

## ESTUDO COMPARATIVO DO REFORÇO ESTRUTURAL EM AÇO PARA VIGAS DE CONCRETO ARMADO COM A PRESENÇA DE FUROS NÃO PREVISTOS EM PROJETO\*

Luan Matheus Peres<sup>1</sup>

Érika Elis Kuo<sup>1</sup>

Marcelo Costa Choukri<sup>2</sup>

Márcio de Moraes Tavares<sup>3</sup>

Willy Ank de Moraes<sup>4</sup>

### Resumo

Eventualmente torna-se necessário fazer adaptações em estruturas de concreto durante ou após sua execução, de modo a adequar componentes em concreto armado. Essas mudanças não previstas no dimensionamento das estruturas pode comprometer a resistência aos esforços de tais estruturas, invariavelmente necessitando da introdução de um reforço estrutural. As técnicas mais conhecidas e utilizadas para reforços em estruturas de concreto armado são: adição de barras de aço, chapas de aço, fibra de carbono e protensão externa. Adicionalmente, ensaios práticos tornam possível quantificar a eficiência do reforço de um estrutural adotado, inclusive para verificar a eficiência entre a aderência, sob o ponto de vista estrutural, dos materiais empregados. O método de reforço de estruturas de concreto armado por meio de vergalhões adicionais é a técnica mais utilizada atualmente por ser de fácil execução, não precisar de mão de obra especializada e possuir o melhor custo x benefício. Assim sendo, este trabalho avaliou, a eficiência do reforço estrutural em uma viga submetida a furo não previsto em projeto utilizando os métodos de adição de vergalhões e barras de aço na região tracionada da viga. Os resultados obtidos foram comparados com os observáveis em uma barra de concreto, com área de aço normal.

**Palavras-chave:** Concreto Armado; Reforço Estrutural; Ensaios Tecnológicos.

### COMPARATIVE STUDY OF STRUCTURAL STEEL REINFORCEMENT FOR REINFORCED CONCRETE BEAMS WITH THE PRESENCE OF HOLES NOT PROJECTED

#### Abstract

Eventually it becomes necessary to do adaptations in concrete structures during or after their execution, in order to adequate components in reinforced concrete. Such changes, as not provided in the design of that structures, may compromise the load resistance of such structures, invariably necessitating the introduction of a structural reinforcement. The most well-known and used techniques for reinforcements in reinforced concrete structures are: addition of steel bars, steel plates, carbon fiber and external protension. Additionally, practical tests make it possible to quantify the efficiency of an adopted reinforcement choose, including in order to verify the efficiency between the structural adhesion of the materials involved. The method of reinforcing structures by means of additional bars is the technique most commonly used today because it is easy to execute, does not require specialized labor and has the best cost x benefit. Therefore, this work evaluated the efficiency of structural reinforcement of a beam, which was subjected to a hole not predicted in the design, using the methods of adding rebar and steel bars in the traction region of the beam. The results obtained were compared to those observed in a concrete bar with normal steel area.

**Keywords:** Reinforced Concrete; Structural reinforcement; Technological tests.

<sup>1</sup> Graduando em Engenharia Civil, curso de Engenharia Civil da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: luanmatheus02@hotmail.com; erikakuo@hotmail.com

<sup>2</sup> Arquiteto, Engenheiro Civil, Especialista em concreto e Professor da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mchoukri@unaerp.br.

<sup>3</sup> Engenheiro Químico, Mestre em Engenharia Mecânica, Doutorando em Engenharia Química, Professor e Coordenador do Curso de Eng. Civil e da Pós-graduação em Eng. de Segurança do Trabalho da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: mtavares@unaerp.br.

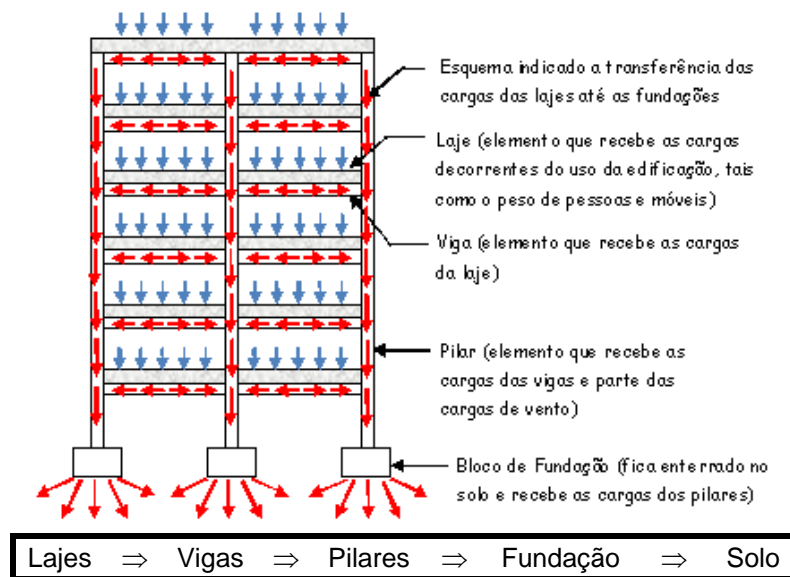
<sup>4</sup> Técnico em Metalurgia, Engenheiro Metalurgista, Mestre em Engenharia de Materiais, Sócio-Diretor da Willy Ank Soluções Metal-Mecânica e Professor da UNAERP, Guarujá, SP, Brasil. E-mail: wmoais@unaerp.br.

## 1 INTRODUÇÃO

O concreto armado é um material composto através de concreto simples e uma armadura colocada em posição e quantidades adequadas, de forma aos dois materiais trabalhem em conjunto aos esforços tanto de compressão (primariamente pelo concreto) e de tração (primariamente pela armadura).

A armadura utilizada no concreto armado é o componente que suprirá a baixa resistência à tração do concreto. O aço é o material de características que melhor preenchem os requisitos necessários para a armadura. Algumas das principais razões para isso são: a elevada resistência à tração do aço, a boa aderência e a proximidade do coeficiente de dilatação entre o aço e o concreto e a não necessidade de empregar uma proteção contra a oxidação para o aço, uma vez que o próprio concreto atua como uma barreira química. Ao serem solicitados por esforços mecânicos, o concreto e a armadura resistirão de forma solidária, evitando patologias indesejadas [1, 2].

As estruturas de concreto armado distinguem-se de acordo com a capacidade resistente apresentada. Essas estruturas são compostas por vigas, lajes e pilares, e dependo da estrutura, por alguma variação dessas. Tais componentes estruturais são interconectados de modo que atuem em conjunto, transmitindo os esforços mecânicos da estrutura de forma adequada para o solo [3]. A Figura 1 ilustra como esta condição ocorre em um sistema estrutural típico.

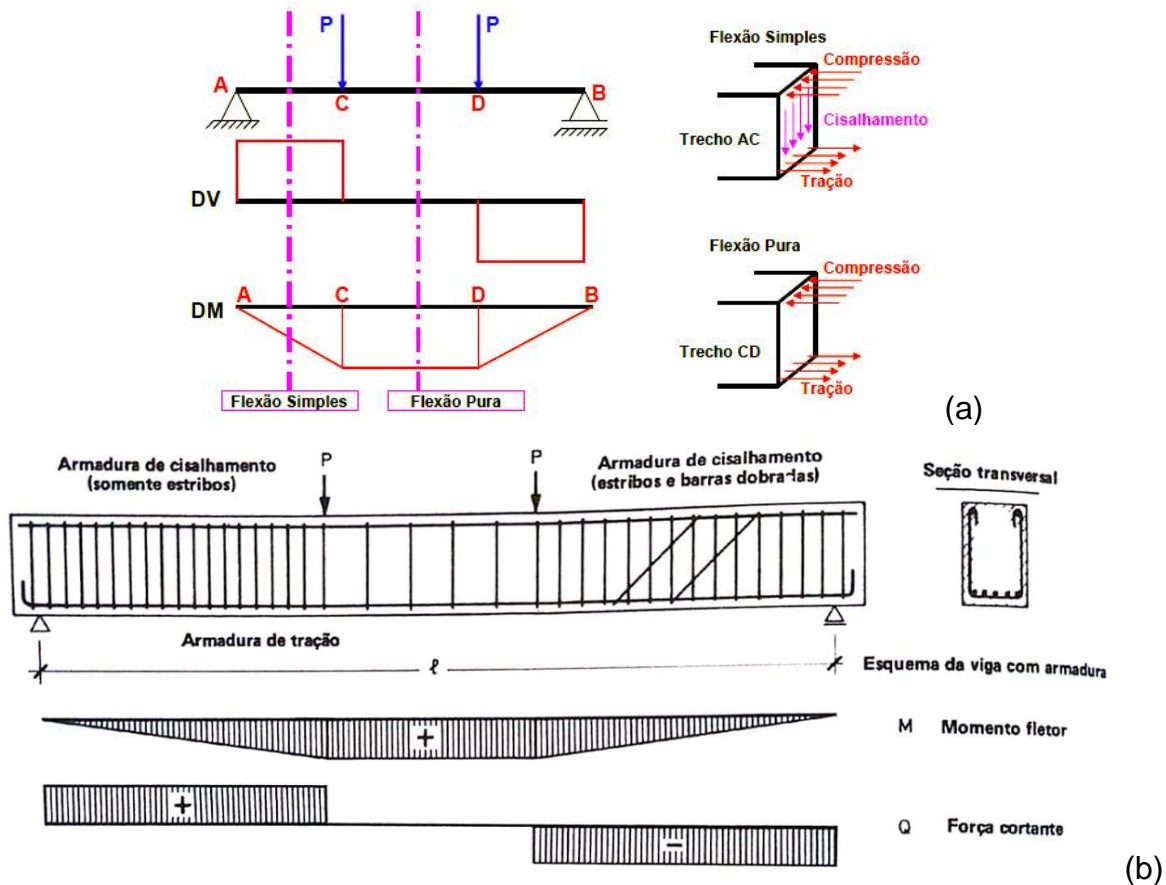


**Figura 1.** Esquema de distribuição dos carregamentos mecânicos em uma estrutura.

Segundo a NBR 6118 [4], vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante. Para isso acontecer, as forças, sejam elas distribuídas ou pontuais, devem estar aplicadas perpendicularmente ao eixo da viga. A Figura 2.a mostra a distribuição de cargas ao longo da seção reta de uma viga bi apoiada, com duas forças pontuais aplicadas simetricamente ao longo do elemento. Já na Figura 2.b está apresentada uma configuração tradicional da armadura de modo a compensar os estados de tensão presentes ao longo da viga (vide Fig. 12.a).

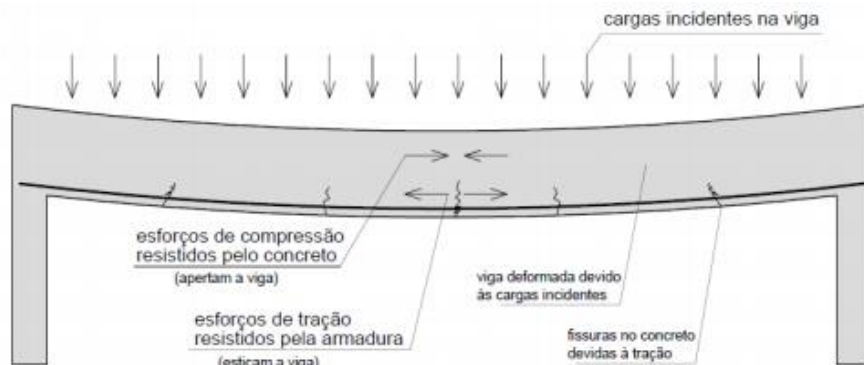
A vida útil estimada de uma estrutura, pode ser drasticamente reduzida ou encerrada com a apresentação de patologias nela. Muitas podem ser as causas destas, desde erros de projeto a erros na execução ou devido a utilização da

estrutura de forma não prevista em sua concepção, gerando assim cargas não previstas em projeto [5].



**Figura 2.** Condições de carregamento mecânico nas seções retas de vigas em flexão simples e pura.

A aplicação de uma carga perpendicular a uma viga gera tensão de compressão na parte superior do elemento e tensão de tração na parte inferior. Em níveis suficientemente elevados, as associações destas tensões resultam na falha do concreto, causando trincas e fissuras na estrutura, na configuração ilustrada na Figura 3. Neste caso, esta condição deve ser corrigida, pois os esforços estão superando a capacidade de carga do concreto armado.



**Figura 3.** Efeitos de cargas excessivas em estruturas de concreto bi apoiadas [5].

Entretanto, durante a execução de um projeto (obra), é prática comum fazer adaptações ou alterações em estruturas já existentes em concreto armado. Com tais mudanças não previstas no dimensionamento das estruturas, sua resistência aos esforços poderá ficar comprometida e assim torna-se indispensável executar um reforço estrutural [5, 6]. A necessidade da intervenção com reforço estrutural pode ser originada por falha no dimensionamento ou execução, danificação ou alteração no uso previsto da estrutura, gerando assim carregamentos ou mudanças no sistema estrutural não previstas [7]. No mercado existem diferentes formas de reforços estruturais em utilização, além dos ainda em estudo e desenvolvimento.

A escolha do reforço irá depender essencialmente do tipo de estrutura a ser reforçada, aos esforços que ela está submetida, a área, espaço e mão de obra disponível para execução do reforço, custo e necessidade de verificação ao longo da vida útil da estrutura após a execução do reforço [6, 8].

Os reforços mais aceitos na construção civil para esforços de flexão, típicos em vigas, são as barras ou os vergalhões de aço. A parte da viga que está submetida a flexão pura (sem cisalhamento), exige um reforço pelo aumento da área em aço da armadura destinada ao esforço de tração no banzo (peça longitudinal principal do componente estrutural) e pela melhoria da resistência à compressão, seja pelo próprio concreto ou pelo ajuste da armadura na zona comprimida. No caso do esforço cortante presente na flexão simples, o mais comum é aumentar a densidade de estribos ou introduzir reforços transversais na viga, formando uma treliça interna com as barras/vergalhões de aço, conforme ilustrado na Fig. 2.b.

O cálculo para o reforço com a técnica de aumento de área de aço se dá pela equação:

$$Md = (Rsd_1 \cdot Z_1) + (Rsd_2 \cdot Z_2) \quad (1)$$

Na qual:

Md - Momento resistente da viga;

Rsd<sub>1</sub> - Resistência da armação existente, expressa pela Equação 2:

$$Rsd_1 = As_1 \cdot f_{yd} \quad (2)$$

Rsd<sub>2</sub> - Resistência da armação do reforço, expressa pela Equação 3:

$$Rsd_2 = As_2 \cdot f_{yd} \quad (3)$$

As<sub>1</sub> - Área da seção da armação existente da parte comprimida da estrutura;

As<sub>2</sub> - Área da seção da armação do reforço da parte comprimida da estrutura;

f<sub>yd</sub> - limite de escoamento do material da armação;

Z<sub>1</sub> - Altura entre o eixo da parte comprimida da estrutura até o eixo da armação existente;

Z<sub>2</sub> - Altura entre o eixo da parte comprimida da estrutura até o eixo da armação do reforço.

Dentro deste contexto, este trabalho tem como objetivo comparar o reforço de estruturas de concreto armado feito através de vergalhões ou por barras de aço adicionais na região tracionada de vigas elaboradas especialmente para este estudo. Com isso, esperou-se ilustrar a eficiência do reforço estrutural para cargas não previstas em projeto.

## 2 DESENVOLVIMENTO

Para este trabalho, foram dimensionadas 2 vigas padrão em concreto armado, idênticas e em conformidade com a NBR 6118 [4]. Estas foram definidas de modo a

suportar, quando apoiadas nas suas extremidades, 4 toneladas de carga aplicada pontualmente na metade de seu vão, no banzo superior. Estas vigas foram então perfuradas, com o intuito de simular perfurações que podem ocorrerem passagem de conduítes ou tubulações, e expostas a uma carga pontual crescente até a sua fissuração, simulando um aumento na carga da estrutura.

Foi então dimensionado um reforço estrutural estas vigas utilizando a técnica para aumento da área de aço na armação do banzo tracionado da estrutura. Como outra forma de reforço estrutural, empregou-se a mesma área de aço definida no cálculo do reforço estrutural da primeira viga, porém efetuada através da adição de uma chapa de aço. O mesmo teste foi repetido e os resultados foram comparados.

## 2.1 Materiais e Métodos

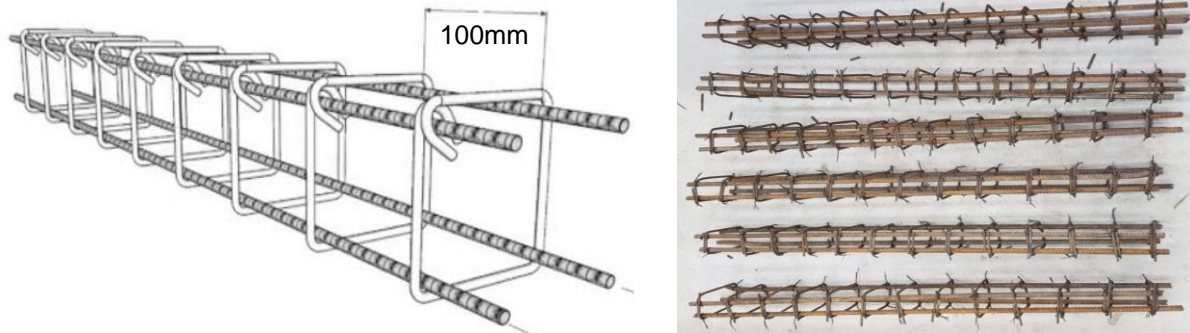
Para a confecção das vigas empregou-se o centro tecnológico da UNAERP-Guarujá. O traço do concreto, utilizado na viga e apresentado na Tabela 1, foi definido para apresentar uma resistência de 25 MPa. Para chegar a sua resistência característica, o concreto passou por um tempo de cura de vinte e oito dias. Durante o tempo de cura das vigas, foram rompidos corpos de prova moldados no dia da execução das mesmas a fim de acompanhar a resistência do concreto. Cada uma das vigas preparadas, conforme o traço da Tab.1, apresentaram as seguintes dimensões:

- Comprimento, L: 1,4 m (1.400 mm);
- Largura, B: 0,15 m (150 mm);
- Altura, h: 0,25 m (250 mm);
- Massa, W: 120 kg (aprox.).

**Tabela 1.** Composição unitária para 1m<sup>3</sup> de concreto empregado neste estudo

Traço do concreto.	
Brita 1	518 kg
Brita 2	518 kg
Areia seca	780 kg
Cimento	340 kg
Água	204 litros
Fator água/cimento	0,6

Realizado todo o memorial de cálculo e dimensionamento da viga [4], deu-se início a montagem da armadura passiva e a fixação dos estribos ao longo do eixo horizontal dos vergalhões de aço. Conforme apresentado na Figura 4, após dobrados, os estribos foram dispostos longitudinalmente, com espaçamento de 100 mm, ao longo de 4 vergalhões com 1.300 mm de comprimento e 12,7 mm de diâmetro (1/2 pol.), sendo amarrados e fixados na posição adequada com arame de aço com 6,3 mm de diâmetro (1/4 pol.).



**Figura 3.** Detalhamento da armadura da viga padrão empregada neste estudo.

As formas utilizadas como gabarito para as vigas foram constituídas em madeira e ao alocar as armações nas formas, foram utilizados os retalhos dos vergalhões cortados como espaçadores entre a forma e a armação, de modo a respeitar um cobrimento de concreto mínimo estabelecido de 4 cm sobre o reforço de aço. O concreto foi adicionado às formas com o auxílio de um bastão metálico, para realizar o adensamento do concreto e evitar espaços vazios durante a concretagem.

Foi executado um furo de 50 mm centrado em cada uma das vigas, ou seja, na metade de seu comprimento e na metade de sua altura. Após a execução dos furos, as vigas foram submetidas a um carregamento por flexão a três pontos, com aplicação de um carregamento pontual através de uma prensa hidráulica até a formação de fissuras.

As vigas foram reforçadas conforme a Equação 1, considerando:

- Parte tracionada da viga: após a execução do furo e aplicação da carga na estrutura, a área comprimida de concreto foi modificada, onde, neste caso, resultou em 80 mm, distância dada a partir de 20 mm acima do furo até a face superior da peça.
- Distância entre a face inferior da viga e o eixo da armação de reforço: foi adotado para esta distância 20 mm, para evitar o grande aumento da seção da peça e conseqüentemente o peso próprio do reforço.
- Distância entre o eixo da armação de reforço e a face inferior do reforço a ser executado: foi adotado para esta distância 20 mm, vendo que o cobrimento não tem relação direta com os esforços e resistências na peça. Em situações de reforço estrutural não sendo ensaios, é recomendado o uso do cobrimento exigido pela norma vigente.

Seguindo com a resolução da Equação 1, primeiramente pelo cálculo do Momento resistente da viga, considerando a carga aplicada na viga de 6.000 kgf (6 ton.) que iniciou as trincas é possível determinar o momento atuante como:

$$M_d = M_k \cdot 1,4 \quad (3)$$

$$M_d = 6000 \text{ kgf} \cdot 25 \text{ cm} \cdot 1,4$$

$$M_d = 588,36 \text{ N} \cdot 250 \text{ mm} \cdot 1,4$$

$$M_d = 20.592.600 \text{ N}\cdot\text{mm}$$

Agora considerando a resistência do vergalhão em  $f_{yd} = 500 \text{ MPa}$  (ou  $500 \text{ N/mm}^2$ ), associada a um fator de segurança de 1,15 a NBR 6118 [4]; uma área equivalente a dois vergalhões de 12,7 mm de diâmetro ( $A_{s1} = 253,35 \text{ mm}^2$ ) e as dimensões  $Z_1$  e  $Z_2$  conforme apresentadas pela Figura 4, obtêm-se uma área de reforço ( $A_{s2}$ , Equação 1) igual à:

$$M_d = (R_{sd1} \cdot Z_1) + (R_{sd2} \cdot Z_2)$$

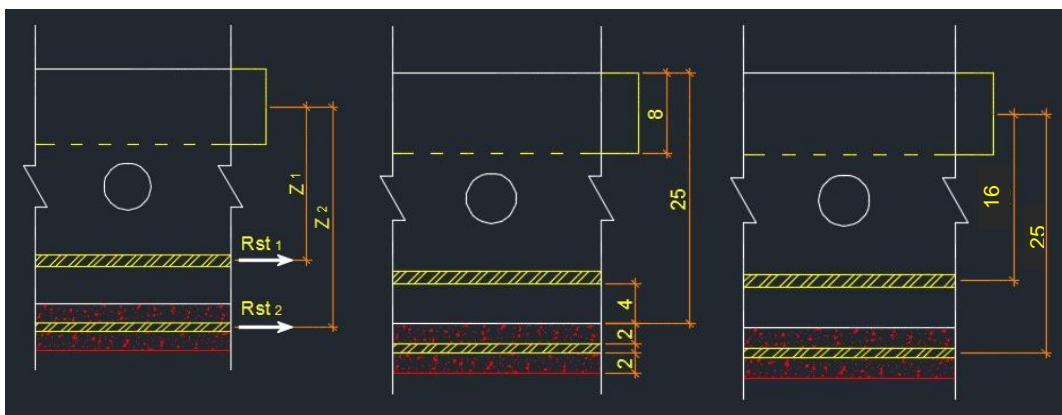
$$20.592.600 \text{ N} \cdot \text{mm} = \left( 253 \text{ mm}^2 \cdot \frac{500 \text{ N}}{1,15 \text{ mm}^2} \cdot 160 \text{ mm} \right) + (A_{s2} \text{ mm}^2 \cdot \frac{500 \text{ N}}{1,15 \text{ mm}^2} \cdot 250 \text{ mm})$$

$$A_{s2} = 27,3 \text{ mm}^2$$

Considerando a área de reforço necessária ( $A_{s2} = 27,3 \text{ mm}^2$ ), pode-se realizar este reforço adotando:

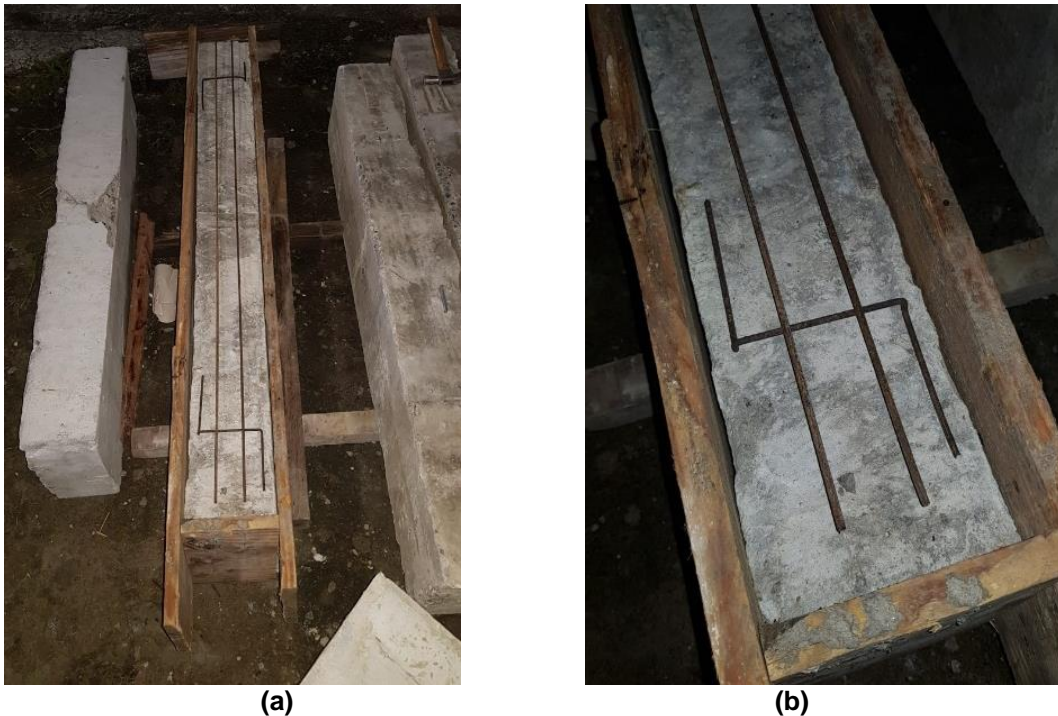
- a utilização de 2 barras de diâmetro 4,2 mm, correspondentes a 27,7  $\text{mm}^2$ ;
- uma barra com seção de 12 x 3 mm, correspondente a 36  $\text{mm}^2$ .

No caso a seção da barra foi maior ( $36 \text{ mm}^2$ ) foi maior do que o necessário, pois a espessura de 3 mm é a espessura comercial de chapa de aço estrutural mais próxima ao necessário para esta aplicação (chapas de 2 mm de espessura forneceriam uma área de 24  $\text{mm}^2$ , menor do que o necessário).



**Figura 4.** Esquema da seção reta das vigas avaliadas neste trabalho para o dimensionamento do reforço estrutural com vergalhões de aço (as dimensões mostradas estão em cm).

Para executar o reforço com os dois vergalhões de aço com 4,2 mm de diâmetro, primeiramente foi feita uma forma para o reforço em torno da viga. Após o travamento da forma, a armadura de reforço foi posicionada respeitando um espaçamento normativo [4, 5] de 2 cm até a borda inferior da viga, pelo uso de espaçadores dobrados *in loco*.



**Figura 5.** Armadura de reforço com vergalhões de aço: (a) visão geral e (b) detalhe do espaçador.

Para o enchimento do reforço da viga reforçada com vergalhões de aço foi utilizado a argamassa fluída *grout* por questões de praticidade e melhor aderência com o concreto existente. É possível utilizar concreto comum desde de que a superfície do concreto já executado seja devidamente escareada e limpa.

O traço foi realizado conforme orientações do fabricante, um saco de *grout* para 2,2 litros de água. Segundo o fabricante, a resistência do *grout* é de 25 MPa após 24 horas, 35 MPa após 72 horas e 50 MPa 28 dias. Portanto, apresentando uma resistência adequada à presente aplicação. A argamassa foi adensada até atingir uma homogeneidade, sendo imediatamente disposta na forma a um nível desejado de 2 cm acima dos vergalhões de reforço. O resultado final está ilustrado na Figura 6.



**Figura 6.** Resultado final do reforço estrutural da viga com vergalhões de aço.

Para o reforço com chapa de aço (12 x 3 mm), foram executados furos na viga para fixação de chumbadores do tipo *parabolt*. Em seguida, foram dobradas duas barras chatas com 400 mm de comprimento em formato tipo “U”, com abas de 125 mm e executados furos, em furadeira de bancada, em posições adequadas para a inserção de parafusos para fazerem a fixação nos chumbadores do tipo *parabolt*. A



barra de aço foi posicionada ao longo do eixo da viga, no banzo tracionado por meio do aparafusamento das barras “U” preparadas, conforme apresentado na Figura 7.



**Figura 7.** Resultado final do reforço estrutural da viga através de uma barra de aço.

## 2.2 Resultados e Discussão

Para a execução das vigas foi utilizado um traço de 25 MPa, e foi inferida, através do rompimento de corpos de prova cilíndricos deste concreto, uma resistência de 23,2 MPa. Desta forma, a resistência aferida corresponde a 92% da resistência desejada, o que, levando em consideração as condições de execução e exposição da viga, como chuva, pode-se considerar aceitável tal nível de resistência.

Durante a introdução dos furos de 50mm nas vigas, foram atingidas partes de aço dos estribos, como mostra a Figura 8. Não é aconselhável que um furo atinja a armadura de aço de uma estrutura, pois isso ocasiona uma perda da área de reforço em aço do concreto armado do componente [3, 4, 6].



**Figura 8.** Testemunhos cilíndricos dos furos executados nas vigas estudadas mostrando partes cortadas do aço dos estribos.

As vigas que foram submetidas ao ensaio de carregamento na prensa, antes da execução do reforço estrutural, começaram a apresentar fissuras ao se atingir 6

toneladas de carregamento pontual pela prensa hidráulica. A viga foi projetada para resistir a uma carga de 4 ton., porém a fissuração da viga apenas ocorreu apenas sob a aplicação de 6 ton. de carga devido ao uso de coeficientes de minoração aplicado sobre os valores característicos das resistências que apresentam os materiais, conforme prevê a NBR 6118 [4]. Foi por esta razão que tal carga (6.000 kgf) foi empregada como referência para determinar a área de reforço ( $A_{s2}$ ) necessária na viga, conforme os cálculos efetuados pela Equação 1 [4]. É possível observar na Figura 9 a fissura apresentada abaixo do furo de uma viga sem reforço estrutural.



**Figura 8.** Fissura apresentada após submeter uma das vigas perfuradas (50 mm de diâmetro de furo), sem reforço estrutural, a um carregamento de flexão a três pontos de 6.000 kgf.

Por se tratar de uma fissura em  $90^\circ$  em relação à face inferior da viga, esta foi ocasionada pelo esforço de tração na parte inferior da viga. O motivo desta fissura ocorrer, se dá principalmente ao furo, que dividiu a viga em duas partes: abaixo do furo e acima do furo.

A viga reforçada com vergalhões de aço foi carregada gradativamente e teve o seu comportamento observado ao longo de todo o carregamento. As vigas foram dimensionadas para resistirem a uma carga de 6 toneladas, carregamento este que gerou fissuras nas vigas não reforçadas. Porém, a viga reforçada só apresentou fissuras com a aplicação de uma carga de 9 toneladas, estas extremamente menores às encontradas no carregamento da viga sem o reforço, como mostra a Figura 9 e que pode ser comparada à Fig. 8. O carregamento da viga foi então aumentado para 10 toneladas e a fissura apresentada pela viga anteriormente ao reforço ficou novamente visível, porém, em abertura menor.



**Figura 8.** Pequena fissura apresentada na viga reforçada com vergalhões de aço, após um carregamento de 9.000 kgf.

Da mesma forma como na viga reforçada com vergalhões de aço, a viga reforçada com a barra de aço (vide Fig. 7) foi carregada gradativamente até o aparecimento de fissuras. As fissuras provenientes do carregamento pós-reforço surgiram apenas a partir de 8 toneladas de carga a 90° e a 45° da superfície inferior da viga, conforme ilustrado na foto da Figura 9.



**Figura 8.** Fissuras apresentadas na viga reforçada com uma barra de aço, após um carregamento de 8.000 kgf.

A viga reforçada com vergalhões de aço atendeu às expectativas de forma excepcional, superando a capacidade à que foi dimensionada. Não foi possível verificar o carregamento de ruptura da viga por limitações da prensa utilizada. Da mesma forma, a viga reforçada com a chapa de aço, apesar de não ter sido dimensionada pela técnica de chapas de aço, e sim, por uma técnica de comparação entre áreas de aço, atendeu as expectativas de forma satisfatória,

superando as 6 toneladas que era esperado suportar. Notou-se, porém, que com o aumento da carga, novas fissuras ocorreram nesta viga.

Com a utilização da argamassa *grout* e vergalhões, criou-se uma aderência viga-reforço que fez com que trabalhassem de forma conjunta aos esforços solicitados. Por outro lado, quando é utilizada uma chapa de aço para o reforço, não ocorre essa união entre os dois materiais, e por esse motivo, é limitada a associação dos dois materiais no combate aos esforços, prejudicando assim a capacidade de carga total da viga.

Porém, durante a execução do reforço, é possível verificar que ele pode se tornar menos indicado devido a uma série de fatores de execução e, dependendo da forma da estrutura, pode-se tornar inviável pela falta de acesso a áreas para reforçar estruturas já existentes. No experimento, o banzo tracionado da viga foi colocado para cima a fim de facilitar a execução do reforço, e esse artifício não é possível em uma situação em obra, apensar de existirem métodos que podem ser utilizados para enchimento em situações de difícil acesso.

Outro ponto a ser analisado antes de optar por este tipo de reforço é que essencialmente existirá um aumento da altura da viga, e em alguns casos de sua largura, que também pode inviabilizar sua execução. Essa inviabilidade pode se dar pois dois motivos, arquitetônico e estrutural.

- Numa visão arquitetônica, um aumento na seção da viga pode não ser interessante e com isso seja mais indicado optar por outro tipo de reforço, como o com fibra de carbono, que, embora tenha um custo mais elevado em comparação com o do estudo, o aumento da seção das peças é mínimo.
- O fator estrutural ocorre caso a carga que a estrutura está sendo reforçada seja muito elevada, assim sendo, seria necessária uma área de aço maior, e não existir espaço físico para acomodar um reforço dessa magnitude.

Pode ocorrer também a não existência de espaço físico algum para reforço da estrutura, e sendo assim, o engenheiro deve procurar outros métodos para direcionar essa sobrecarga que está ocorrendo, sendo uma das alternativas, mudar a forma de distribuição das cargas.

### 3 CONCLUSÕES

Conforme apresentado, as duas vigas reforçadas atenderam às expectativas do dimensionamento, uma vez que era esperado que ambas resistissem a uma carga de 6 toneladas, provando assim a eficiência da utilização do reforço estrutural em situações para corrigir sobrecargas em estruturas não previstas inicialmente.

O método de reforço de estruturas de concreto armado por meio de vergalhões adicionais é a técnica mais utilizada atualmente por ser de fácil execução, não precisar de mão de obra especializada e possuir a melhor relação custo-benefício. Porém, esta técnica requer o aumento da seção da viga e a possibilidade de se fazer a moldagem da parte cimentícia do reforço, motivo pelo qual pode se optar por outras técnicas disponíveis no mercado.

Nota-se que a existência de aderência entre materiais pode levar a uma capacidade de carga muito maior da estrutura, e, desta forma, é um assunto que requer atenção tanto na parte de projeto, quanto na parte da execução. Neste caso, é necessário garantir a existência desta aderência, seja ela através da limpeza das superfícies, escariamentos manuais ou mecânicos ou mesmo adição de resinas entre os materiais.

Em suma, a escolha do tipo de reforço a ser utilizado em uma estrutura varia de caso a caso e deve ser analisada individualmente, considerando todas as variáveis.

## REFERÊNCIAS

- 1 SANTOS, L. M. Cálculo de Concreto Armado, v.I, São Paulo, Ed. LMS, 1983.
- 2 BOTELHO, M. H. C. Concreto Armado Eu Te Amo. São Paulo: Blucher, 2011.
- 3 LEONHARDT, F.; MONNING, E. Construções de concreto: Princípios Básicos do Dimensionamento de Estruturas de Concreto Armado. Rio de Janeiro: Interciência, 2008.
- 4 ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 6118:2014. Projeto de estruturas de concreto — Procedimento. Rio de Janeiro: ABNT, Confirmada em 30.11.2018.
- 5 MACHADO, A. P.; MACHADO, B. A. Reforço de estruturas de concreto armado com sistemas compostos FRP. São Paulo: Pini, 2015.
- 6 MANSUR, M. A.; TAN, K.-h. Concrete beams with openings: Analysis and design. Nova York (USA): CRC Press, 1999.
- 7 ALMEIDA, T. G. M. Reforço em vigas de concreto armado por meio de cabos externos protendidos. 2001. [Acesso em 28 mar. 2019]; disponível em [http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME\\_TatianaGesteiraMartinsdeAlmeida.pdf](http://web.set.eesc.usp.br/static/data/producao/2001ME_TatianaGesteiraMartinsdeAlmeida.pdf).
- 8 PRETO, P. B. Guidelines for External Prestressing as Strengthening Technique for Concrete Structures. Técnico Lisboa. Lisboa. 2014.