

AVALIAÇÃO DO POTENCIAL DO REFORÇO COM CHAPA COLADA EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO PÓS-FISSURAÇÃO

Angélica Medeiros de Costa (1); Bruno do Vale Silva (2).

LEE- Laboratório Experimental de Estruturas
UNESC - Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) Orientando; e-mail: engcivil.angelicadecosta@gmail.com,
(2) Orientador; e-mail: dovalessilva@unesc.net

RESUMO

Com o crescimento rápido da engenharia surgiram novas tecnologias e também inovações que agregam novos e maiores riscos as construções. O concreto é o material mais utilizado no mundo, apesar de não ser resistente como o aço, porém apresenta grande durabilidade, grande disponibilidade de formas e tamanhos, baixo custo e rápida disponibilidade na obra. O presente estudo visa avaliar se uma viga pós-fissuração, quando aplicada um reforço com chapa de aço SAE 1020 colada com adesivo epóxi e ancorada com parabolts ainda resiste a 40,0 kN, valor esse referente a 85% da carga encontrado nas vigas de referências ensaiadas no início do experimento. Com os resultados dos ensaios pode-se concluir a eficácia do reforço pós-fissuração, que apresentou um incremento médio de 31,3% na resistência à flexão das vigas de estudo mesmo pós-fissuradas.

Palavras-Chave: Reforço, chapa de aço, parabolts, concreto.

1. INTRODUÇÃO

Desde as primeiras civilizações o homem sempre se preocupou com a construção de estruturas que atendessem suas necessidades. Nos dias atuais o desenvolvimento de novas tecnologias na concepção, no cálculo, na análise ou no detalhamento de estruturas é uma das maiores preocupações no ramo da construção civil. Com o crescimento rápido, surgiram inovações, agregando assim novos e maiores riscos.

Estima-se que o consumo mundial anual de concreto seja em torno de 11 bilhões de toneladas. E que, apesar de não ser resistente como o aço, o concreto é o material mais utilizado na engenharia, devido a sua excelente durabilidade quando bem executado, apresentar ampla variedade de tamanhos e formas quando fresco, possuir baixo custo em relação ao aço e rápida disponibilidade do material na obra.

Como explicam Mehta e Monteiro⁶ (2008, p. 6): O concreto armado “é o concreto que normalmente contém barras de aço, que é projetado sobre a premissa de que os dois materiais atuam juntos na resistência às forças de tração e compressão”.

Apesar de ser um material muito utilizado, o concreto também apresenta determinadas desvantagens, como exemplo: a tendência à fissuração e respectiva diminuição da durabilidade do material. Mehta e Monteiro⁶ (2008, p. 18), definem durabilidade do concreto como “a expectativa de vida de um material sob determinadas condições ambientais”.

As construções ainda apresentam várias limitações, quanto ao nível científico aplicado e ao controle tecnológico utilizado, o que resulta em falhas estruturais e conseqüentemente desempenhos insatisfatórios.

Este complexo conjunto de fatores gera o que é chamado de deterioração estrutural. (...) 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 *apud* Deghenhard⁴, 2013, p.13).

Determina-se como patologia das estruturas, um campo relativamente novo na engenharia das construções, “que se ocupado do estudo das origens, formas de manifestações, conseqüências e mecanismos de ocorrência das falhas e dos sistemas de degradação das estruturas”. (Souza e Ripper⁵, 1998, p.14).

Santos⁸ (2008, p.13), cita que em um curto prazo “quando uma estrutura não é mais capaz de resistir às cargas a que está submetida, ou quando estas cargas são indevidamente aumentadas, torna-se necessário reforçá-la ou reabilitá-la”, garantindo assim a durabilidade do concreto na construção.

Com define Ferrari *et al.* (2002) *apud* Pimenta⁷ (2012, p. 12), o uso de reforço estrutural é utilizado para elevar a capacidade de elemento estrutural resistir a um determinado esforço, que devido a “falhas de concepção ou execução de projeto, alteração da função da edificação, desgaste natural, surgimento de patologias, variações térmicas no concreto, falta de manutenção, entre outros motivos, não atendem mais as suas condições originais ou novas necessidades da estrutura”. O

mesmo autor explica que a principal justificativa desses reforços estruturais recai no seu baixo custo em relação à inutilização e destruição da estrutura.

Existem varias técnicas para o reforço estrutural, a técnica que será utilizada no presente estudo tem como base o estudo desenvolvido por Deghenhard⁴ (2013), onde foi utilizada colagem de chapa metálica com diferentes espessuras. O estudo mostrou que a espessura de chapa com 0,75 mm apresentou um acréscimo de 36% na resistência à flexão das vigas.

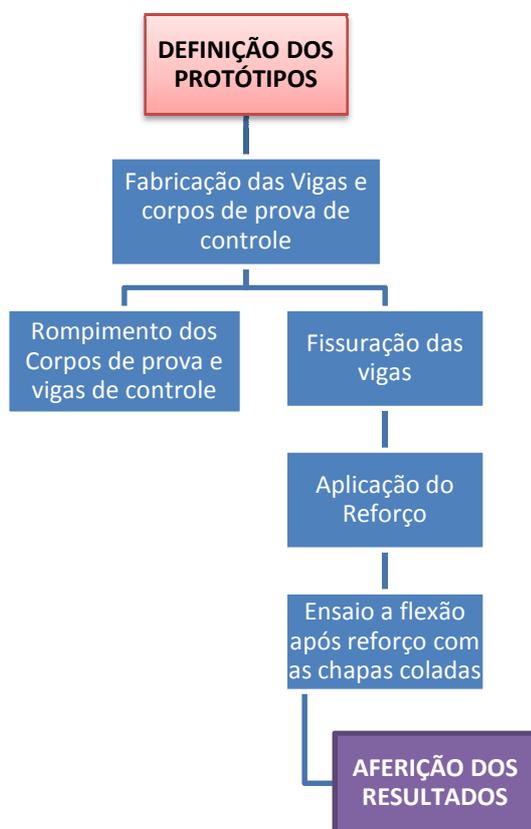
O objetivo deste estudo é analisar através de ensaios experimentais o comportamento de uma viga de concreto armado pós-fissurada com aplicação de reforço com chapa colada e parabolts. Será aplicado um reforço metálico com chapas de aço SAE 1020 de espessura 0,75 mm com adesivo epóxi e ancoragem com parabolts na face tracionada com a função de aumentar ou estabilizar a resistência à flexão da respectiva viga pós-fissurada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

O início do planejamento experimental foi com a fabricação de cinco vigas. Duas vigas foram separadas para serem testemunhos, as mesmas foram levadas ao rompimento total para verificação da carga máxima, deslocamentos verticais e fissuração.

As três vigas restantes foram levadas até 85% da carga máxima e posteriormente reforçadas com chapa colada com espessura de 0,75 mm mais parabolts de ancoragem. Paralelos aos ensaios de flexão foram moldados cinco corpos de prova cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm), conforme especificações na norma NBR 5738:2003² e NBR 5739:2007³, com o objetivo de obter a resistência à compressão do concreto na data do ensaio das vigas. Lembrando que, todos os ensaios foram realizados no Laboratório Experimental de Estruturas – LEE, localizado no Iparque – UNESC. Como forma de apresentar um quadro resumo do presente artigo, o organograma da Figura 1 mostra as etapas da pesquisa.

Figura 1- Organograma do procedimento experimental.



Fonte: Autor, 2014.

2.1 FABRICAÇÃO DAS VIGAS E PROPRIEDADES DOS MATERIAIS UTILIZADOS

As formas para concretagem da viga foram confeccionadas no canteiro de obras da empresa construtora LOCKS, localizada no município de Criciúma - SC, que disponibilizou o material e a mão de obra (Figura 2). Utilizou-se para forma de madeira uma seção transversal de 17x25 cm com 205 cm de comprimento.

Com as formas prontas, as cinco vigas foram produzidas com seção transversal de 12x20 cm e 200 cm de comprimento. Utilizou-se para as armaduras de flexão 2Ø10 mm, resultando uma área de aço de 1,6 cm². Para os estribos foram utilizados Ø5 mm com espaçamento de 10 cm. As armaduras foram detalhadas de acordo com as recomendações da NBR 6118:2007¹ e todas foram de aço com nervuras CA-50.

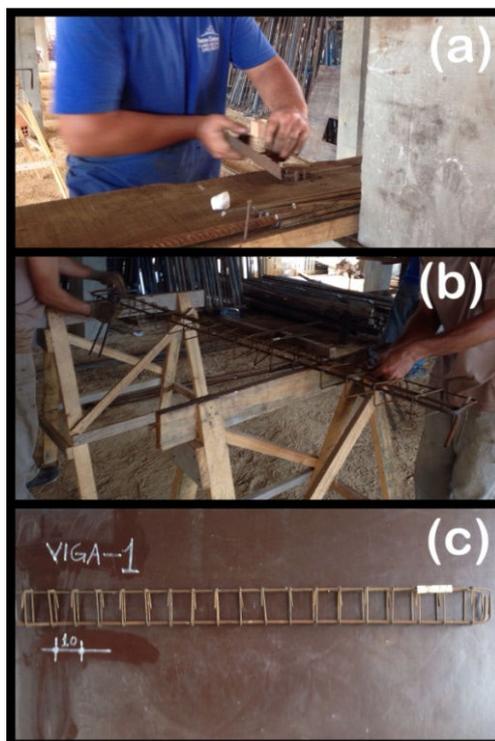
Figura 2 – (a) Foto da preparação e corte da madeira. (b) Foto da montagem da forma. (c) Foto da forma pronta para concretagem.



Fonte: Autor, 2014.

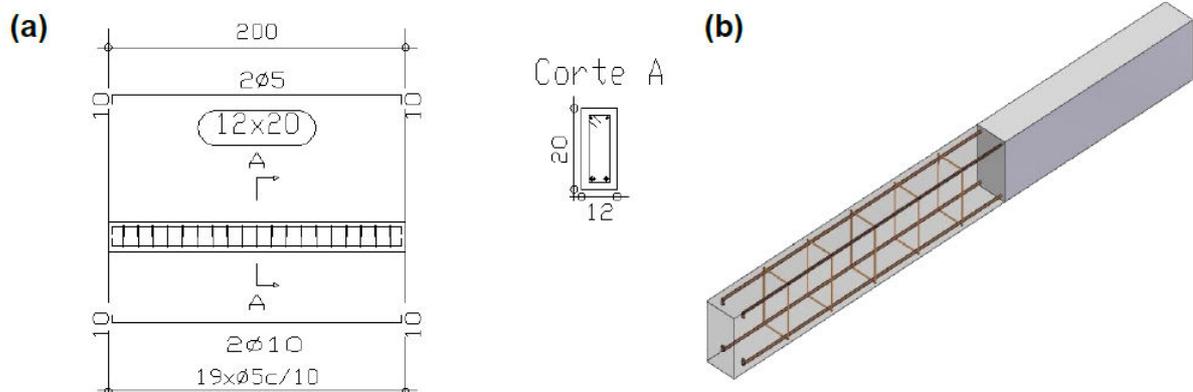
A Figura 3 apresenta a preparação da armadura utilizada e a Figura 4 mostra o desenho do detalhamento da armadura.

Figura 3 – (a) Foto da preparação e corte do aço. (b) Foto da montagem da armadura. (c) Foto da armadura pronta para concretagem.



Fonte: Autor, 2014.

Figura 4 - Detalhamento das armaduras nas vigas - (a) Detalhamento longitudinal; (b) Perspectiva da armação.



Fonte: Caroline Crozeta Deghenhard, 2013.

O traço unitário do concreto utilizado foi de 1:3,21:4,24 com $a/c=0,63$, a Tabela 1 apresenta o consumo por m^3 dos materiais utilizados no concreto.

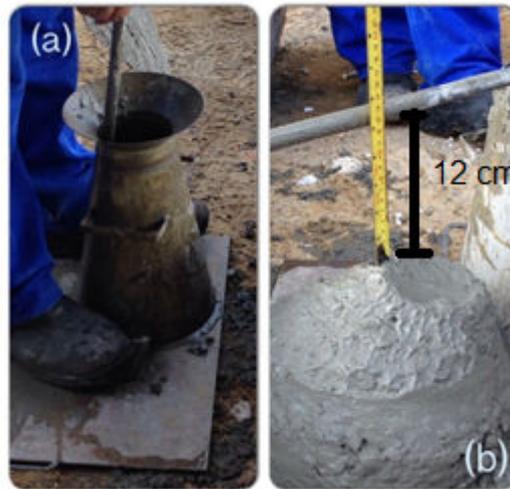
Tabela 1 – Composição e consumo por m^3 dos materiais.

Material	Consumo (kg/m^3)
Cimento CPIV 32	224,0
Adição Pozolana	40,0
Areia média	847,0
Brita 1	700,0
Brita 0	419,0
Aditivo	2,897
Água	167,0

Fonte: Autor, 2014.

O concreto foi caracterizado no estado fresco por meio do ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump-test*) segundo as recomendações NBR 6118:2007¹ (Figura 5). O resultado obtido foi de 12 cm. Foram moldados cinco corpos de prova cilíndricos ($\varnothing 10 \times 20$ cm) para o controle da resistência à compressão do concreto, como mostra a Figura 6.

Figura 5 – (a) Ensaio *Slump-Test* - Abatimento de tronco de cone. (b) Valor do *Slump-Test*



Fonte: Autor, 2014.

Figura 6 – Corpos de Prova para os ensaios de compressão



Fonte: Autor, 2014.

Na mesma data dos ensaios das vigas foram realizados os ensaios de compressão do concreto. A Tabela 2 mostra os resultados obtidos para todos os corpos de prova, juntamente com a média e desvio padrão dos mesmos.

Tabela 2 – Valores obtidos de resistência à compressão.

CP	f_c (MPa)
1	25,2
2	18,8
3	24,2
4	26,2
5	28,5
Média	24,52
D.P.	3,60

Fonte: Autor, 2014.

As cinco vigas foram concretadas na mesma data com concreto usinado, como mostra a Figura 7 (a). O concreto foi adensado com auxílio de vibradores de imersão como mostra a Figura 7(b). Para garantir o cobrimento da armadura longitudinal de 2,5 cm, foram utilizados espaçadores plásticos. A concretagem foi realizada no canteiro de obra da construtora LOCKS que cedeu o espaço e material. A sequência de concretagem foi realizada conforme a Figura 7(c).

Figura 7 – Concretagem das vigas – (a) Colocação do concreto na forma; (b) Vibração do concreto; (c) Viga concretada.



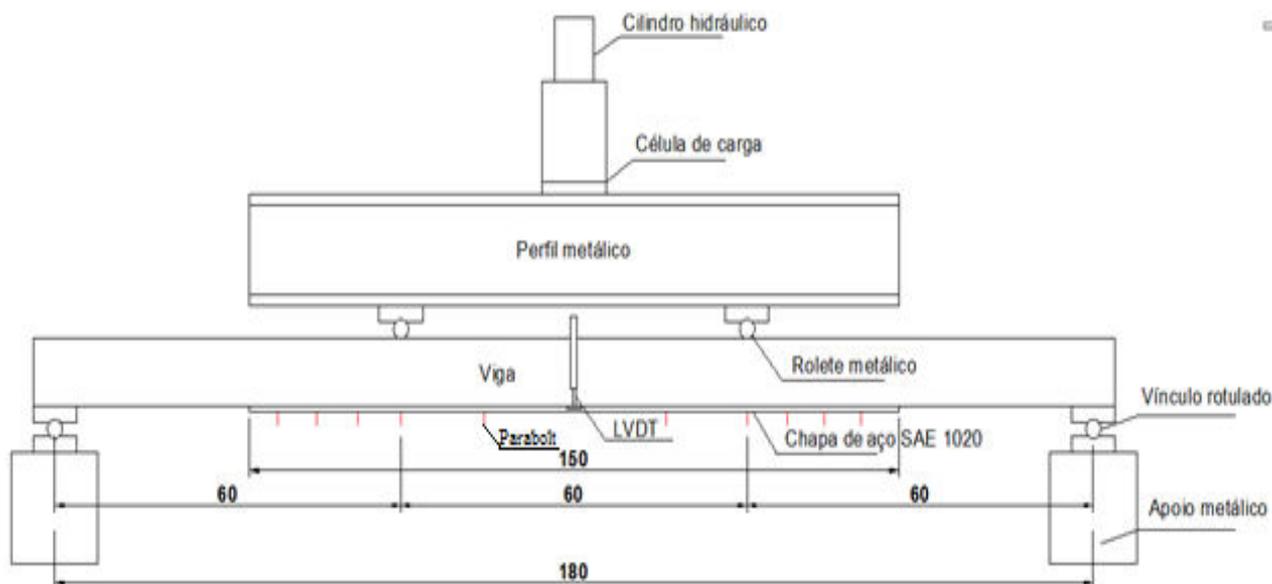
Fonte: Autor, 2014.

2.2 PRIMEIRA ETAPA – ENSAIO PARA FISSURAÇÃO

As vigas passaram pelo processo de cura ao longo de 28 dias e posteriormente encaminhadas ao LEE – Laboratório de Experimental de Estruturas do Iparque – UNESC.

Para realização dos ensaios de flexão a quatro pontos foi utilizado um pórtico metálico de reação, onde está um cilindro hidráulico e uma célula de carga acoplada em sua base com capacidade de leitura de 500 kN e para a medida da deflexão da viga um transdutor de deslocamento de 100 mm (LVDT) localizado no centro do vão. Todos os equipamentos estão ligados ao sistema de aquisição de dados Quantum X® que utiliza o *software* Catman Easy®, ambos da marca HBM®. (Figura 8).

Figura 8 - Visão e esquema geral do ensaio



Fonte: Autor, 2014.

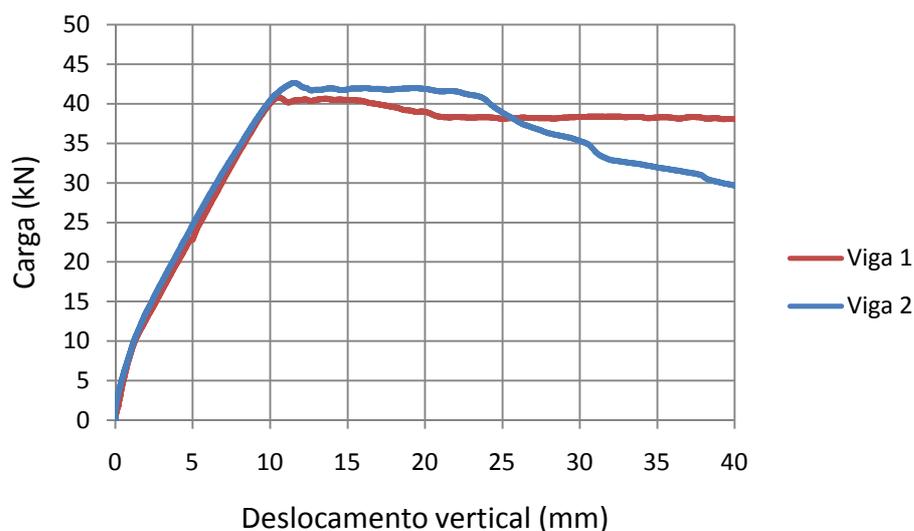
Para a análise do grau de fissuração, primeiramente foram ensaiadas duas vigas de referência, nas quais foram medidos os deslocamentos e cargas necessárias para atingir cada Estádio de deformação (I, II e III). A Figura 9 mostra as duas vigas de referência rompidas e a Figura 10 mostra o gráfico de carga por deslocamento vertical das vigas V1 e V2. A Tabela 3 mostra os valores obtidos nos ensaios das vigas V1 e V2.

Figura 9 - Vigas rompidas a Flexão Estática (V1 e V2)



Fonte: Autor, 2014.

Figura 10 - Gráficos de Referência Viga 1 e Viga 2 - Carga versus deslocamento



Fonte: Autor, 2014.

Tabela 3 – Cargas e Deslocamento Máximo

Viga	Carga máxima (kN)	Deslocamento na carga máxima (mm)
V1	40,79	10,57
V2	42,61	11,53
Média	41,70	11,05
Desvio Padrão	1,28	0,68

Fonte: Autor, 2014.

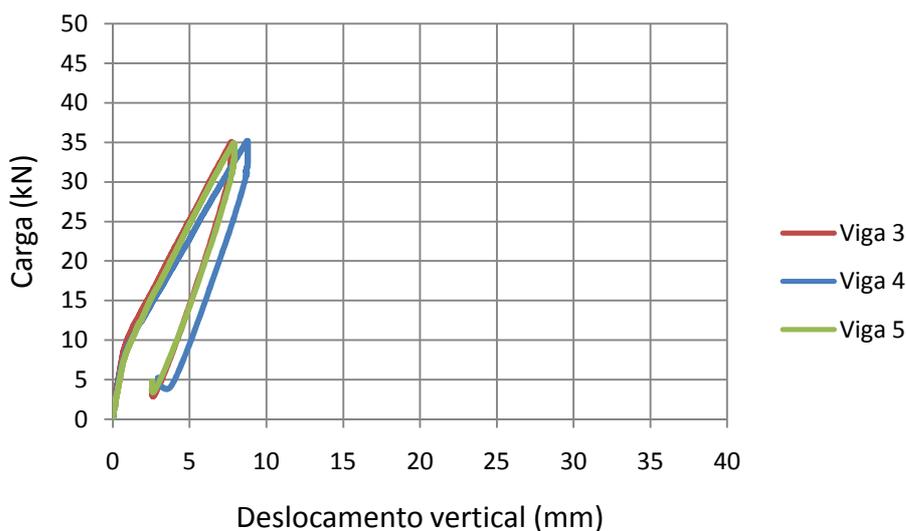
Após esse procedimento, as três vigas restantes foram levadas a 85% da carga máxima obtida nas vigas de referência. A Figura 11 mostra o grau de fissuração que as três vigas restantes foram submetidas. A Figura 12 mostra o gráfico de carga por deslocamento vertical das vigas V3, V4 e V5 e a Tabela 4 mostra os valores obtidos nos ensaios das vigas V3, V4 e V5.

Figura 11 – Vigas fissuradas



Fonte: Autor, 2014.

Figura 12 - Gráfico de Fissuração Viga 3, 4 e 5 – Carga versus Deslocamentos.



Fonte: Autor, 2014.

Tabela 4 – Carga e Deslocamento Fissuração

Viga	Carga a 85% da carga máxima (kN)	Deslocamento a 85% da carga máxima (mm)
V3	34,35	7,87
V4	34,49	9,07
V5	34,24	7,37
Média	34,36	8,10
Desvio Padrão	0,12	0,87

Fonte: Autor, 2014.

2.3 SEGUNDA ETAPA – COLAGEM DAS CHAPAS METÁLICAS COM ADESIVO EPÓXI E APLICAÇÃO DE PARABOLTS

Após a fissuração, as vigas passaram pelo processo de colagem das chapas metálicas SAE 1020 com espessura de 0,75 mm. Foram padronizadas em todas as vigas, 12 cm de largura e 150 cm de comprimento de chapa.

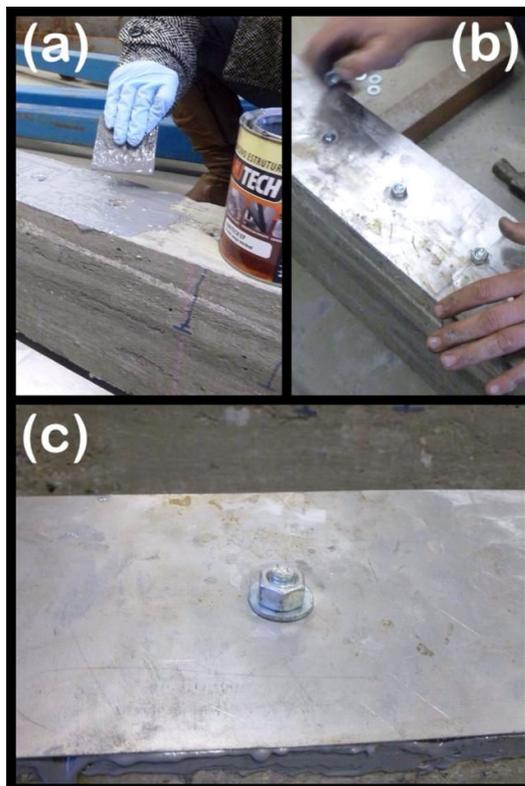
Cada viga recebeu uma chapa SAE 1020 colada com adesivo estrutural na área tracionada. O Adesivo estrutural de alta viscosidade da marca Bautech®, é composto de um bicomponente com matéria-prima principal o epóxi. Segundo o fabricante, este adesivo possui como características sobressalentes, alta adesividade, resistência química e mecânica, impermeabilidade a água e óleo e contém material pré-dosado e apresenta dureza inicial 12 horas após ser aplicado, e cura total 7 dias após a aplicação do produto na viga.

A aplicação do adesivo estrutural seguiu as recomendações de seu fornecedor, onde a superfície a ser aplicada deveria estar isenta de pó, desmoldantes de forma, ou qualquer substância que prejudique a adesão do componente entre a chapa e a área a ser colada. O procedimento de limpeza foi realizado com uma escova de aço. O preparo do adesivo estrutural aconteceu com a homogeneização das substâncias conforme manual de instruções. A mistura ocorreu entre o endurecedor (componente B) e a resina (componente A), onde foram necessários 5 minutos, conforme informado pelo fabricante, para correta homogeneização do produto.

Antes da colagem das chapas, foram realizadas ranhuras nas chapas de aço e na viga de concreto, por intermédio de lixadeira elétrica, com o objetivo de uma melhor aderência ao concreto.

Para a aplicação nas vigas foram utilizadas espátulas, ficando a espessura mínima de resina em 2 mm. (Figura 13).

Figura 13 – (a) colocação do adesivo epóxi; (b) Colagem das chapas; (c) Viga pronta.



Fonte: Autor, 2014.

Ao colocar as chapas de aço, as mesmas foram submetidas a uma leve pressão com o martelo de borracha, para que o excesso de adesivo colocado fosse expulso, deixando uma superfície mais lisa e uniforme, uma vez que foram colocados pesos para garantir a cura inicial. Todo processo ocorreu aos 28 dias de cura do concreto das vigas utilizadas para o presente estudo.

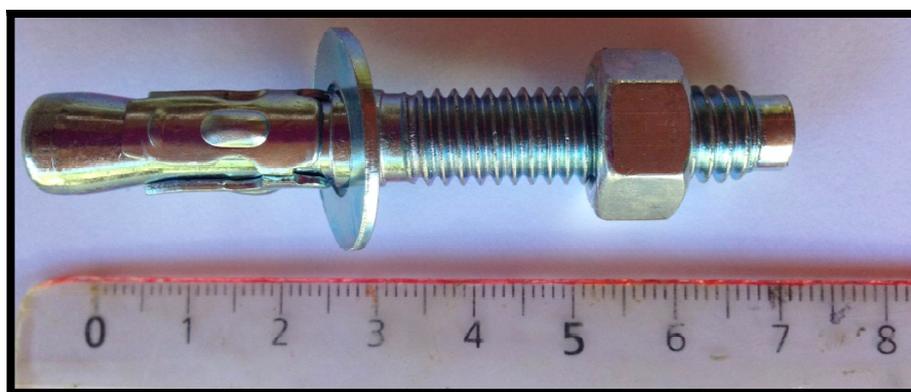
Para a correta adesão da chapa ao concreto deve-se manter a chapa colada sem movimento durante, pelo menos, 24 horas. O fabricante adverte que a liberação para carregamento deve ser efetuada após sete dias de colagem.

Atendendo a recomendação do fabricante, logo após sete dias de secagem, as vigas foram submetidas novamente ao ensaio de flexão a quatro pontos, para análise da capacidade de carga.

Para garantir e melhorar o reforço foram colocados parabolts para assegurar a ancoragem junto aos terços médios das vigas próximos aos apoios.

Os Parabolts (Figura 14) são equipamentos fabricados em aço, e são utilizados em locais onde não é possível realizar uma ancoragem natural, possibilitando assim a fixação de chapeletas, e são encontrados comumente no mercado em três tamanhos: 8 mm, 10 mm e 12 mm. Os parabolts de 8 mm, atualmente são difíceis de serem encontrados no mercado, pois está havendo uma padronização no uso de parabolts de 10 mm, por apresentarem uma maior resistência e ainda sim, a mesma facilidade para serem fixados como um de 8 mm.

Figura 14 – Parabolt utilizado ($\varnothing 10$ mm)

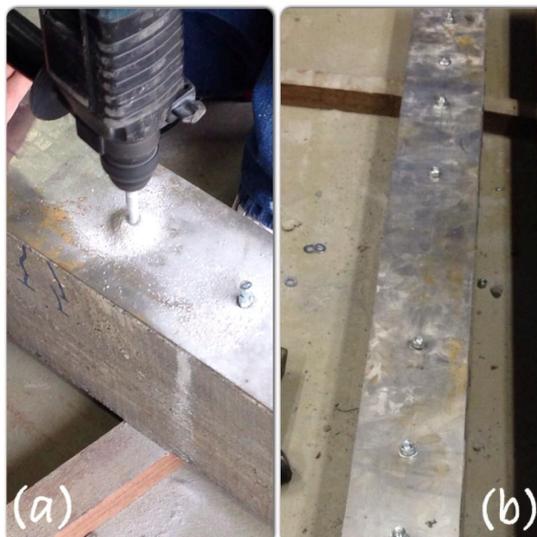


Fonte: Autor, 2014.

O parabolt é um tipo de parafuso que fica com a rosca exposta e são colocados no concreto com o auxílio de uma furadeira manual ou a bateria (Figura 15), e depois de colocados, não podem mais serem removidos.

Foram utilizados 10 parabolts distribuídos ao longo da chapa de aço com 150 cm de comprimento. Dois parabolts foram colocados no centro os terços médios, e os demais distribuídos uniformemente após os terços médios.

Figura 15 – (a) Preparação dos furos; (b) Parabolt colocado para ancoragem.

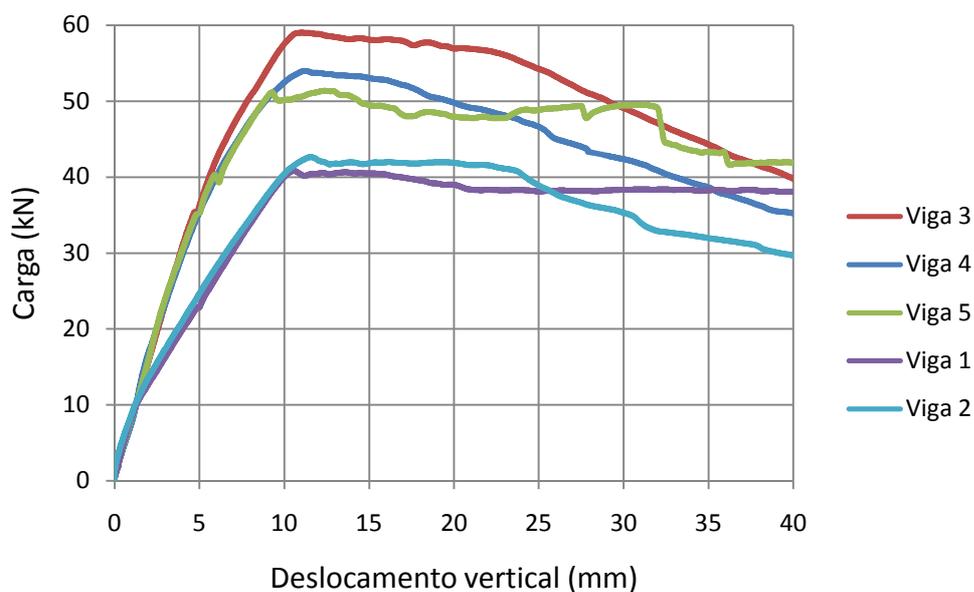


Fonte: Autor, 2014.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Após o período de cura do adesivo estrutural epóxi realizou-se os ensaios para verificação de resistência total à flexão de cada viga reforçada. A Figura 16 apresenta os resultados obtidos para as vigas reforçadas e também apresenta, para comparação, as vigas V1 e V2 de referência não reforçadas.

Figura 16 - Gráfico de resistência à flexão das Vigas 1, 2, 3, 4 e 5 – Carga versus Deslocamentos.



Fonte: Autor, 2014.

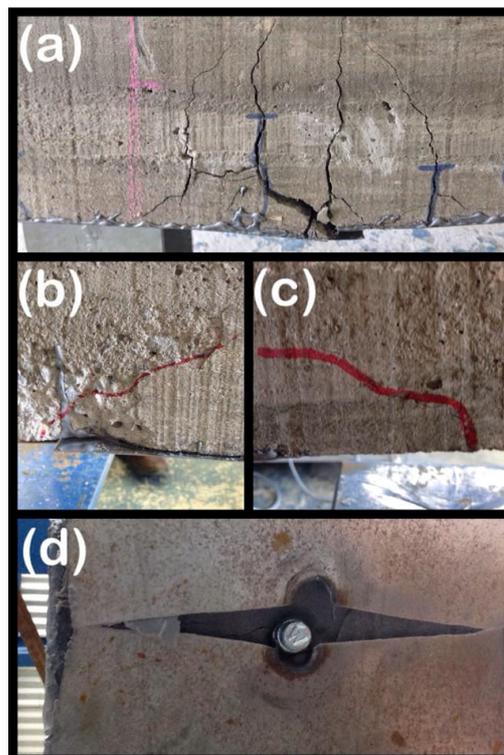
A Tabela 5 mostra os resultados obtidos de cada viga reforçada. Em geral as vigas reforçadas apresentaram um aumento de carga máxima de 31,3% em relação às de referência. Entretanto notou-se nos ensaios um comportamento de ruptura diferente para cada viga. A Figura 17, Figura 18 e Figura 19, apresentam o modo de ruptura de cada viga.

Tabela 5 – Carga e deslocamento máximo V3, V4 e V5.

Viga	Carga máxima (kN)	Deslocamento na carga máxima (mm)
V3	59,00	11,06
V4	53,98	11,22
V5	51,34	12,33
Média	54,77	11,54
Desvio Padrão	3,89	0,69

Fonte: Autor, 2014.

Figura 17 – Viga 3 - (a) Ruptura; (b) e (c) Fissuras originadas a partir da chapa colada; (d) Rompimento da chapa no parabolit.

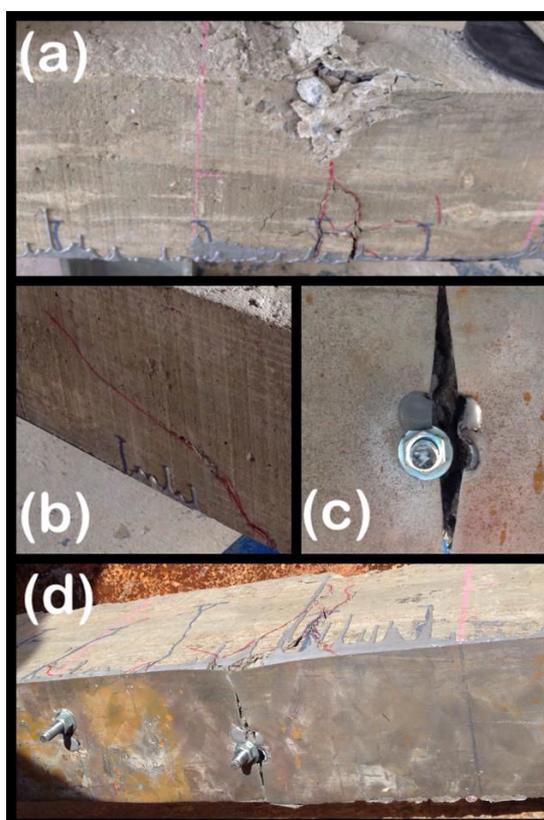


Fonte: Autor, 2014.

Analisando a Figura 17, a viga V3 sofreu ruptura no meio do vão com ruptura transversal da chapa na área do parabolit colocado no terço central, mostrando que

os parabolts foram bem ancorados. A viga apresentou resistência de 59,0 kN, e na carga de 34,4 kN foi verificado que as fissuras pré existentes. Verificou-se que na ruptura total a viga rompeu no furo do parabolt no terço médio, onde existia uma área frágil de menor área de chapa. A viga apresentou um começo de fissuração inclinada próximo ao apoio na região onde terminava o reforço com a chapa. A Viga 3 apresentou o melhor resultado, apresentando um acréscimo de 41,5% em relação as vigas de referência.

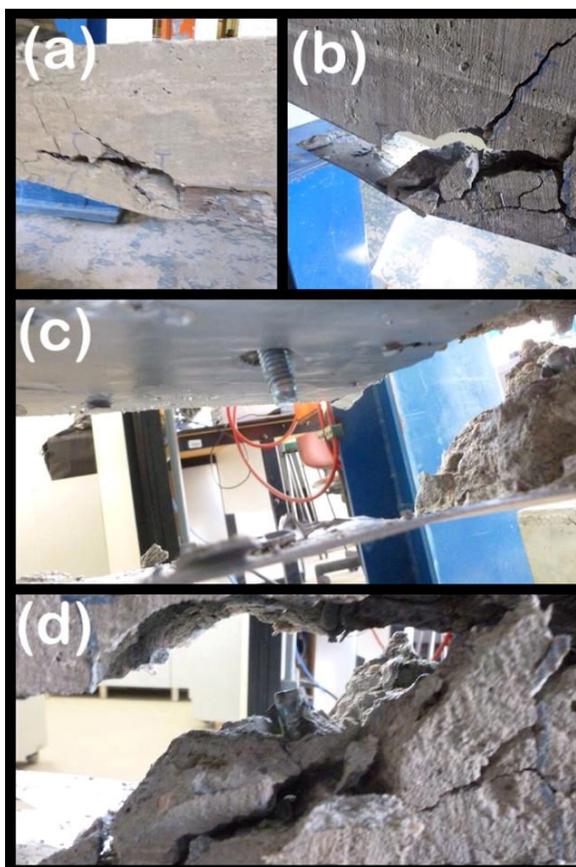
Figura 18 – Viga 4 - (a) Ruptura; (b) Fissuras originadas a partir da chapa colada; (c) e (d) Rompimento no parabolt.



Fonte: Autor, 2014.

A análise do modo de ruptura realizada na viga V4, apresentada na Figura 18, ficou semelhante à apresentada na viga V3. A viga V4 sofreu ruptura próximo ao centro da viga, onde havia um parabolt ancorado, criando uma área frágil. A chapa rompeu transversalmente em relação à viga de concreto, uma vez que ao sofrer a carga de 34,0 kN, suas fissuras pouco abriram, e com ruptura total, apresentou carga de 53,98 kN, com isso ouve um acréscimo de 29,4% na resistência da viga, pós fissurada.

Figura 19 – Viga 5 - (a) e (b) Ruptura e descolamento da chapa; (c) Chapa descolada e sem ancoragem; (d) Rompimento no parabolt com arrancamento do concreto pelo parabolt ancorado.



Fonte: Autor, 2014.

Analisando a ruptura na viga V5, apresentado na Figura 19, pode-se observar que houve um descolamento da chapa de aço e em contra partida da má ancoragem no primeiro parabolt, onde o mesmo soltou a porca que estava a ele rosqueada. Pode-se observar também a área ancorada pelo parabolt, que foi onde houve o rompimento do concreto por deslocamento. A viga rompeu com 51,34 kN, abaixo das demais, devido a falha na execução do reforço, porém quando levada ao esforço de 34,0 kN pouco abriu as fissuras já existente, como observado nas outras vigas. A viga V5 apresentou um acréscimo de resistência de 23,1% com relação a sua carga de ruptura de referência.

4. CONCLUSÃO

Diante dos resultados obtidos, podem-se obter as seguintes conclusões:

- O reforço realizado com chapas coladas e parabolts em vigas pré-fissuradas foi satisfatório, uma vez que em todas as vigas foi observado o acréscimo da carga máxima de ruptura com aumento da rigidez na área de cargas de serviço e diminuição do aparecimento das fissuras na carga 34,0 kN.
- É de suma importância o adequado processo de reforço para cada viga, visto que qualquer erro de fixação influencia no resultado de resistência à flexão final a ser obtido. As fixações de parabolts no meio da viga acabaram por provocar uma área frágil na chapa com a redução da resistência esperada.
- O método de aplicação do adesivo estrutural epóxi mostrou-se de fácil e rápida aplicação quando usado para colar a chapa de aço SAE 1020 de 0,75 mm, onde o adesivo estrutural epóxi apresentou boa eficiência, contribuindo para o aumento da resistência das vigas sujeitas a flexão.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

¹ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto**. Rio de Janeiro, 2007.

² _____. **NBR 5738: Concreto - procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova**. Rio de Janeiro, 2003.

³ _____. **NBR 5739: Concreto - ensaio de compressão de corpos de prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2007.

⁴DEGHENHARD, Caroline Crozeta - **Análise experimental da capacidade portante em vigas de concreto armado sujeitas a flexão com reforço metálico colado na face tracionada**. Criciúma. 2013. 19p.

⁵DE SOUZA, Vicente Custódio Moreira; RIPPER, Thomaz - **Patologia, Recuperação e Reforço de Estruturas de Concreto**. São Paulo: Editora Pini Ltda., 1998. 255 p.

⁶METHA, Povindar Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais**, São Paulo: IBRACON ed., 2008. 674p.

⁷PIMENTA, Taia Marinho. **Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com chapas metálicas, coladas com geopolímero, e com mantas de sisal coladas com resina epóxi**. Paraíba, 2012. 65p.

⁸SANTOS, Paulo Mascarenhas. **Comparação de reforço com chapas de aço e fibras de carbono em vigas de concreto armado submetida à flexão simples.** Feira de Santana, 2008. 61p.

⁹**Spit e Parabolit.** Disponível em: <http://www.grampo9.com/eq_spit_parabolit.html>
Acessado em: 02 de junho de 2014.