

ANÁLISE COMPARATIVA ENTRE DIFERENTES MÉTODOS DE REFORÇOS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

MARA BRUNA SILVEIRA MUNIZ^{1*}, CARLA SIMONE ALBUQUERQUE², RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA³

¹Estudante do Grupo de Pesquisa GEM, Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, mbrunamuniz@gmail.com

²Estudante do Grupo de Pesquisa GEM, Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, carla19matematica@gmail.com

³Professor Doutor, Líder do Grupo de Pesquisa GEM, UVA, Sobral-CE, ricardo.carvalho222@gmail.com

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2016
29 de agosto a 2 de setembro de 2016–Foz do Iguaçu, Brasil

RESUMO: Os estudos sobre reforços em estruturas de concreto armado têm crescido com o passar dos anos. Isto se deve pelo fato de ser cada vez mais comum estruturas com patologias necessitando de reabilitação. Em face disso, o presente trabalho tem como objetivo analisar a eficiência de três métodos distintos de reforços em vigas de concreto armado: (1) reforço com a adição de barra de aço e adesivo estrutural à base epóxi, (2) reforço através da adição de chapa de aço colada com adesivo epóxi e parafusos para auxiliar na ancoragem e (3) viga reforçada com polímeros de fibra de carbono. Foram pesquisados e comparados resultados de ensaios realizados por diferentes pesquisadores levando-se em consideração a eficiência dos reforços (resistência mecânica e a aderência ao concreto). Desta forma, conclui-se que as vigas reforçadas da pesquisa obtiveram em geral resistências superiores as vigas não reforçadas e, além disso, também observou-se a redução de fissuras nas vigas reforçadas antes da ruína.

PALAVRAS-CHAVE: Reforço, viga, concreto armado, resistência.

COMPARATIVE ANALYSIS OF DIFFERENT METHODS OF STRENGTHENING IN REINFORCED CONCRETE BEAMS

ABSTRACT: Studies on strengthening in reinforced concrete structures have increased during the years. This is justified to the fact that it is common appears structural pathologies requiring rehabilitation. For this reason, this paper aims to analyze the efficiency of three different strengthening methods for reinforced concrete beams: (1) strengthening with addition of steel bar and structural adhesive epoxy base, (2) strengthening by adding steel plate glued with epoxy adhesive and screws to aid in anchoring and (3) beam with carbon fiber reinforced polymers. They searched and compared test results obtained by different researchers taking into account the efficiency of strengthening (mechanical resistance and adhesion to concrete). Thus, it was concluded that generally the strengthened beams were more resistant than non-strengthened beams and, moreover, there was also a reduction of cracks in strengthened beams before failure.

KEYWORDS: Strengthening, beam, reinforced concrete, resistance.

INTRODUÇÃO

Ainda que existam diversas opções de materiais estruturais, o concreto armado ainda é o material estrutural mais usado no mundo. No entanto, com o passar dos anos, quando não há uma adequada manutenção, é comum nas estruturas de concreto armado aparecerem patologias advindas, principalmente, da incidência de agentes agressivos.

Segundo Silva (2006), as principais características do concreto armado são resistência e durabilidade, devido a isso o confundem como um material infindável. Porém, vale ressaltar que as estruturas de concreto armado não são eternas, e se desgastam com o passar do tempo necessitando de manutenção e recuperação.

Diante dos estudos já desenvolvidos sobre reforços de estruturas de concreto armado, o presente trabalho faz uma análise comparativa da eficiência de três métodos distintos de reforços de vigas: (1) reforço com a adição de barra de aço e adesivo estrutural à base epóxi, (2) reforço através da adição de chapa de aço colada com adesivo epóxi e parafusos para auxiliar na ancoragem e (3) viga reforçada com polímeros de fibra de carbono.

Dessa forma, o objetivo desse trabalho é investigar qual desses é o reforço estrutural mais eficiente.

MATERIAIS E MÉTODOS

Foram analisados três diferentes tipos de reforços de viga de concreto armado, primeiramente verificou-se o estudo experimental de reforço com a adição de barra de aço e adesivo estrutural à base epóxi (Carneiro, 2013); logo em seguida foi observada a pesquisa experimental de reforço através da adição de chapa de aço colada com adesivo epóxi com/sem parafuso (Ximenes, 2016); e para finalizar verificou-se o estudo experimental de vigas reforçadas com polímeros de fibra de carbono (Duarte, 2011). Para verificação da eficiência de cada tipo de reforço, foram comparados os resultados experimentais de cada pesquisa e, posteriormente, comparados entre si.

Para realização do estudo do primeiro tipo de reforço, Carneiro (2013) submeteu as vigas ao “Ensaio de Stuttgart” no laboratório da UVA. Essas vigas possuíam seção transversal retangular medindo (10x15)cm e 80cm de comprimento, sendo 62cm de vão bi-apoiado.

Na primeira etapa do ensaio as vigas que seriam reforçadas posteriormente, foram devidamente posicionadas na prensa hidráulica, onde receberiam uma carga de 5kN, logo em seguida retirada, procedimento necessário para acomodar os materiais da viga e garantir a eficiência dos resultados do ensaio. Em seguida foi aplicada uma carga de forma gradual até atingir 50kN com o objetivo de pré-fissurar a viga.

As vigas da Carneiro (2013) foram inicialmente pré-fissuradas com carga de 50kN (aproximadamente 70% da carga última estimada) e posteriormente reabilitadas com barra de aço de diferentes diâmetros fixadas com adesivo estrutural de base epóxi em um rasgo feito com uma maquieta no fundo da viga. Vale ressaltar que ao criar o “rasgo” para a colocação do reforço, os estribos foram cortados e acabaram perdendo um pouco de ancoragem.

A terceira etapa dos ensaios ocorreu sete dias após a aplicação do reforço. Verificou-se o surgimento de fissuras, bem como a evolução das já existentes, procedendo dessa forma até à ruptura das vigas. Desse modo, foi possível fazer uma análise do modo de ruptura, verificar a aderência do reforço e a resistência mecânica das mesmas.

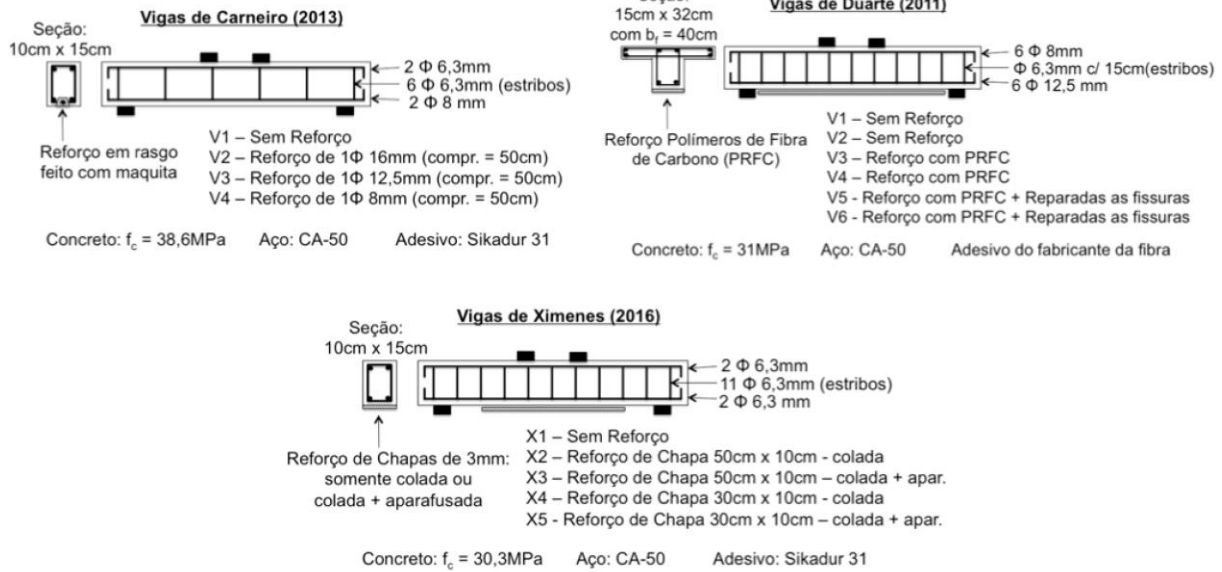
Para a realização do estudo do segundo tipo de reforço, Ximenes (2016) submeteu suas vigas ao “Ensaio de Stuttgart” com a mesma metodologia de pré-fissuração, reforço e ensaio de Carneiro (2013). O reforço de Ximenes (2016) era composto de chapas de aço de 3mm de espessura apenas colado externamente ao fundo das vigas. As dimensões da viga e do trecho bi-apoiado também foram iguais, mas o detalhamento das armaduras das vigas foram diferentes (Figura 1 e Figura 2).

A reabilitação das vigas foi realizada por meio da adição de chapa de aço com diferentes dimensões e espessuras (Figura 1) coladas com adesivo epóxi, e em duas das quatro vigas foram utilizados parafusos para melhorar a ancoragem entre a peça e o reforço. Posteriormente as vigas passaram pelo processo de pré-fissuração. A terceira etapa do ensaio procedeu-se após sete dias.

O ensaio a flexão tanto para as vigas da Carneiro (2013) quanto para as vigas da Ximenes (2016) foram realizados através de uma prensa hidráulica universal, com a utilização de adaptadores padrão existentes com dois apoios flexíveis distantes entre si 62 cm, e um dispositivo para a distribuição da carga em dois pontos simétricos.

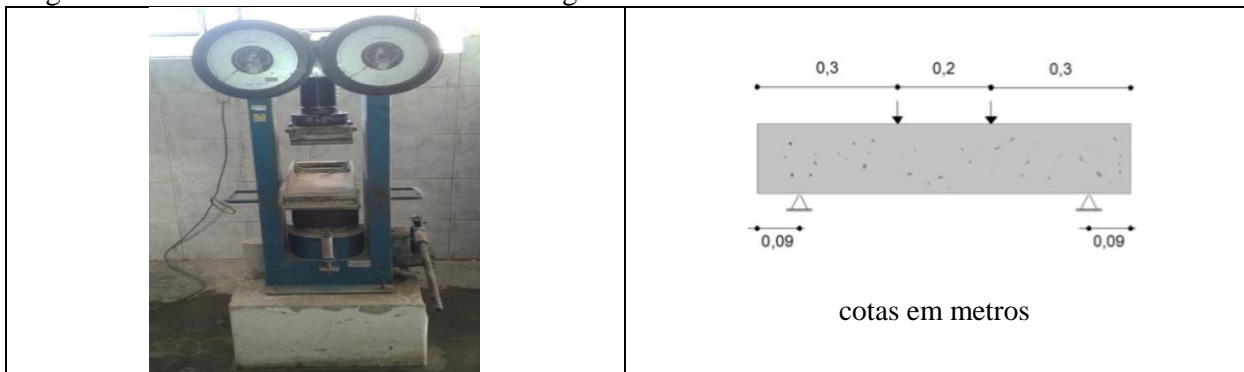
Para o estudo do terceiro tipo de reforço, Duarte (2011) teve como objetivo investigar o comportamento de vigas de concreto armado reforçadas com fibra de carbono. Foi estudado dois métodos de reparação, uma parte das vigas seria apenas reforçada após a pré-fissuração e a outra parte receberia reparos nas fissuras para depois receber o reforço. A reabilitação das vigas foi consistida em lâmina de fibra de carbono colada com o auxílio de adesivo estrutural epóxi. As vigas possuíam 330cm de comprimento e seção transversal em T, detalhamento da mesma apresentado na Figura 1.

Figura 1: Detalhamento das armaduras e dos reforços das vigas.



Fonte: Autor (2016).

Figura 2: Prensa utilizada nos ensaios das vigas.

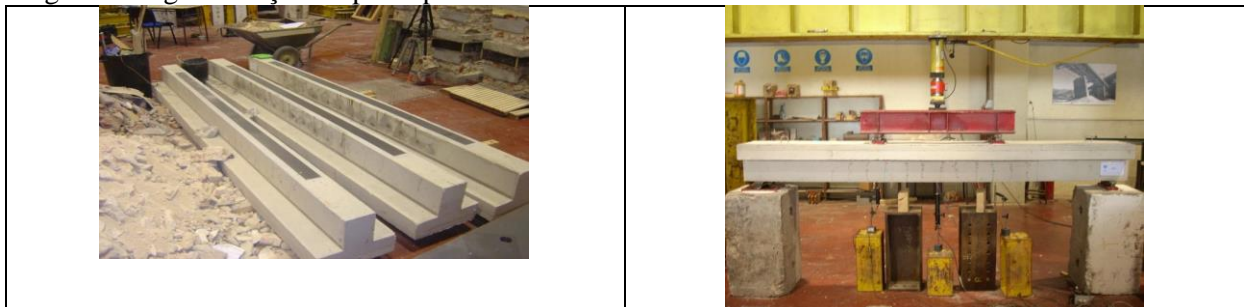


Fonte: Ximenes (2016)

A primeira etapa para aplicação do laminado de fibra de carbono foi realizada após a regularização da superfície de concreto; uma fina camada de adesivo epóxi é aplicada no concreto e também aplicada sobre o laminado. Já para as vigas que receberiam reparo, seria injetada resina epóxida nas fissuras a fim de analisar suas contribuições na resistência mecânica da peça.

As vigas foram ensaiadas à flexão, inicialmente foi aplicada uma carga de 90kN e logo em seguida retirada para que a viga fosse reforçada com o laminado de fibra de carbono. Segue a última etapa do ensaio aplicando um carregamento através de um atuador hidráulico, de forma concêntrica e equidistante dos apoios como ilustrado na Figura 3.

Figura 3: Vigas reforçadas após o pré-fissuramento e ensaiadas



Fonte: Duarte (2011).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na última etapa dos ensaios realizados por Carneiro (2013), as vigas reabilitadas receberam carga até a sua ruptura. Observou-se com os resultados (Tabela 1) que o aparecimento de fissuras na região de flexão pura foi reduzida em escala significativa, verificou-se, portanto, que o reforço foi eficiente protegendo a viga de uma ruptura por flexão e causando pouca deformação na mesma, uma vez que a armadura longitudinal não atingiu seu patamar de escoamento, mantendo-se no regime elástico. As peças reforçadas acabaram rompendo por cisalhamento (tração diagonal) muito provavelmente porque quando os estribos foram cortados para a colocação dos reforços nos rasgos prejudicou as ancoragens dos estribos. Verificou-se também que o aumento do diâmetro das barras de aço utilizadas como reforço não alterou a resistência mecânica da peça nem apresentou variações quanto à aderência reforço-substrato.

O mesmo ocorreu nas vigas ensaiadas por Ximenes (2016), na última etapa do ensaio as peças receberam carga até a sua ruptura e à medida que ia sendo aplicada a carga, o reforço descolava-se da viga. Vale salientar que o reforço se mostrou eficiente visto que todas as vigas se romperam com uma carga superior a viga de referência (X1). Porém, houve diferenças nos resultados quando comparadas as vigas somente coladas em relação às vigas coladas e aparafusadas e também em relação ao comprimento do reforço.

Com relação às vigas coladas e parafusadas, através dos resultados verificou-se que é uma boa forma de ancoragem para esse tipo de reforço, entretanto os parafusos geraram campos de tensões na peça, fazendo com que a mesma tenha se rompido por cisalhamento (compressão diagonal - esmagamento da biela), que é um mecanismo frágil e pouco comum de acontecer (Tabela 1).

Durante a última etapa de ensaio realizada com as vigas de Duarte (2011), as vigas receberam carregamento até sua ruína, que ocorreu quando o laminado descolou do concreto após ser atingida uma carga de aproximadamente 160kN. Vale ressaltar, que os valores de ruína das vigas ficaram acima do esperado assim como a resistência de ligação do laminado ao concreto. As peças reforçadas com Polímero de Fibra de Carbono obtiveram cerca de 49% de aumento em sua resistência em relação a uma viga não reforçada. Sua rigidez aumentou 83% em contra partida sua ductilidade foi reduzida devido ao laminado não possuir patamar de escoamento ao contrário do aço.

Em relação à reparação das fissuras no concreto, vale salientar que essa técnica é capaz de cumprir o papel de restabelecer os níveis de desempenho iniciais da peça. Porém, os reparos não interferem no acréscimo da resistência mecânica, já que os resultados (Tabela 1) foram semelhantes tendo um aumento de apenas 5% em relação às vigas apenas reforçadas. Por outro lado, a rigidez inicial observada nas vigas reparadas foi notoriamente superior a das vigas apenas reforçadas.

Tabela 1: Descrições dos reforços e das ruínas das vigas ensaiadas

Vigas	Reforço	Carga Ruína (kN)	Modo de Ruína
Carneiro (2013): reforço com a adição de barra de aço e adesivo estrutural à base epóxi			
V1	Sem Reforço	138	Flexo-Cisalhamento
V2	1 ϕ 16 mm (comprimento = 50 cm) em rasgo com adesivo	95	Tração Diagonal
V3	1 ϕ 12,5 mm (comprimento = 50 cm) em rasgo com adesivo	90	Tração Diagonal
V4	1 ϕ 8 mm (comprimento = 50 cm) em rasgo com adesivo	95	Tração Diagonal
Ximenes (2016): reforço através da adição de chapa de aço colada com adesivo epóxi e parafusos para auxiliar na ancoragem			
X1	Sem Reforço	111	Flexão
X2	Chapa de 50cm x 10cm (espessura = 3 mm) colada	115	Flexão (*)
X3	Chapa de 50cm x 10cm (espessura = 3 mm) colada e aparafusada	132	Compr. Diagonal
X4	Chapa de 30cm x 10cm (espessura = 3 mm) colada	135	Flexão
X5	Chapa de 30cm x 10cm (espessura = 3 mm) colada e aparafusada	125	Flexo-Cisalhamento
Duarte (2011): reforçada com polímeros de fibra de carbono			
V1	Sem Reforço	125	Flexão
V2	Sem Reforço	111,9	Flexão
V3	Lâmina de fibra de carbono	155,5	Descolamento do Reforço

V4	Lâmina de fibra de carbono	162	Descolamento do Reforço
V5	Lâmina de fibra de carbono e Reparo nas fissuras	170,6	Descolamento do Reforço
V6	Lâmina de fibra de carbono e Reparo nas fissuras	163,5	Descolamento do Reforço

(*) Houve descolamento da chapa de aço antes da ruptura por flexão.

CONCLUSÃO

Através da análise dos resultados, observa-se que as vigas reabilitadas com polímeros de fibra de carbono obtiveram um aumento significativo na sua resistência mecânica em relação às peças que receberam outro tipo de reforço, dos quais, (1) adição de barra de aço e adesivo epóxi e (2) adição de chapa de aço colada com adesivo epóxi e parafusada. Vale ressaltar que esse método de reforço (CFRP) é um sistema simples de ser aplicado quando comparado às técnicas de reparo analisadas na pesquisa.

No reforço (1) analisado pela Carneiro, verificou-se um grande contratempo relacionado à sua aplicação, pois no processo de reparo foi necessário cortar quatro estribos centrais para inserir a barra de aço, tal procedimento ocasionou o enfraquecimento das vigas quanto a ruína por tração diagonal. Já na análise realizada pela Ximenes, conclui-se que a viga X4, que foi reforçada com uma chapa de comprimento menor e apenas colada, se mostrou a mais eficiente quanto à resistência e quanto a aderência, pois suportou uma carga cerca de 22% superior a carga da viga de referência e demais vigas reforçadas.

Em relação à análise feita por Duarte, observa-se que as vigas reparadas e reforçadas obtiveram valores de resistência mecânica bem próximos as vigas que foram apenas reforçadas por outro lado a rigidez inicial das mesmas atingiram valores bem superior. Vale ressaltar que essa técnica de reparo em fissuras é utilizada em grande escala, porém, sendo comparada com a viga somente reforçada não nota-se uma diferença tão relevante na eficácia de ambos os métodos.

REFERÊNCIAS

- ALBUQUERQUE, C. S.; SILVA, R. J. C. Estudo teórico de reforço de vigas de concreto armado. *Essentia, Sobral*, vol. 16, nº1, p. 241-262, jun./nov. 2014.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Projeto de estruturas de concreto - Procedimento NBR 6118, Rio de Janeiro, 2014.
- BEBER, A. J. Comportamento estrutural de vigas de concreto armado reforçadas com compósitos de fibra de carbono. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 317p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- CARNEIRO, D. C. Estudo teórico-experimental do reforço de vigas através da adição de barras de aço e adesivo epóxi. Sobral: UVA, 2013.
- DUARTE, P. C. F. S. Estudo experimental do efeito da reparação de fendas no comportamento de vigas de betão armado reforçadas à flexão com laminados de CFRP. Lisboa: Universidade Técnica de Lisboa, 2011. 159p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil).
- SILVA, E. A. Técnicas de recuperação e reforço de estruturas de concreto armado. São Paulo: Universidade Anhembi Morumbi, 2006.
- XIMENES, M. M. Estudo teórico-experimental de vigas de concreto armado reforçadas com chapas de aço coladas por meio de adesivo epóxi e parafusadas. Sobral: UVA, 2016.