

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO SUJEITAS À FLEXÃO, REFORÇADAS COM PERFIL DE AÇO

Tuiane Teixeira (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)tuiane.teixeira@gmail.com, (2)avargas@unescc.net

RESUMO

O reforço de estruturas é adotado em resposta às patologias existentes em uma determinada construção que, normalmente, é consequência da deterioração, de projetos inadequados, problemas de construção ou até mesmo de sua alteração de uso, com aumento de cargas não previstas inicialmente. Posto isso, este trabalho teve caráter continuativo aos estudos desenvolvidos por Deghenhard¹ (2013), em que o reforço com chapa foi substituído por um perfil de aço, de espessura definida conforme seus resultados. O objetivo foi analisar experimentalmente dois grupos de vigas reforçadas à flexão com perfil de aço em formato "U" na região tracionada da viga, e compará-los à um grupo de referência sem reforço. Primeiramente, um grupo seria reforçado com perfil de aço ancorado através de chumbadores, e outro grupo ancorado com adesivo epóxi. Contudo, perante resultados do ensaio piloto, percebeu-se que a ancoragem apenas feita por chumbadores não foi eficiente. Dessa forma, os dois grupos passaram a ser ancorados com adesivo epóxi, porém um grupo com perfil de 150 cm e outro grupo com 80 cm, abrangendo apenas a região do terço central da viga. Os ensaios foram feitos de modo que pudessem ser avaliados o carregamento para atingir o deslocamento máximo permitido por norma e o deslocamento para atingir à ruptura. Os resultados apontaram que o maior acréscimo de resistência foi de 20% em relação ao grupo de referência. Em uma análise comparativa ao estudo de Deghenhard¹ (2013), concluiu-se que o reforço em vigas submetidas à flexão foi mais eficiente com a chapa de aço, ao invés do reforço com o perfil de aço.

Palavras-chave: Reforço. Chumbadores. Adesivo Estrutural Epóxi. Perfil de aço SAE 1020. Resistência.

1. INTRODUÇÃO

O concreto armado é um dos materiais mais utilizados no ramo da construção civil para execução de estruturas. Como qualquer material construtivo, uma estrutura de concreto armado têm a sua vida útil e necessita de manutenções preventivas (HELENE², 2000).

Mesmo sendo considerado um material de grande durabilidade (desde que receba manutenção que garanta o seu desempenho satisfatório ao longo do tempo), a vida útil de uma estrutura de concreto armado é determinada a partir da sua finalidade e de sua utilização em serviço, e pode ser reduzida ou encerrada caso seu desempenho seja afetado por vícios ocasionados desde a concepção estrutural até sua má utilização com cargas de serviço não previstas inicialmente, gerando assim os problemas patológicos na estrutura (MOUZAHEM³, 2006).

Nesse contexto, um bom diagnóstico é fundamental para a adoção da melhor solução a ser implementada, em que deve-se levar em consideração aspectos como a eficiência da intervenção, segurança, materiais, equipamentos, custos e condições específicas da obra, temperatura, prazos e agressividade do ambiente após a ação corretiva (MACHADO⁴, 2002).

Uma alternativa de fácil execução é o reforço com perfil de aço que, conforme Simões⁵ (2007, p. 6):

Trata-se de uma técnica simples de executar e que recorre a materiais de uso corrente. Devido à pequena interferência que causam nas dimensões arquitetônicas, ao baixo peso próprio introduzido na estrutura, à facilidade de execução e limpeza na aplicação, além da possibilidade de rápida reutilização da estrutura, a técnica de reforço de vigas por intermédio de chapas de aço coladas ao concreto tem sido a solução adotada com maior frequência.

A colagem das chapas metálicas pode ser feita com resinas de epóxi, de poliéster, acrílicas, de poliuretanos e sintéticas. As resinas epóxi são as mais empregadas, devido às suas excelentes propriedades adesivas com o concreto e o aço e ausência quase que total de retração durante o processo de cura, garantindo a integridade da superfície de ligação.

Nesse sentido, este trabalho teve caráter continuativo aos estudos desenvolvidos por Deghenhard¹ (2013), no qual foram ensaiados e analisados 12 vigas de concreto armado submetidas à flexão, reforçadas com diferentes espessuras de chapa de aço SAE 1020 na região tracionada da viga, coladas com adesivo epóxi.

Contudo, no presente estudo, o reforço com chapa foi substituído por um perfil de aço em formato "U", com a espessura que apresentou os melhores resultados no estudo de Deghenhard¹ (2013).

O planejamento experimental inicial deste estudo previa para união dos elementos de reforço à superfície de concreto duas situações: um grupo utilizaria adesivo epóxi com grande capacidade de aderência, e o outro chumbadores. Isto porque, conforme resultados de Deghenhard¹ (2013, p.19), deve-se procurar "melhorar a aderência das chapas de aço SAE 1020 na interface resina-aço para a metodologia

desenvolvida, ou até mesmo inserir chumbadores nas extremidades das chapas, onde há um acúmulo de tensões".

Contudo, a partir dos resultados obtidos no ensaio piloto, observou-se que não seria viável a execução da ancoragem dos perfis de aço com chumbadores para a espessura e formato dos perfis de aço adotados. Dessa forma, a metodologia de aplicação dos reforços foi alterada: um grupo passou a ser reforçado com perfil de aço de 150 cm de comprimento, e outro grupo com perfil de aço de 80 cm de comprimento, ambos em formato de "U", ancorados com adesivo epóxi e aplicados na zona central tracionada da viga. O principal objetivo foi avaliar a capacidade portante de cada grupo, comparando-os entre si e com um grupo de referência sem reforço. Ao final também foram comparados com os resultados obtidos pelos ensaios de Deghenhard¹ (2013).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento deste estudo foi adotado a metodologia utilizada por Deghenhard¹ (2013). A partir de seus resultados, percebeu-se que "o comportamento espessura (mm) *versus* carga (kN) indicou uma linearidade decrescente, ou seja, a partir do momento que aumentou a espessura da chapa de aço SAE 1020, obteve-se uma menor resistência" (DEGHENHARD¹, 2013, p. 18).

Adotou-se, então, a espessura da chapa SAE 1020 utilizada no Grupo B, de 0,75 mm, visto ser essa a espessura que apresentou resultados mais satisfatórios quanto à resistência no estudo anterior. O experimento foi realizado em duas etapas: a primeira consistiu na confecção de uma viga testemunho para realização do ensaio piloto afim de validar a metodologia adotada, sendo esta viga reforçada com perfil de aço SAE 1020 em formato "U" (120x150x0,75 mm), ancorada apenas com chumbadores.

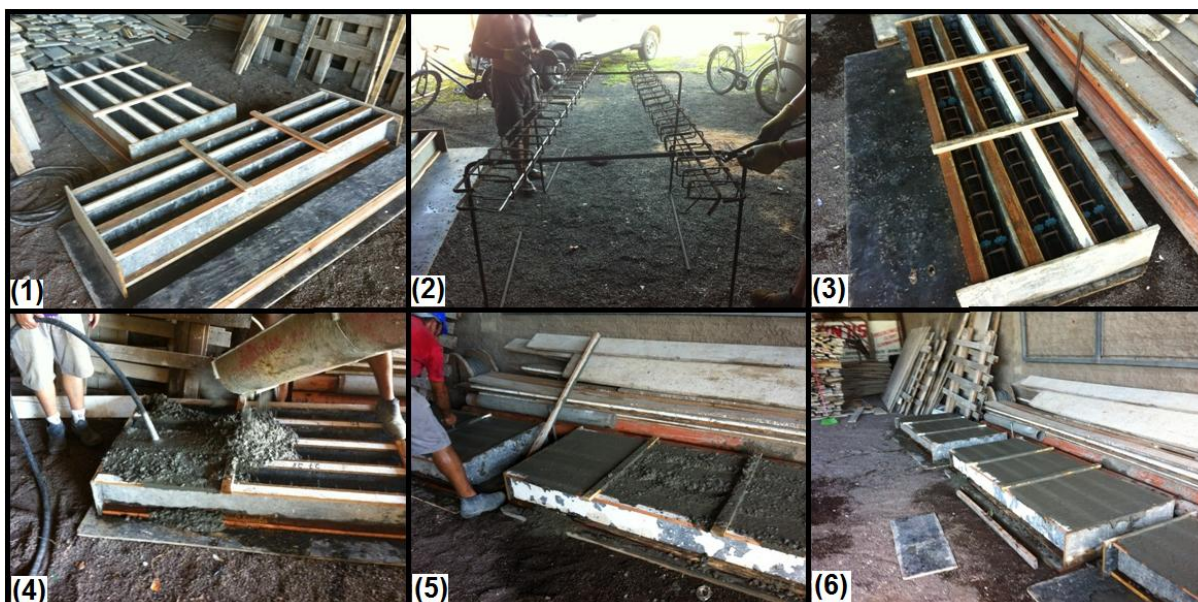
Como o resultado obtido não foi satisfatório para o reforço com fixação por meio de chumbadores, para essa espessura e forma, alterou-se a metodologia dos ensaios, que dividiram-se em três grupos, de três vigas cada denominados grupos R, A e B. Com exceção do grupo R (grupo de referência), todos os grupos de vigas foram reforçados na região tracionada com perfil de aço SAE 1020 em formato "U" com espessura de 0,75 mm, ancorados com adesivo epóxi, sendo o grupo A com perfil

de 150 cm ao longo da viga, e o grupo B com 80 cm de comprimento, abrangendo apenas a região do terço central da viga, uma vez que nesse trecho atua o maior momento fletor. Os ensaios foram realizados no Laboratório Experimental de Estruturas da UNESC, a partir do ensaio instrumentado de flexão em 4 pontos. Foram ainda, moldados corpos de prova e efetuados ensaios de abatimento de tronco de cone (Slump-test), para a caracterização do concreto.

2.1 DIMENSIONAMENTO E CONFEÇÃO DAS VIGAS

A confecção das vigas foi efetuada por um construtora no Rio Grande do Sul, e transportadas para o Laboratório Experimental de Estruturas da Unesc aos 28 dias de concretagem. Na Figura 1, pode-se verificar as etapas de execução das vigas: (1) preparo das formas; (2) confecção das armaduras; (3) acomodação da armadura e espaçadores; (4) concretagem e adensamento; (5) regularização da superfície; (6) vigas concretadas.

Figura 1: Confeção das vigas de concreto armado



Fonte: Do autor, 2014.

As vigas foram dimensionadas e confeccionadas conforme feito por Deghenhard¹ (2013): seção de 12x20 cm, 200 cm de comprimento total; armadura de flexão dimensionada conforme NBR 6118:2007⁶ ($A_s=1,6\text{cm}^2$ - 2 Ø de 10 mm, aço CA50

para atuar no domínio 3, com classe de agressividade ambiental II) e concreto de 25 Mpa. Os estribos foram dimensionados conforme NBR 6118: 2007⁶, a partir do critério de mínimo diâmetro e máximo espaçamento, obtendo-se: diâmetro de 5 mm espaçados a cada 10 cm.

2.2 ENSAIO PILOTO

Para o ensaio piloto, foram adotados chumbadores da marca Âncora do tipo passante rosca externa, com características de fácil e rápida instalação no concreto, ponta rebaixada para evitar amassamento da rosca na instalação, presilhas com desenhos exclusivos para obter melhor ancoragem, diâmetro de 3/8", comprimento do chumbador de 3.3/4" e resistência ao cisalhamento de 2.138 Kg. Foram fixados 5 chumbadores em cada aba para cada lado da viga, espaçados a cada 25 cm.

O processo de aplicação dos chumbadores seguiu a especificação do fabricante: fez-se um furo com broca de diâmetro igual ao diâmetro externo do chumbador; após foi limpo o furo; o chumbador foi então introduzido no furo com auxílio de um martelo, deixando fios de rosca suficientes para a colocação da arruela e da porca; e, finalmente, a porca foi rosqueada com auxílio de uma chave até encontrar resistência, finalizando sua aplicação. Foram utilizados grampos (sargentos), a fim de provocar pressão o suficiente no perfil de aço, para que este ficasse o mais justo possível junto à viga.

A sequência de aplicação dos chumbadores pode ser verificada na Figura 2: (1) utilização de grampos (sargentos); (2) aplicação do chumbador; (3) chumbadores aplicados.

Figura 2: Aplicação de reforço do perfil de aço com chumbadores



Fonte: Do autor, 2014.

O ensaio piloto não apresentou índices satisfatórios, os quais podem ser entendidos e analisados no item 3.2 deste artigo.

Dessa forma, o terceiro grupo de vigas passou a adotar outra metodologia de reforço.

2.3 APLICAÇÃO DOS REFORÇOS COM ADESIVO

A partir dos resultados alcançados com o ensaio piloto, sucedeu-se o método de aplicação dos reforços das vigas com adesivo. As vigas dos grupos A e B foram reforçadas com perfil de aço SAE 1020 com 12 cm de base, abas com altura de 15 cm e espessura de 0,75 mm (formato "U"), sendo que o grupo A foi com 150 cm de comprimento e o grupo B com 80 cm de comprimento.

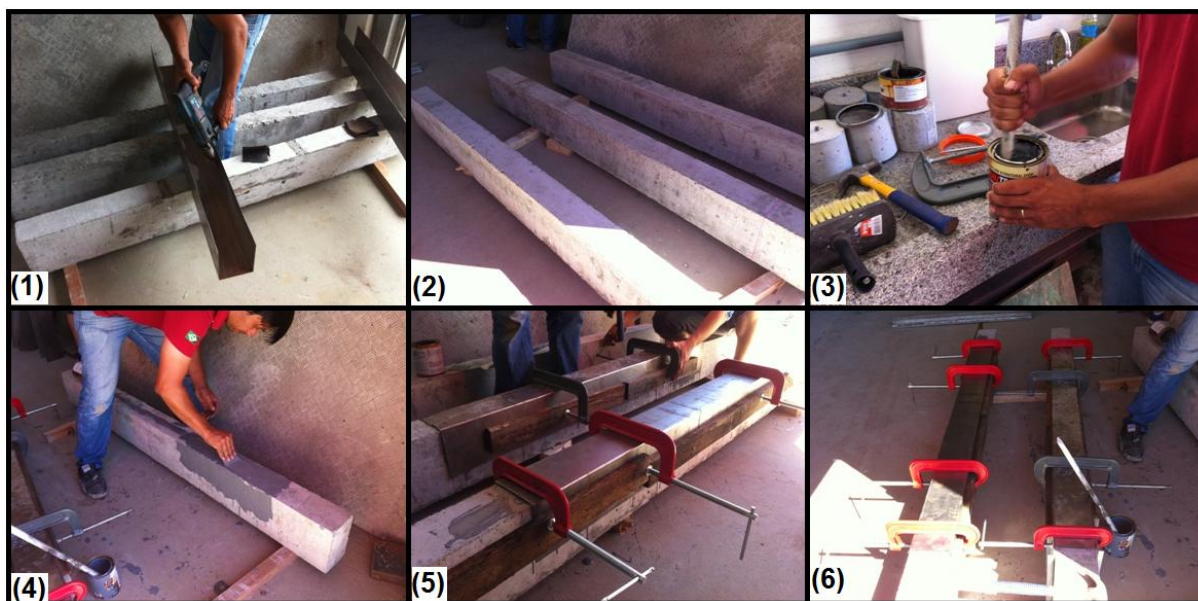
O objetivo de ensaiar o terceiro grupo de vigas com perfil de 80 cm de comprimento, era de que o reforço abrangesse apenas a área de maior concentração de esforços, que encontra-se justamente nos pontos de aplicação da carga, ou seja, no terço central da viga. Outro motivo, foi o de que provavelmente com o comprimento do perfil menor, evitaria a ruptura por destacamento do perfil, pois, conforme Simões⁵ (2007, pág.8), "outros métodos têm sido usados para tentar prevenir esses tipos de ruptura: aumento na relação largura/espessura da chapa; término das chapas nas proximidades dos apoios; utilização de chumbadores e outros dispositivos para ancoragem das chapas".

O adesivo utilizado foi um bicomponente a base de epóxi da marca Bautech - EP, o qual apresenta dureza inicial em 12 horas e cura total em 7 dias, além das características de alta resistência química e mecânica, alta adesividade e impermeável a água e óleo.

A aplicação pode ser acompanhada na Figura 3, e foi efetuada conforme especificações do fabricante, para os dois comprimentos do perfil: (1) execução de ranhuras na superfície de aço para uma melhor aderência entre a o perfil e a superfície de concreto; (2) superfície de concreto limpa e isenta de pó, graxa, óleo, desmoldantes ou qualquer substância que possa atrapalhar a adesão, efetuada com auxílio de uma escova de aço; (3) mistura dos componentes A (resina) e B (endurecedor), feita durante 5 minutos; (4) aplicação do adesivo epóxi nas vigas com

espessura mínima de 2 mm; (5) colocação de grampos (sargentos) para que o perfil de aço ficasse pressionado e o mais justo possível junto à viga, favorecendo assim, a aderência do perfil ao concreto, mantido durante 07 dias.

Figura 3: Aplicação do adesivo epóxi para ancoragem dos perfis de aço



Fonte: Do autor, 2014.

2.4 ENSAIO DE FLEXÃO EM 4 PONTOS

Conforme pode ser observado na Figura 4, as vigas foram posicionadas sob um pórtico metálico, e aplicou-se carga através de um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN. A carga foi aplicada nos terços médios da viga através de uma viga metálica, apoiada sobre 2 roletes. A partir da célula de carga posicionada na base do cilindro, obtêm-se os valores de carga. Os deslocamentos no vão central da viga são verificados a partir dos LVDT (Linear Variable Differential Transformer), que consistem em dois transdutores indutivos de deslocamentos de 100 mm, posicionados no vão central da viga. Para leitura dos dados, foi utilizado o sistema Quantum X® que utiliza o *software* Catman Easy®, ambos da marca HBM.

Figura 4: Posicionamento da viga



Fonte: Do autor, 2014.

As verificações foram feitas de modo a analisar o comportamento de cada grupo em diferentes instantes de aplicação de carga (DEGHENHARD¹, 2013):

- Quando atingido o deslocamento máximo permitido por norma ($L/250$);
- Na ruptura;
- Abertura de fissuras.

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

O resultado do *slump-test* apresentou abatimento do cone de 10 cm, ou seja, valor aceitável, já que está dentro da variação permitida pela NBR 6118:2007⁶, entre 5 a 12 cm, sendo assim, uma consistência medianamente plástica. O ensaio de resistência à compressão axial foi realizado aos 7 e 28 dias, no qual resultou em 21,24 Mpa e 25,25 Mpa, respectivamente, considerando a média dos valores.

O ensaio de abatimento do cone, bem como a moldagem dos corpos de prova para realização do ensaio de compressão axial, podem ser verificados, na Figura 5: (1) Slump Test; (2) moldagem dos corpos de prova para ensaio de resistência à compressão axial.

Figura 5: Caracterização do concreto



Fonte: Do autor, 2014.

3.2 ENSAIO PILOTO

O ensaio piloto foi de suma importância para validação da metodologia a ser adotada pois, através deste, percebeu-se que não seria viável a execução deste tipo de reforço. Conforme Reis⁷ (2001, apud CAMPAGNOLO *et al.*, 1997, p.85), estudos feitos apontaram que "a fixação apenas com parafusos permitiu o deslizamento relativo da chapa em relação à viga. Os autores concluem que a resina é necessária para garantir um bom desempenho, não recomendando a solução por fixação exclusiva com parafusos".

A Figura 6 ilustra a deformação do perfil de aço, arrancamento do perfil na região dos furos dos chumbadores, e destacamento do concreto na região próxima aos apoios.

Figura 6: Ensaio piloto



Fonte: Do autor, 2014.

3.3 CARREGAMENTO NO DESLOCAMENTO MÁXIMO (L/250)

Os valores de carga para atingir o deslocamento máximo permitido pela NBR 6118:2007⁶ que, neste caso, é de 7,20 mm, foram compilados na Tabela 1. Observa-se que: o grupo A apresentou 20% de acréscimo na média dos valores em relação ao grupo de referência, enquanto que o grupo B, apresentou um acréscimo médio de 16%. Nota-se que o grupo reforçado com o perfil de maior comprimento (Grupo A), foi mais eficiente quanto à resistência para atingir o deslocamento de 7,20 mm.

Tabela 1: Carregamento no deslocamento máximo permitido por norma (L/250)

GRUPO REFERÊNCIA			GRUPO A (150 cm)			GRUPO B (80 cm)		
Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)
R1	44,22	7,20	A1	43,0	7,20	B1	53,53	7,20
R2	45,97	7,20	A2	61,14	7,20	B2	51,06	7,20
R3	44,89	7,20	A3	57,6	7,20	B3	52,59	7,20
Média	45,03	-	Média	53,91	-	Média	52,39	-
Desvio Padrão	0,88	-	Desvio Padrão	9,62	-	Desvio Padrão	1,25	-

Fonte: Do autor, 2014.

3.4 CARREGAMENTO E DESLOCAMENTO NA RUPTURA

No carregamento necessário para levar as vigas à ruptura (Tabela 2), observou-se incremento de carga maior referente ao grupo A (150 cm).

Tal grupo apresentou 14% de aumento de resistência, enquanto que o grupo B, apresentou queda de resistência quando comparado ao grupo de referência, sendo este valor expresso em 6%.

Tabela 2: Carregamento e deslocamento na ruptura

GRUPO REFERÊNCIA			GRUPO A (150 cm)			GRUPO B (80 cm)		
Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)
R1	63,35	23,43	A1	60,97	28,68	B1	59,87	18,10
R2	66,25	17,82	A2	82,61	13,06	B2	60,37	11,94
R3	64,3	11,38	A3	77,29	12,59	B3	61,58	8,94
Média	64,63	17,54	Média	73,62	18,11	Média	60,61	12,99
Desvio Padrão	1,48	-	Desvio Padrão	11,28	-	Desvio Padrão	0,88	-

Fonte: Do autor, 2014.

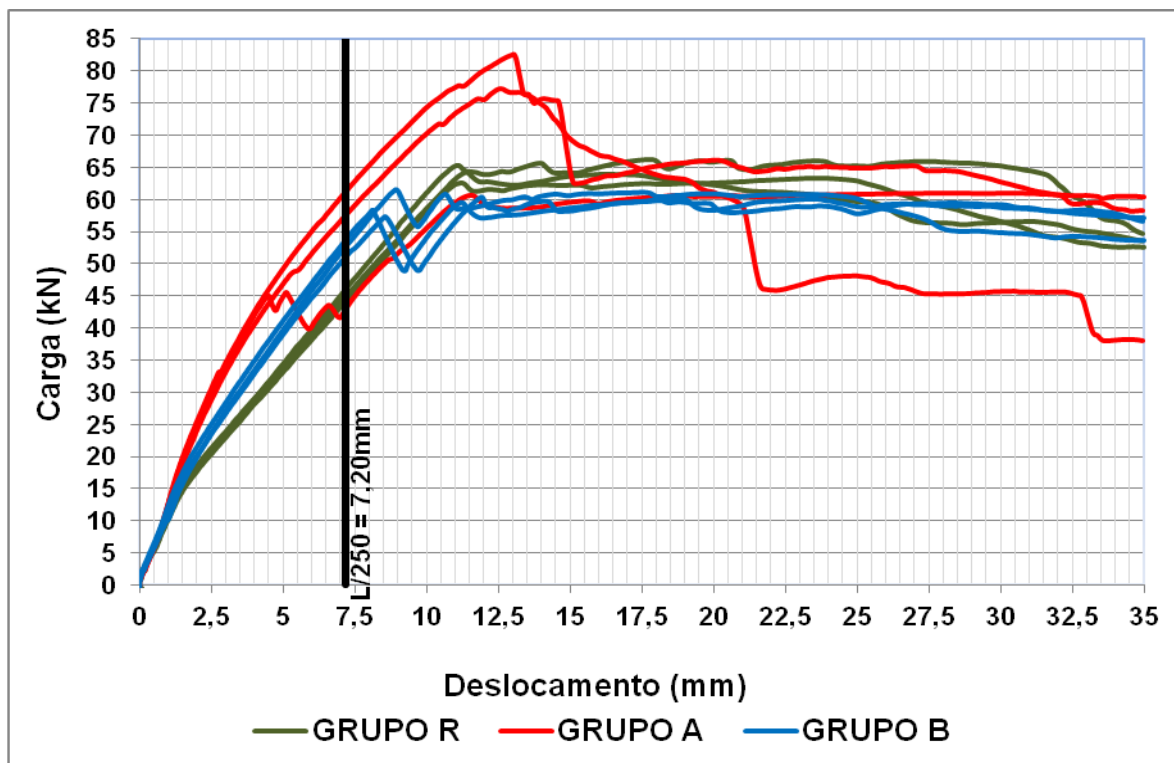
A partir do gráfico da Figura 7 é possível acompanhar o comportamento de cada grupo relacionando carga e respectivo deslocamento.

Observa-se que, para todas as vigas, o comportamento foi semelhante, ou seja, o deslocamento foi diretamente proporcional à aplicação da carga, com exceção da viga A1, que apresentou comportamento diferente das demais. Neste caso houve uma queda de resistência e aumento significativo do deslocamento antes mesmo desta viga atingir a ruptura. Isto porque, neste momento, aconteceu o destacamento do perfil de aço da viga, o que diminuiu o acréscimo de resistência do reforço, e posteriormente levando à ruptura com a carga de 60,97 kN. Tal fato pode ser resultado da má aplicação do adesivo epóxi, o que não proporcionou boa ancoragem do perfil metálico ao concreto.

De um modo geral, é possível notar a eficiência do reforço das vigas do grupo A, com o perfil de 150 cm, enquanto que para as vigas do grupo B, com o perfil de 80 cm, apresentaram comportamento inferior ao grupo R (grupo de referência).

Os deslocamentos médios foram semelhantes entre os grupos A e R, na ordem de 17,83 mm, enquanto que no grupo B, o deslocamento foi de 12,99 mm.

Figura 7: Gráfico de resultados



Fonte: Do autor, 2014.

3.5 FISSURAS

As fissuras foram analisadas a partir de critério visual, e podem ser verificadas conforme exposto na Figura 8.

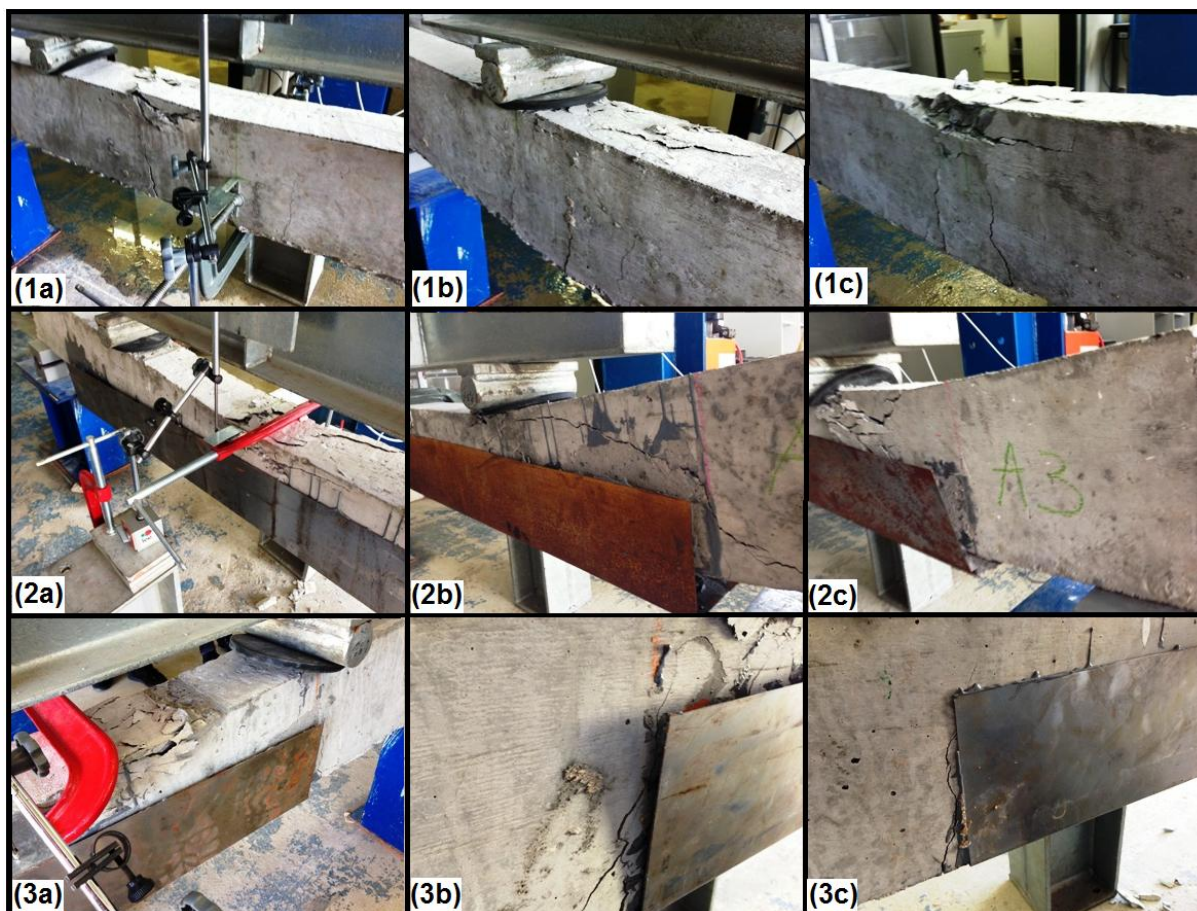
As vigas pertencentes ao grupo de referência (grupo R), apresentaram fissuras com comportamento típico de ruptura por flexão, sendo que, nas vigas R1 e R3 (figura 8 - 1a e 1b), ocorreu o esmagamento do concreto na região do momento fletor máximo. Já para a viga R2, o esmagamento do concreto ocorreu na região próxima ao apoio (Figura 8 - 1b).

Na figura 8 (2a, 2b e 2c), estão ilustradas as fissuras das vigas do grupo A, reforçadas com perfil de 150 cm de comprimento. A viga A1 rompeu por flexão e destacamento do perfil de aço, seguida de esmagamento do concreto na região central da viga. Já as vigas A2 e A3, apresentaram fissuras por cisalhamento e também o rompimento por destacamento do perfil de aço, com o esmagamento do concreto na viga A2 no centro da viga, e na viga A3 na região próxima ao apoio.

Entende-se que, a ruptura por descolamento do perfil de aço é resultado da má aplicação do adesivo epóxi à viga, o que prejudica a ancoragem dos elementos de reforço, e caracteriza-se por uma fissura, surgida na seção transversal que coincide com a extremidade do perfil de aço, que se horizontaliza mais ou menos no nível das armaduras internas. Estas fissuras, ao ligarem-se com as fissuras de cisalhamento, levam a viga a um colapso brusco (REIS⁸, 1998, apud SILVEIRA, 1998).

A análise feita das vigas do grupo B, reforçadas com o perfil de aço com 80 cm de comprimento, apresentaram comportamento de fissuras semelhante aos do grupo A: rompimento por destacamento do perfil de aço, sendo que, nas vigas B1 e B3, o arrancamento do concreto foi próximo à região central, e na viga B2, próximo ao apoio.

Figura 8: Fissuras



Fonte: Do autor, 2014.

4. ANÁLISE ESTATÍSTICA

Com o objetivo de analisar e comparar simultaneamente os resultados dos ensaios dos grupos, para que assim pudesse ser verificado a variância entre estes, foi efetuado a análise estatística ANOVA, que consiste em verificar a existência de uma diferença significativa entre as médias das amostras, e se os fatores apresentam influência em alguma variável dependente.

Para tal, foram considerados para análise, o carregamento no deslocamento máximo permitido por norma (L/250), o carregamento para levar as vigas à ruptura e, por fim, o deslocamento no momento da ruptura. As Tabelas 3, 4 e 5 apresentam os resultados encontrados.

Tabela 3: ANOVA- Carregamento no deslocamento máximo permitido por norma (L/250).

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Grupo R	3,00	135,080	45,027	0,780		
Grupo A	3,00	161,740	53,913	92,459		
Grupo B	3,00	157,180	52,393	1,554		

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	135,551	2,000	67,776	2,145	0,198	5,143
Dentro dos grupos	189,585	6,000	31,597			
Total	325,136	8,000				

Fonte: Do autor, 2014.

Tabela 4: ANOVA- Carregamento na ruptura

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Grupo R	3,000	193,900	64,633	2,186		
Grupo A	3,000	220,870	73,623	127,156		
Grupo B	3,000	181,820	60,607	0,773		

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	266,468	2,000	133,234	3,072	0,121	5,143
Dentro dos grupos	260,229	6,000	43,372			
Total	526,697	8,000				

Fonte: Do autor, 2014.

Tabela 5: ANOVA- Deslocamento na ruptura

RESUMO						
Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância		
Grupo R	3,000	52,630	17,543	36,358		
Grupo A	3,000	54,330	18,110	83,849		
Grupo B	3,000	38,980	12,993	21,809		

ANOVA						
Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	47,204	2,000	23,602	0,499	0,631	5,143
Dentro dos grupos	284,031	6,000	47,338			
Total	331,235	8,000				

Fonte: Do autor, 2014.

Os valores são estatisticamente iguais, caso F seja menor que o F crítico, caso contrário, F seja maior que o F crítico, os valores são estatisticamente diferentes.

Neste caso, percebemos que para as três considerações desta análise, todos os valores foram estatisticamente iguais.

5. ANÁLISE COMPARATIVA

As vigas ensaiadas neste estudo seguiram a mesma geometria e armadura das vigas do grupo B ensaiadas no estudo de Deghenhard¹ (2013). A comparação entre essas vigas foi feita em termos de aumento de resistência conforme o tipo de reforço aplicado, ou seja, analisou-se a eficiência da aplicação do reforço com perfil de aço em formato de "U" em comparação com o reforço aplicado com a chapa de aço, método adotado por Deghenhard¹ (2013), sendo que cada reforço foi comparado com a viga de referência de seu respectivo estudo, em termos percentuais.

Ao compararmos o carregamento necessário para atingir o deslocamento máximo permitido por norma (7,20 mm), percebemos que, nenhum dos dois tipos de reforço com perfil de aço utilizados neste estudo, seja com o comprimento de 150 cm ou de 80 cm, apresentaram acréscimo maior do que a chapa de aço SAE 1020 de seu estudo (Grupo B), sendo este valor um acréscimo de 36% a mais em relação ao grupo de referência, conforme Tabela 6.

Tabela 6: Análise comparativa - carga no deslocamento máximo permitido por norma

GRUPO A (150 CM)			GRUPO B (80 CM)			GRUPO B (DEGHENHARD 2013)		
Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)
A1	43,0	7,20	B1	53,53	7,20	B1	58,08	7,20
A2	61,14	7,20	B2	51,06	7,20	B2	56,89	7,20
A3	57,6	7,20	B3	52,59	7,20	B3	53,32	7,20
Média	53,91	-	Média	52,39	-	Média	56,10	-
Desvio Padrão	9,62	-	Desvio Padrão	1,25	-	Desvio Padrão	2,48	-
Acréscimo	20%			16%			36%	

Fonte: Do autor, 2014.

O carregamento necessário para levar as vigas à ruptura apresentou 29% de acréscimo em relação à viga de referência para o reforço aplicado com a chapa de aço, que mostrou ainda maior acréscimo de resistência quando comparado ao perfil de aço de maior resistência neste estudo, com 150 cm de comprimento, o grupo A.

Ressalta-se também que, além de as vigas de Deghenhard¹ (2013) apresentarem maior acréscimo de resistência, também deslocaram menos em relação à viga de referência (9,93 mm), enquanto que para este estudo, as vigas chegaram a deslocar, para o grupo de maior acréscimo de resistência (Grupo A), 18,11 mm no momento da ruptura.

Na Tabela 7 estão expressos os valores comparativos entre os dois estudos, no momento da ruptura.

Tabela 7: Análise comparativa - carga na ruptura

GRUPO A (150 CM)			GRUPO B (80 CM)			GRUPO B (DEGHENHARD 2013)		
Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)	Vigas	Carga (kN)	Flecha (mm)
A1	60,97	28,68	B1	59,87	18,10	B1	66,18	9,37
A2	82,61	13,06	B2	60,37	11,94	B2	65,3	9,8
A3	77,29	12,59	B3	61,58	8,94	B3	65,41	10,62
Média	73,62	18,11	Média	60,61	12,99	Média	65,63	9,93
Desvio Padrão	11,28	-	Desvio Padrão	0,88	-	Desvio Padrão	0,48	-
Acréscimo	14%			-6%			29%	

Fonte: Do autor, 2014.

6. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir:

- O resultado do ensaio de abatimento do cone e de resistência à compressão axial apresentaram resultados satisfatórios, sendo estes de 10 cm e 25,25 MPa, respectivamente;
- O resultado do ensaio piloto não apresentou resultado satisfatório, visto que ocorreu a deformação do perfil de aço e arrancamento na região dos furos dos chumbadores, causado possivelmente por sua pequena espessura, bem como também o destacamento do concreto na região próximo aos apoios, comprovando, conforme Reis⁷ (2001, apud CAMPAGNOLO *et al.*, 1997,

- p.85), que "a resina é necessária para garantir um bom desempenho, não recomendando a solução por fixação exclusiva com parafusos";
- A carga para atingir o deslocamento máximo permitido por norma apresentou acréscimo de 20% para o grupo A, e 16% para o grupo B, ambos comparados com à viga de referência;
 - A carga para atingir a ruptura apresentou acréscimo de 14% para o grupo A e 6% de queda de resistência para o grupo B;
 - O deslocamento médio no momento da ruptura foi semelhante entre os grupos R e A, sendo este valor de 17,83 mm, enquanto que para o grupo B o deslocamento foi de 12,99 mm;
 - A partir da análise de variância Anova, constatou-se que tanto para o deslocamento máximo, quanto para a ruptura, os grupos de vigas são estatisticamente iguais;
 - Verificou-se um aumento considerável na capacidade portante das vigas reforçadas com perfil de aço de 150 cm de comprimento, sendo mais eficiente em relação ao perfil de aço que abrange apenas o terço central da viga;
 - O reforço feito com perfil de aço de 80 cm de comprimento não apresentou resultados satisfatórios, ou seja, não acrescentou resistência em relação à viga de referência na ruptura;
 - Ao realizar uma análise comparativa com os ensaios de Deghenhard¹ (2013), conclui-se que a chapa de aço apresenta resultados de acréscimo de resistência mais favoráveis do que quando substituído por perfil de aço.

Para trabalhos futuros, sugere-se:

- Melhorar a aderência do perfil de aço à viga de concreto armado, usando além de adesivo epóxi, chumbadores, com o intuito de otimizar o sistema de ancoragem;
- Adotar perfil de aço em formato "U" com maior espessura para a técnica de reforço com chumbadores e adesivo.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

⁶ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

¹DEGHENHARD, Caroline Crozeta - **Análise experimental da capacidade portante em vigas de concreto armado sujeitas a flexão com reforço metálico colado na face tracionada**. Criciúma, 2013.

²HELENE, Paulo. **Manual para reparo, reforço e proteção de estruturas de concreto**. 2.ed São Paulo: PINI, 2000. 213 p.

⁴MACHADO, Ari de Paula - **Reforço de Estruturas de Concreto Armado com Fibras de Carbono: características, dimensionamento e aplicação**. São Paulo, Editora Pini Ltda., 2002. 271p.

³MOUZAHM, Taufik Mohammad. **Avaliação de Reforços de Vigas de Concreto Armado à Flexão**. Foz do Iguaçu, 2006.

⁷REIS, Lília Silveira Nogueira. **Sobre a recuperação e reforço de Estruturas de concreto armado**. Belo Horizonte, 2001.

⁸REIS, Andréa Prado Abreu. **Reforço de vigas de concreto Armado por meio de barras de aço adicionais ou chapas de aço e argamassa de alto desempenho**. São Carlos, 1998.

⁵SIMÕES, Maria Luisa de Faria. **Reforço à flexão de vigas de concreto armado por Encamisamento parcial**. Rio de Janeiro, 2007.