custo envolvido em seu reparo para situações de falhas. (CÁNOVAS, 1988)

Com a crescente necessidade de reparar as estruturas foram desenvolvidas diversas técnicas para se encaixar não só com a necessidade, mas também com a possibilidade de execução em diversos meios existentes.

2.1 Compósitos e suas principais matrizes

Os compósitos, também chamados de composites, são materiais formados pela união de outros materiais com o objetivo de se obter um produto de maior qualidade.

Segundo Matthys (2000), a síntese de materiais compósitos se dá por misturar compostos de naturezas diferentes com o intuito de imprimir novas propriedades aos materiais. Por ser um material multifásico, um compósito exhibe além das propriedades inerentes de cada constituinte, propriedades intermediárias que vem da formação de uma região interfacial.

As fases dos compósitos são chamadas de matriz; que podem ser cerâmicas, poliméricas e metálicas. E a fase dispersas; geralmente fibras ou partículas que servem como carga.

A matriz geralmente é um material contínuo que envolve a fase dispersa. As propriedades do compósito é uma função de fatores como a geometria da fase dispersa, distribuição, orientação e também da compatibilidade interfacial entre os constituintes da mistura. Ou seja, para que se forme um compósito é necessário que haja afinidade entre os materiais que serão unidos. Por isso, é muito importante conhecer as propriedades químicas e físicas dos diferentes materiais envolvidos; mais especificamente as propriedades das interfaces dos constituintes dos compósitos.

Muitas das nossas tecnologias modernas requerem materiais com combinações bem peculiares de propriedades que não podem ser atendidas por ligas

metálicas, cerâmicas e materiais poliméricos, são exemplos de tecnologias indispensáveis em aplicações aeroespaciais, subaquáticas e de transporte.

Principalmente na última década, a busca por materiais ecologicamente corretos tem desenvolvido materiais de matrizes poliméricas com fibras naturais. A princípio as fibras naturais apresentaram poucas vantagens, pois geralmente às propriedades mecânicas são pioradas ou se mantêm quase inalteradas. Contudo, o apelo comercial venceu em vista dos baixos custos destas fibras, que são originárias de fontes renováveis e inesgotáveis, por possuírem baixa densidade, menor abrasão causada nas máquinas de processamento e também por terem a capacidade de boa adesão à matriz e o uso destas fibras em compósitos estruturais tem crescido no setor industrial.

3. METODOLOGIA E MATERIAIS EMPREGADOS NA AVALIAÇÃO.

3.1.1 Cimento Portland CPV ARI

Este é um Cimento Portland de Alta Resistência Inicial, com resistência mínima à compressão de 32 MPa aos 28 dias de idade, com uma relação água/cimento de 0,48. Este Cimento tem a peculiaridade de atingir altas resistências já nos primeiros dias da aplicação. O desenvolvimento da alta resistência inicial é conseguido pela utilização de uma dosagem diferente de calcário e argila na produção do clínquer, bem como pela moagem mais fina do cimento, de modo que, ao reagir com a água, ele adquira elevadas resistências, com maior velocidade. O clínquer é o mesmo utilizado para a fabricação de um cimento convencional, mas permanece no moinho por um tempo mais prolongado. O cimento continua ganhando resistência até os 28 dias, atingindo valores mais elevados que os demais, proporcionando maior rendimento ao concreto. O CP V-ARI assim como o CP-I não contém adições (porém pode conter até 5% em massa de material carbonário). O que o diferencia deste último é o processo de dosagem e produção do clínquer. O CP V-ARI é produzido com um clínquer de dosagem diferenciada de calcário e argila se comparado aos demais tipos de cimento e com moagem mais fina. Esta diferença de produção confere a este tipo de cimento uma alta resistência inicial do concreto em suas primeiras idades, podendo atingir 26MPa de resistência à compressão em apenas 1 dia de idade. É largamente utilizado em produção industrial de artefatos, onde se exige desforma rápida, concreto protendido pré-tensionado e pós-tensionado, pisos industriais e argamassa armada. Por se tratar de um cimento de maior custo de produção e, normalmente, com preços mais elevados que os demais tipos, em 2012 apenas 8% de todo o cimento consumido no Brasil foi do tipo CP V-ARI.

3.1.2 Areia úmida com compensação de umidade

Secou-se uma certa massa de areia da qual utilizou-se 300g para a realização da análise granulométrica. Devido a umidade higroscópica e ambiente utilizou-se o teste Speedy-Test e o método da estufa para determinar a umidade da areia no dia da produção do concreto. O ensaio granulométrico da areia nos forneceu importante conhecimento do agregado miúdo e graúdo estando os mesmos resultados nas Figuras 1 e 2 dispostos a seguir.

Figura 1 – Gráfico Granulometria Agregado Miúdo

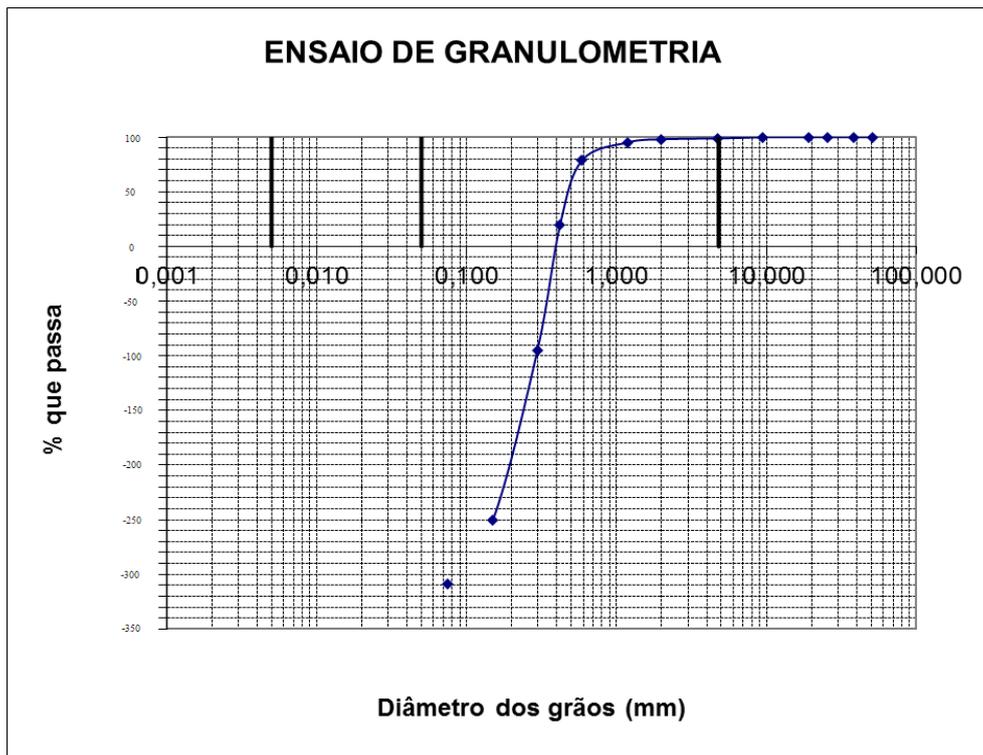
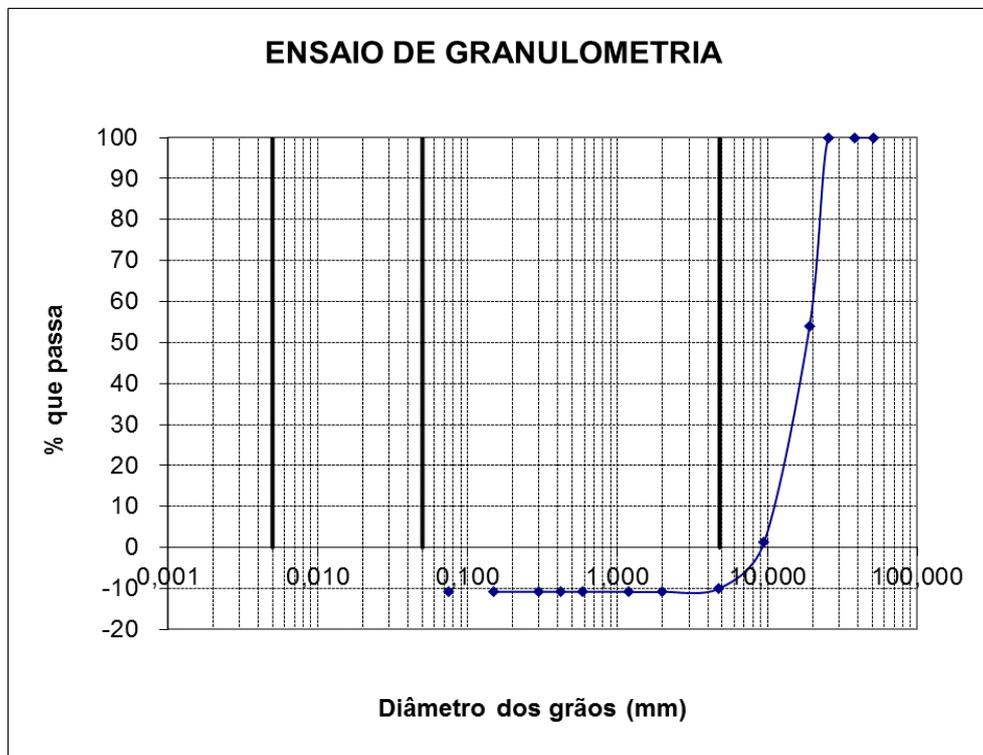


Figura 2 – Gráfico Granulometria Agregado Graúdo



3.1.3 Água

Água respeitando os padrões de amassamento, como previsto na NBR12655 – 2015.

3.1.4 Parâmetros de Partida

Foram estabelecidos os seguintes parâmetros para a realização da dosagem experimental dos corpos de prova:

- Relação água/cimento (a/c): 0,48
- Relação água/materiais secos (A%): 10%
- Teor de argamassa (α): 0,50

3.2 Execução dos corpos de prova

Após a definição do traço da dosagem experimental do concreto, fizemos a pesagem dos seguintes materiais selecionados no laboratório, assim possibilitando a execução do concreto. Feita a pesagem, a segunda etapa foi fazer a mistura dos materiais na betoneira, para que assim homogeneização do concreto.

3.3 Aplicação do reforço

Para a aplicação do reforço foi dividida em 3 passos.

- Preparação da Base;
- Preparação da resina epóxi e saturação da fibra de carbono;
- Aplicação.

3.3.1 Preparação da Base

Foi utilizado uma escova de aço para retirada da camada primária do concreto e abertura de poros para melhor aderência da resina epóxi como está na Figura 3 e na Figura 4.

Figura 3 Limpeza Corpo de Prova Prismático



Fonte: Autores(2017)

Figura 4 Limpeza Corpos de Prova Cilíndricos



Fonte: Autores(2017)

3.3.2 Preparação da Resina Epóxi

A preparação da resina epóxi é realizada com a mistura da resina com seu catalisador, essa mistura deve ser executada na proporção de 2 para 1 ou seja, duas partes de resina para uma parte de catalisador, ao juntá-las no mesmo recipiente deve-se homogeneizar por cerca de 1 minuto e após isso, esperar em média 5 minutos para que se comece a reação. Caso não se respeite esses procedimentos a resina pode-se tornar um ponto de ruptura no compósito.

Figura 5 Homogeneização de resina com o Catalisador



Fonte: Autores(2017)

3.3.3 Saturação da Fibra de Carbono e do meio à qual será aplicada

O método utilizado para saturação da fibra é normatizado na ACI Committee 440 que consiste em uma dupla colagem, ou seja, deve ser imprimida a resina na fibra de carbono e no corpo ao qual a fibra será posicionada como mostra na Figura 6 e na Figura 7, após o posicionamento da fibra no corpo receptor, também deve ser imprimida a resina na parte superior da fibra já posicionada a fim de fechar os poros da fibra impermeabilizando-a e impedindo a entrada de gases.

Figura 6 Imprimação da Resina epóxi no Corpo receptor prismático



Fonte: Autores(2017)

Figura 7 Imprimação da Resina epóxi na Fibra de carbono



Fonte: Autores(2017)

Após todo o procedimento de aplicação, deve-se esperar 48 horas para que a cura da resina seja finalizada.

3.3.4 Famílias de estudo

Para fins de planejamento, as famílias foram divididas em 2, a primeira família sendo a de referência e a segunda família sendo a família de reforço direto.

Para as famílias foram executados 12 corpos de prova sendo eles:

Família 1:

- 2 Corpos de prova prismáticos para o ensaio de Tração na flexão.
- 6 Corpos de prova cilíndricos sendo deles 2 para ensaio de compressão diametral e 4 para ensaio de compressão axial.

Família 2:

- 2 Corpos de prova prismáticos para o ensaio de Tração na flexão com reforço.
- 2 Corpos de prova cilíndricos para ensaio de compressão diametral com reforço.

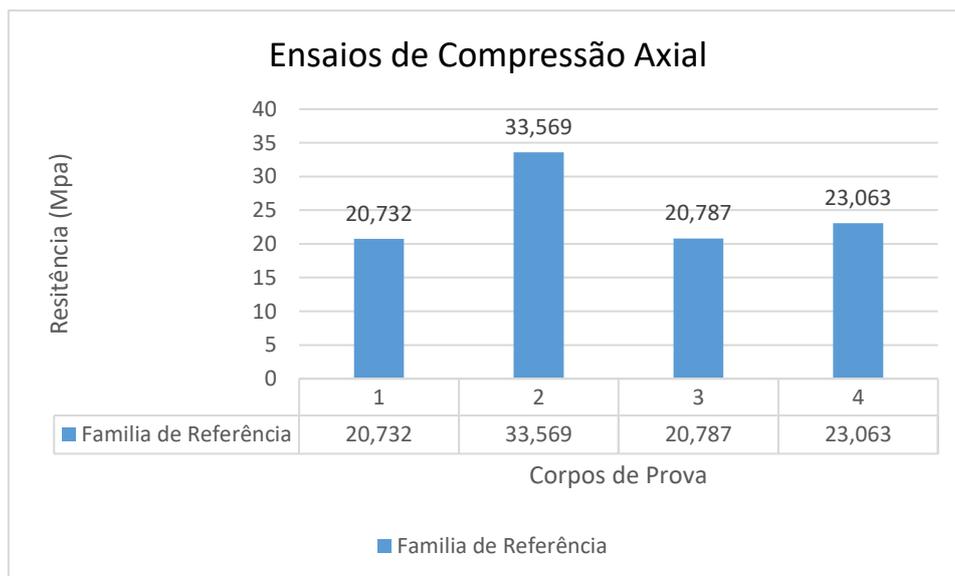
Os Corpos de provas foram dimensionados de maneira normativa, logo os corpos de prova cilíndricos têm 10x20cm e os corpos de prova prismáticos 10x10x40cm.

4. RESULTADOS E COMENTARIOS

A NBR6118 – 2014 faz uma análise estatística comparando a resistência a compressão do concreto com a resistência a tração do mesmo, com os ensaios percebeu que a resistência a tração do concreto se aproxima de 10% da resistência a compressão do concreto, por esse motivo, foi confeccionado 4 corpos de prova para compressão axial, para efeito comparativo. Todos os ensaios foram executados há 7 dias, com uma expectativa média de 22-26Mpa na compressão. Logo utilizando o critério da norma, 2,2 a 2,6Mpa de tração. Como definido no planejamento experimental, foram realizados os ensaios após 7 dias da confecção dos corpos de prova. Os corpos 2 e 4 atenderam às expectativas ficando entre 22-26Mpa já os corpos de prova 1 e 3 ficaram abaixo como mostra no Figura 8, isso pode acontecer por algum erro no processo de retificação da superfície, ou algum tipo de vazio que tenha ficado na sua confecção.

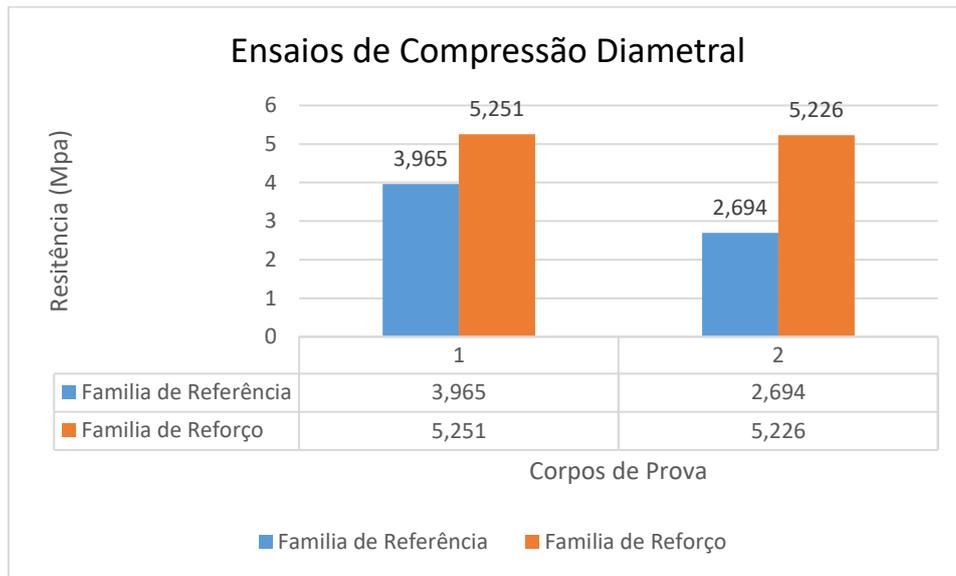
Como ver-se na Figura 8 o ensaio de compressão diametral os corpos de prova de referência atenderam às expectativas com resultados situados entre 2,2-2,6Mpa, já na família de reforço, foi notada um crescimento da resistência médio de 63% quando comparados todos os corpos sem reforço com todos os corpos com reforço, de maneira mais clara temos um aumento máximo de resistência quando comparamos Cp¹ com reforço com o Cp² sem reforço alcançando assim 95%, e uma pior situação quando comparamos o Cp¹ com reforço com o Cp¹ sem reforço obtendo um aumento de 32,4%.

Figura 8 Resultados do Ensaio de Compressão Axial



Fonte: Autores(2017)

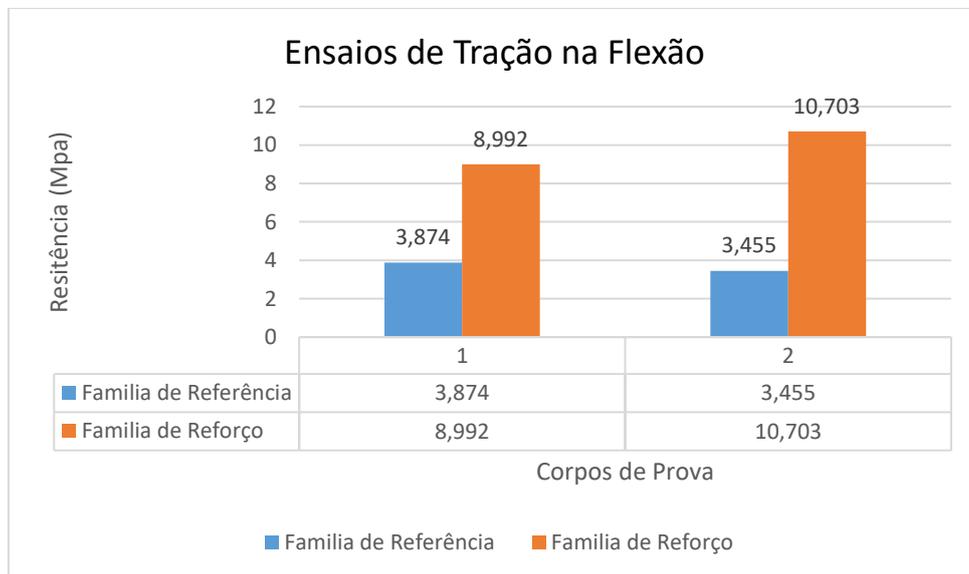
Figura 9 Resultados do Ensaio de Compressão Diametral com e sem reforço



Fonte: Autores(2017)

As resistências dos corpos ensaiados no método da tração na flexão se mostraram dentro das resistências esperadas, já a média de crescimento de resistências alcançou 170%, ao compararmos todos os resultados obtemos um valor de crescimento máximo de 220% como se mostra na Figura 10.

Figura 10 Resultados do Ensaio de Tração na Flexão com e sem reforço



Fonte: Autores (2017)

Foi notória a diferença de resistência a flexão quando comparados os ensaios de Tração na flexão e os ensaios de compressão diametral, isso pode ser explicado pelo fato que no ensaio de compressão diametral a carga é aplicada diretamente sobre a fibra, este fator pode ter influenciado na diminuição da resistência.

Se constatou também que o corpo de prova ensaiado a compressão diametral com reforço, mesmo a carga sendo aplicada diretamente sobre a fibra, o concreto rompeu primeiro, também se constata na Figura 11, que por esse motivo a fibra rompeu de dentro para fora, levando a conclusão que as deformações internas provocadas pelo concreto, gerou uma expansão significativa, fazendo com que a fibra não suportasse as deformações.

Figura 11 Corpo de prova rompido com reforço na compressão diametral



Fonte: Autores(2017)

Outro ponto à ser ressaltado, que no ensaio de tração na flexão, após a ruptura do concreto houve um desprendimento da fibra com o concreto, deixando a fibra intacta, como mostrados na Figura 12, tais fatores podem ter ocorrido devido ao processo de escarificação não ter sido efetuado de maneira tão eficiente, porém a ruptura da resina epóxi se deu pelo seu baixo módulo de elasticidade em seu estado endurecido, portanto, para a utilização de todo potencial oferecido pela fibra deve-se estudar um novo tipo de material ligante.

Figura 12 Corpo de Prova prismático após ruptura



Fonte: Autores(2017)

5. CONCLUSÕES

Os resultados dos ensaios obtidos permitem acrescentar e entender sobre a definição de fibra de carbono como matriz de um compósito, associado como um elemento para reforço estrutural, além de seu comportamento mecânico submetido a testes junto ao concreto.

No ensaio de compressão diametral com os corpos de prova reforçados com fibra de carbono, percebe-se que o crescimento da sua resistência foi satisfatório, quando comparados sem este reforço. Porém, diante dos resultados, pode-se analisar que este ensaio não é indicado para esse teste, uma vez que a carga aplicada diretamente sobre a fibra de carbono faz com que as deformações internas gerem uma força direcionada de dentro para fora gerando assim a ruptura prematura desta fibra.

No ensaio de tração na flexão, foi visível o crescimento da resistência atingindo números de pico de 220%, porém também nesse ensaio percebe-se que a resina epóxi rompe antes da fibra, tornando-a inviável a certas resistências, podendo essa ruptura ter sido ocasionada por uma deficiência no procedimento de escarificação da base receptora.

Por fim, se observa que o Compósito com matriz de fibra de carbono, é uma solução extremamente funcional que demonstra uma média de crescimento da resistência na peça de concreto envolta de 170%, porém vale ressaltar que, em situações as quais um dos componentes do compósito venha a perder sua resistência, logo todo o sistema pode ficar desestruturado. Portanto é imprescindível sua manutenção periódica e contínua.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). **Projeto de estruturas de concreto - Procedimentos**. NBR 6118. Rio de Janeiro, 2014.

_____. **NBR 7222:Concreto e Argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2011.

_____. **NBR 12655:Concreto de cimento Portland – Preparo, controle, recebimento – Procedimento**. Rio de Janeiro, 2015.

_____. **NBR 12142:Concreto - Determinação da resistência à tração na flexão em corpos de prova prismáticos**. Rio de Janeiro, 1991.

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE (ACI). **Guide for the Design and Construction of Externally Bonded FRP Systems for Strengthening Concrete Structures**. ACI 440.2R-08, 2008

BEBER, Andriei José. **Comportamento Estrutural de Vigas de Concreto Armado Reforçadas com Compósito de Fibra de Carbono**. 2003. 317. Tese – UFRGS, Porto Alegre, 2003.

CÁNOVAS, M. F. **Patologia e Terapia do Concreto Armado**. 1 ed. Tradução de M. C. Marcondes, C. W. F. dos Santos, B. Cannabrava. São Paulo: Ed. Pini, 1988. 522p.

MATTHYS, S. **Structural Behavior and Design of Concrete Members Strengthened with externally bonded FRP Reinforcement**. D.Sc. Thesis, Ghent University, Belgium. 2000.