

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DE REFORÇO COM FIBRA DE CARBONO NO COMBATE AO CISALHAMENTO EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Fernando Cechinel de Souza (1); Alexandre Vargas (2).

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) [souzafcs@msn.com](mailto:souzafcs@msn.com), (2) [avargas@unesc.net](mailto:avargas@unesc.net)

## RESUMO

O presente trabalho analisa experimentalmente o reforço com fibra de carbono no combate ao cisalhamento em vigas de concreto armado. Foram coladas tiras de fibra de carbono na área de maior cisalhamento das vigas de concreto usando adesivo estrutural a base epóxi. As vigas foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos com os objetivos de avaliar a carga aplicada para atingir o deslocamento máximo permitido pela NBR 6118:2014 e, por fim, a carga que levou as vigas à ruptura. As vigas reforçadas apresentaram no deslocamento máximo ( $l/250$ ), um ganho em sua capacidade de carga na média 2,44 % e no carregamento máximo o aumento ficou na ordem de 12,19 % em relação ao grupo de referência.

*Palavras-Chave: Fibra de carbono, reforço estrutural, cisalhamento.*

## 1. INTRODUÇÃO

Com uma grande gama de utilização o concreto, sem dúvida é um dos materiais mais utilizados na construção civil. “É praticamente inconcebível desassociar o desenvolvimento tecnológico da humanidade do desenvolvimento e do uso do concreto”. Segundo METHA e MONTEIRO (1994), no entanto as estruturas de concreto com o envelhecimento tendem a se deteriorar.

“As causas da deterioração podem ser mais diversas, desde o envelhecimento "natural" da estrutura até os acidentes, e até mesmo a irresponsabilidade de alguns profissionais que optam pela utilização de materiais fora das especificações, na maioria das vezes por alegadas razões econômicas. A soma de tantos fatores pode levar a que se considere estar-se a viver uma época de grandes preocupações, pois embora se possa argumentar com a tese de que tais problemas tenham nascido com o próprio ato de construir, é certo que nas primeiras construções tais questões não se revestiam de caráter sistemático, ficando restritas a alguns poucos problemas ocasionais. (Souza e Ripper, 1998 p.13).

Quando uma estrutura de concreto não atende mais suas funções originais, ou se tem uma mudança na função que exija desta estrutura um aumento em sua capacidade de suporte de carga, o reforço estrutural passa a ser uma alternativa. Existem técnicas que podem ser aplicadas para a reabilitar ou reforçar a estrutura. O reforço estrutural com fibra de carbono é uma tecnologia que se desenvolveu na Suíça desde os anos 1980, porém sua utilização no Brasil ainda é de pouca expressão.

O reforço de fibra de carbono possibilita reabilitar a estrutura de forma rápida, sem grande acréscimo ao peso próprio da estrutura, sem grandes alterações em suas formas arquitetônicas. O sistema de compósitos estruturados com fibras de carbono (CFC), é um sistema obtido pela associação de dois elementos. Cabe a cada um desses elementos exercerem funções distintas como citado por Machado (2002, p.35):

A matriz polimérica, a quem cabe a função de manter as fibras que as estruturam coesas propiciando a transferência das tensões de cisalhamento entre os dois elementos estruturais, concreto e fibra de carbono;

O elemento estrutural, constituído pelas fibras de carbono. As fibras dispostas unidirecionalmente dentro das matrizes poliméricas absorvem as tensões de tração decorrentes dos esforços solicitantes atuantes.

Entre os vários tipos de reforços utilizando fibra, a de carbono se mostra como uma boa opção de reforço. “ A fibra de carbono é a que melhor apresenta características mecânicas para o reforço estrutural sendo, por este motivo, o tipo de fibra mais aconselhável para o reforço estrutural (Carvalho 2011). O presente trabalho tem por objetivo analisar e avaliar a eficiência da contribuição do reforço estrutural com fibras de carbono no cisalhamento, aplicados em vigas de concreto armado.

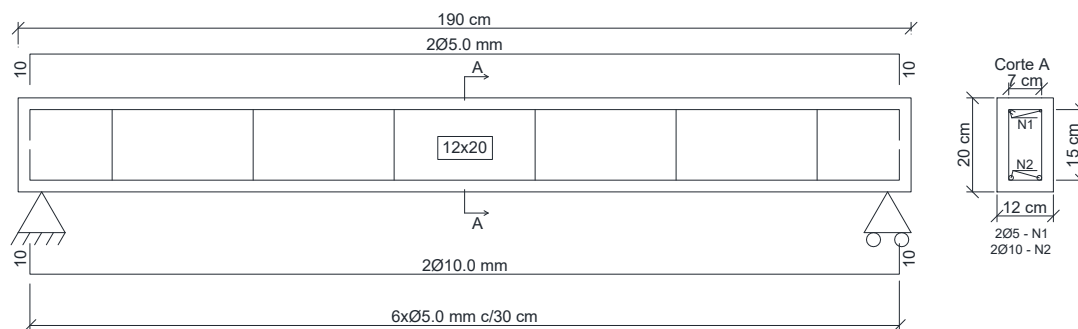
## **2. MATERIAIS E MÉTODOS**

### **2.1. CARACTERÍSTICAS DAS VIGAS E MATERIAS CONSTITUINTES**

O planejamento deste trabalho replicou o adotado por Batti (2015), onde foram fabricadas 6 vigas com seção 12X20 cm e 190 cm de comprimento. Para o

dimensionamento da armadura de flexão foram seguidos os critérios exigidos pela NBR 6118:2014, considerando a resistência característica do concreto de 20 MPa e aço CA-50. Adotou-se para a armadura de flexão duas barras com 10 mm de diâmetro, resultando numa área de aço de 1,6 cm<sup>2</sup>. Os estribos com 5,0 mm de diâmetro foram posicionados com um espaçamento de 30 cm, utilizando o limite do espaçamento máximo exigido pela NBR 6118:2014, com objetivo de provocar a ruptura da viga por cisalhamento. A Figura 1 mostra o detalhamento e a armadura adotada.

Figura 1: Detalhamento das vigas em estudo.



Fonte: Marília Marcon Bez Batti, 2015.

A concretagem das vigas aconteceu no canteiro de obras da construtora Hexa que fica localizada em Criciúma – SC, que forneceu o concreto e a mão de obra para a execução. As 6 vigas foram concretadas simultaneamente, com concreto usinado C20. Para o adensamento foi utilizado vibrador de imersão. No mesmo instante foram moldados 9 corpos prova para realização dos ensaios de compressão axial, tração por compressão diametral e módulo estático de elasticidade à compressão, para caracterização do concreto. Com intenção de garantir o cobrimento da armadura de 2,5 cm foram utilizados espaçadores. Após o processo de cura, e decorridos 28 dias, as vigas foram levadas para o Laboratório Experimental de Estruturas – LEE, localizado no IParque – Unesc, para a realização dos ensaios de flexão a quatro pontos. A Figura 2 mostra as etapas de concretagem da viga.

Figura 2: Concretagem - (A) formas prontas para a concretagem; (B) viga após a concretagem



(A)



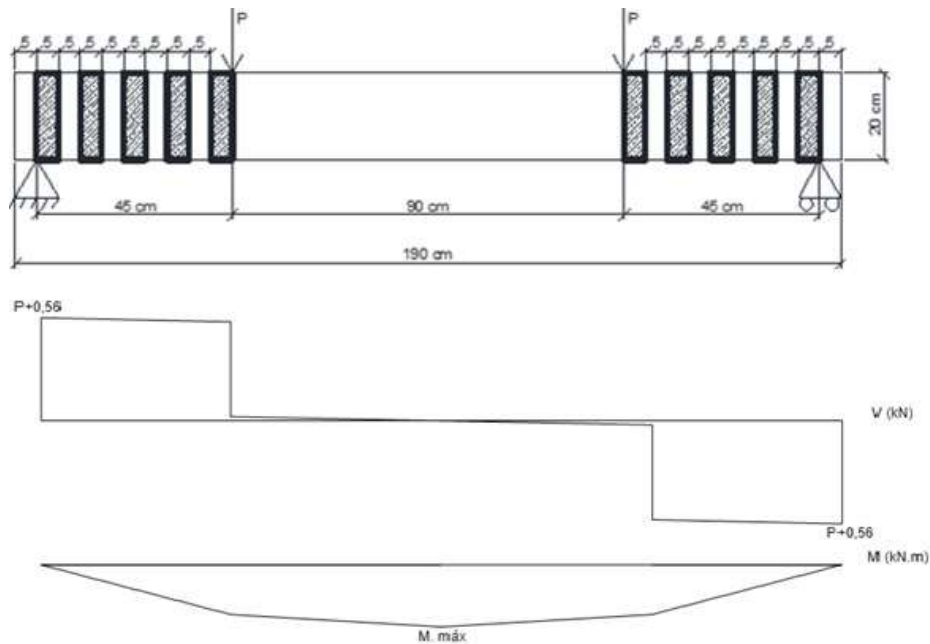
(B)

Fonte: Autor, 2016.

## 2.2 APLICAÇÕES DAS TIRAS DE FIBRA DE CARBONO COMO REFORÇOS AO CISALHAMENTO

Após desformadas, as vigas foram separadas em dois grupos: Grupo A com 3 vigas de referência e Grupo B com as 3 vigas a serem reforçadas. Para o reforço foi utilizado a manta de fibra de carbono da marca Viapol®. Segundo as especificações do fabricante a manta apresenta as seguintes características gramatura de 300 g/m<sup>2</sup>, resistência máxima a tração de 4900 Mpa, módulo de elasticidade de 230 Gpa, com alongamento na ruptura de 2,1 %. A manta foi cortada em tiras e aplicada no Grupo B. Cada viga recebeu 20 tiras de fibra de carbono espaçadas a cada 5 cm. A tiras foram cortadas com 5 cm de largura e 20 cm de comprimento, e aplicadas nas duas faces da viga, na área de maior esforço cortante, como mostra a Figura 3, que também apresenta o esquema do diagrama de esforço cortante e momento fletor, justificando assim a aplicação do reforço nesta área.

Figura 3: Esquema de colagem das tiras de fibra e diagrama de esforços



Fonte: Autor, 2016.

Para a colagem das tiras de fibra de carbono foi utilizado adesivo estrutural a base epóxi da marca Bautech®. O adesivo consiste em um material bi-componente pré-dosado, com características de alta adesividade, resistência mecânica e química, impermeável à água e óleo, além da cura total em 07 dias e a dureza inicial em 12 horas. A resina a base epóxi foi misturada manualmente por 5 minutos para garantir sua homogeneização. Seguindo as recomendações do fabricante as vigas foram limpas isentando-as de pó ou qualquer outras substâncias que prejudicassem a aderência do material a ser colado. O adesivo foi aplicado nas vigas nas áreas demarcadas com auxílio de uma espátula e as tiras de fibra pressionadas manualmente para garantir uma boa aderência. A Figura 4 mostra a colagem das tiras de fibra de carbono na viga.

Figura 4: Colagem - (A) Tiras de fibra de carbono; (B) Viga após receber a colagem das tiras.



(A)



(B)

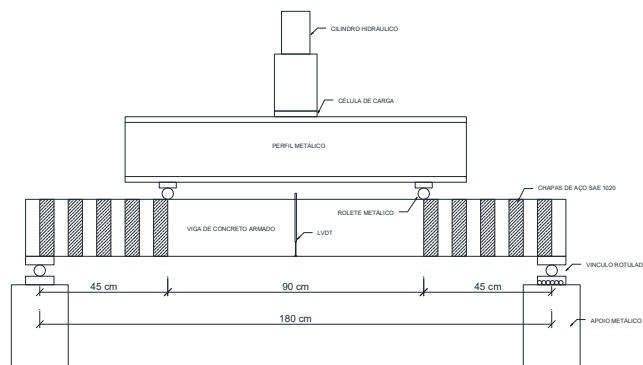
Fonte: Autor, 2016.

### 2.3 ENSAIO DE FLEXÃO A QUATRO PONTOS

Todas as vigas foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos, utilizado um pórtico metálico equipado com um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN e uma célula de carga acoplada a sua base. Para aferir o deslocamento foram utilizados três transdutores de deslocamento (LVDT) de 100 mm, um localizado no centro das vigas e outros dois dispostos a 50 cm de cada extremidade da viga. Os equipamentos estão conectados ao sistema de aquisição de dados Quantum X® que utiliza o *software* Catman Easy®. A Figura 5 mostra detalhes do ensaio.



Figura 5: Esquema geral do ensaio



Fonte: Marília Marcon Bez Batti, 2015.

Neste ensaio a carga é aplicada em um cilindro hidráulico de cima para baixo sobre um perfil metálico, este carregamento é transferido para a viga em duas cargas pontuais distantes 45 cm do centro do apoio. A Figura 6 mostra o ensaio da viga.

Figura 6: Ensaio da viga



Fonte: Autor, 2016.

## 2.4. ENSAIOS DE COMPRESSÃO AXIAL, COMPRESSÃO DIAMETRAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE

Simultâneo aos ensaios de flexão, foram realizados ensaios de compressão axial, segundo a NBR 5739:2007, ensaios de resistência à tração por compressão diametral descritos na norma NBR 7222:2011 e também, ensaios para determinação do módulo estático de elasticidade à compressão, conforme

a norma NBR 8522:2008, todos realizados nos corpos de prova moldados por ocasião da concretagem e com idade de 28 dias. A Figura 7 mostra os ensaios realizados nos corpos de prova.

Figura 7: Ensaio Corpos de Provas - (A) compressão axial; (B) módulo de elasticidade; (C) compressão diametral.



(A)



(B)



(C)

Fonte: Autor, 2016.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1 RESISTÊNCIAS À COMPRESSÃO AXIAL, COMPRESSÃO DIAMETRAL E MÓDULO DE ELASTICIDADE

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão axial estão dispostos na tabela da Figura 8, onde pode ser observado que o concreto não atingiu os valores esperados. A média de resistência a compressão ficou na ordem de 16,87 MPa, sendo que uma das amostras levadas ao ensaio atingiu apenas 14,40 MPa de resistência.



Figura 8: Resultados dos ensaios de compressão axial.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Idade dos corpos de prova (dias)</b>	<b>Resistência à compressão (MPa)</b>
CP1	28	17,4
CP2	28	18,8
CP 3	28	14,4
Media		16,87
Desvio Padrão		2,25

Fonte: Autor, 2016.

Os resultados obtidos nos ensaios de compressão diametral a e ensaio de módulo estático de elasticidade estão dispostos tabela da figura 9 e na tabela da figura 10.

Figura 9: Resultados dos ensaios de compressão diametral.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Idade dos corpos de prova (dias)</b>	<b>Resistência à tração por compressão diametral (MPa)</b>
CP4	28	2,99
CP5	28	2,52
CP 6	28	2,91
Media		2,71
Desvio Padrão		1,58

Fonte: Autor, 2016.

Figura 10: Resultados dos ensaios do módulo de elasticidade.

<b>Corpo de prova</b>	<b>Idade dos corpos de prova (dias)</b>	<b>Módulo de elasticidade à compressão (GPa)</b>
CP7	28	36,05
CP8	28	35,41
CP 9	28	36,96
Media		36,14
Desvio Padrão		0,78

Fonte: Autor, 2016.

### 3.2. RESULTADOS DOS ENSAIOS DE FLEXÃO À 4 PONTOS NAS VIGAS

Para diferenciar as vigas de referência das reforçadas, foram adotadas as nomenclaturas conforme podemos observar na Tabela da Figura 11.

Figura 11: Nomenclatura adotada

Nomenclatura	
VR	Vigas de referência
V	Vigas reforçadas com tiras de fibra de carbono

Fonte: Autor, 2016.

#### 3.2.1. RESULTADOS DAS VIGAS NO DESLOCAMENTO MÁXIMO – L/250

Considerando o deslocamento máximo determinado pela NBR 6118:2014 (L/250), observou-se que o grupo A, de vigas referência sem reforço, obteve uma média de carga resistente no deslocamento máximo de 38,10 kN. Já o grupo B de vigas reforçadas, obteve um resultado médio de 39,03 kN. O grupo de vigas reforçadas obteve um acréscimo de 2,38% em relação ao grupo de vigas referência. Os resultados estão apresentados na tabela da Figura 11.

Figura 12: Deslocamentos máximos obtidos no ensaio

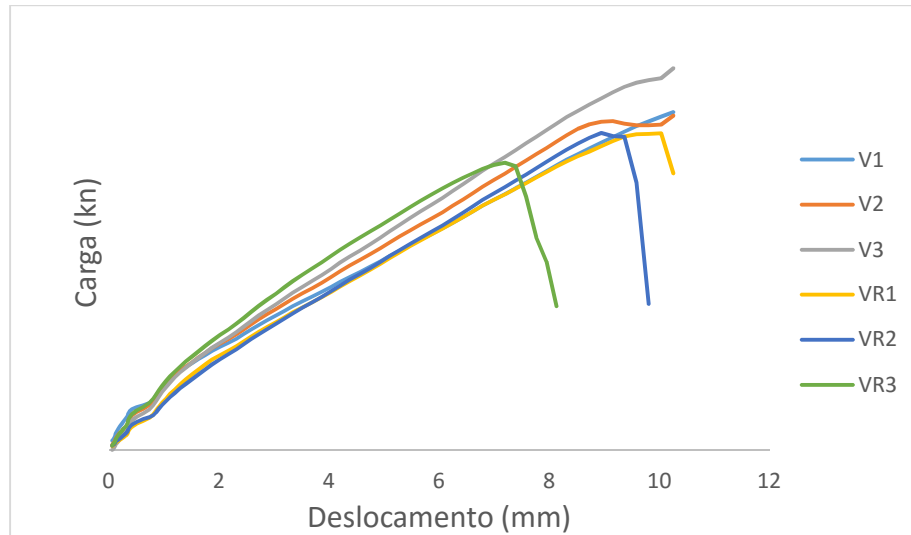
Grupo	Vigas	Carga (L/250) (KN)	Deslocamento (L/250) (mm)
Grupo A	VR1	36,95	7,2
	VR2	38,01	
	VR3	41,51	
	<b>Media (D.P.)</b>	<b>38,10 (2,39)</b>	
Grupo B	V1	36,98	7,2
	V2	39,03	
	V3	41,38	
	<b>Media (D.P.)</b>	<b>39,03 (2,21)</b>	

Fonte: Autor, 2016.

A Figura 13, apresenta o gráfico obtido com os resultados das vigas referência e vigas reforçadas. Através das curvas que relacionam o deslocamento com a carga aplicada é possível observar que todas as vigas têm comportamento

semelhante até atingir o ponto de deslocamento máximo estabelecido na norma NBR 6118:2014 que é de  $L/250$  (7,2mm).

Figura 13: Gráfico Carga (kN) x Deslocamento (mm).



Fonte: Autor, 2016.

### 3.2.2. RESULTADOS DAS VIGAS NA RUPTURA

Os resultados apresentados na tabela da Figura 9. Mostram os valores de carregamento máximo atingidos pelas vigas antes da ruptura. As vigas do grupo A tiveram valor médio de carga na ordem de 45,78 kN, e apresentaram características de rompimento por cisalhamento. As vigas do grupo B que receberam reforço, tiveram seu valor médio de carga na ordem de 51,36 kN e também apresentaram ruptura por cisalhamento. As vigas reforçadas apresentaram um aumento em sua capacidade de carga na ordem de 12,19%.

Figura 14: Carregamento máximo na ruptura.

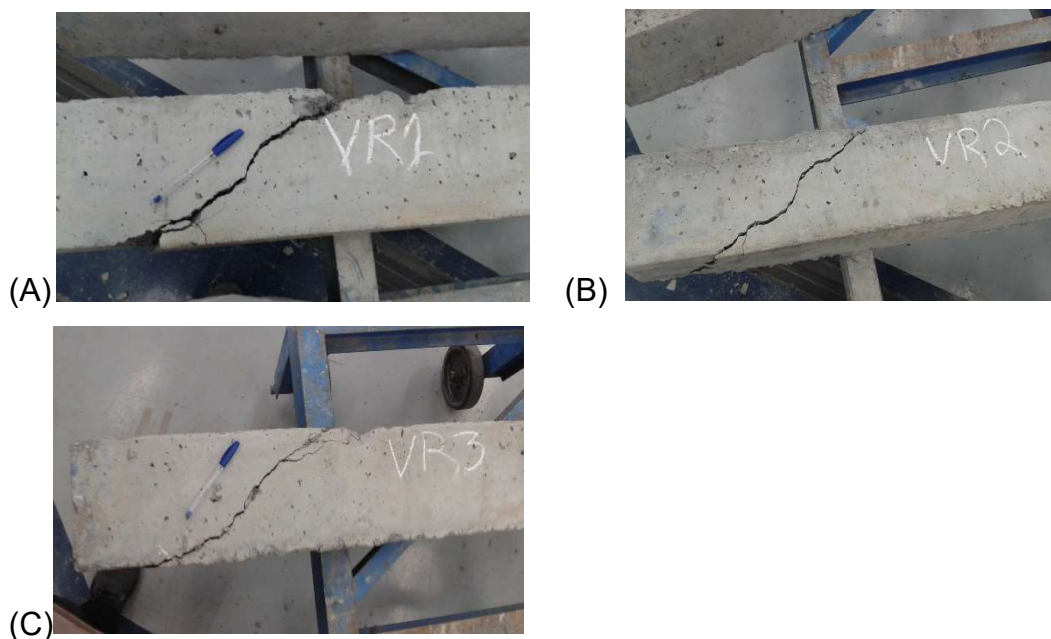
Grupo	Vigas	Carga (L/250) (KN)	Deslocamento (mm)
Grupo A	VR1	45,78	10,26
	VR2	46,29	9,51
	VR3	41,02	7,36
	<b>Media (D.P.)</b>	<b>45,78 (2,91)</b>	<b>9,51 (1,51)</b>
Grupo B	V1	51,36	11,76
	V2	47,19	9,41
	V3	54,53	10,89
	<b>Media (D.P.)</b>	<b>51,36 (3,68)</b>	<b>10,89 (1,18)</b>

Fonte: Autor, 2016.

### 3.3. RUPTURAS DAS VIGAS

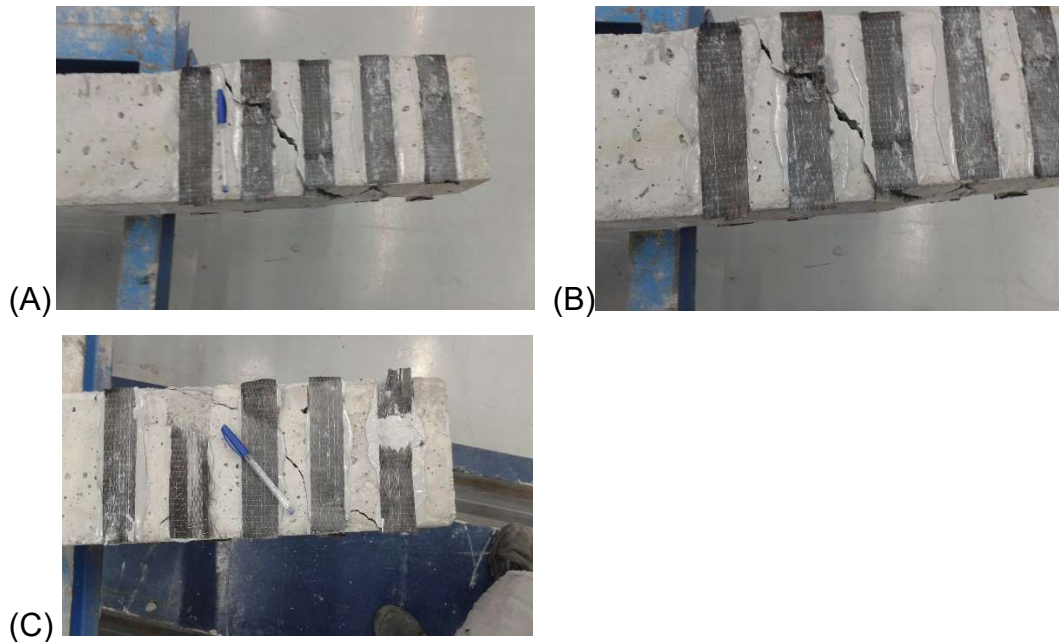
Os dois grupos de vigas apresentaram comportamentos muito parecidos, em suas rupturas, O rompimento foi caracterizado por fissuras com um ângulo de aproximadamente 45° grau, característica de ruptura por cisalhamento. As Figuras 15 e 16 apresentam as vigas dos dois grupos após a ruptura, onde observa-se as características relatadas acima.

Figura 15: Vigas de referência - (A) VR1; (B) VR2; (C) VR3.



Fonte: Autor, 2016.

Figura 16: Vigas de reforçadas - (A) V1; (B) V2; (C) V3.



Fonte: Autor, 2016

#### 4. CONCLUSÕES

Com a análise dos resultados obtidos nesse estudo, pode-se chegar as seguintes conclusões:

- O grupo B de vigas reforçadas com fibra de carbono, no deslocamento máximo ( $l/250$ ), apresentou um acréscimo 2,44 % em relação ao grupo de vigas referência mostrando a não influência do reforço neste resultado.
- As vigas reforçadas (Grupo B), obtiveram um aumento em sua capacidade de carga na média de 12,19 % na ruptura.
- O concreto utilizado para o estudo ficou abaixo da resistência estimada, o que pode ter comprometido os resultados.
- A resina epóxi se mostrou de fácil homogeneização, e eficaz na colagem das tiras de fibra de carbono. Entretanto se observou a dificuldade em conseguir a manta de fibra de carbono na região.

Para futuros trabalhos sugere-se:

- Fazer um dimensionamento teórico para o reforço estrutural com fibras de carbono.
- Utilizar outras formas de colagem da fibra de carbono, como a colagem do tipo “U” que envolve as laterais da viga e envelopamento total da seção da viga.
- Um estudo para verificar a viabilidade econômica do reforço com fibra de carbono.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738: Concreto – Procedimentos para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2014.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7222: Concreto e argamassa – Determinação da resistência à tração por compressão diametral de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2011.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto - Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão.** Rio de Janeiro, 2008.

BATTI, Marília Marcon Bez - **Análise experimental de vigas de concreto armado reforçadas ao cisalhamento com chapa de aço.** 2015. 16p.  
Trabalho de conclusão de curso de Engenharia Civil, Univ. do Extremo Sul Catarinense, Criciúma.

DE SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto.** São Paulo: Editora Pini Ltda., 1998. 255 p.

MACHADO, Ari de Paula. **Reforço de estruturas de concreto armado com fibras de carbono: características, dimensionamento e aplicação.** São Paulo: Editora Pini Ltda, 2002. 271 p.



METHA, Povindar Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, São Paulo: IBRACON ed., 2008. 674p.

CARVALHO T., 2011, **Reforço à flexão de vigas de betão armado com compósitos de CFRC**. Universidade Nova de Lisboa. 185 pp (Dissertação de mestrado).