

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA EFICIÊNCIA DA ARMADURA DE REFORÇO PROPOSTO PELA NBR 6118:2014 EM VIGAS COM ABERTURAS

EMANOEL CUNHA ARAUJO^{1*}, RENNAN LIBERATO RODRIGUES², MATHEUS MORORÓ XIMENES³,
RICARDO JOSÉ CARVALHO SILVA⁴.

¹Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, emanoel.cunha@hotmail.com;

²Graduando em Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, rennanliberato@outlook.com;

³Engenheiro Civil, UVA, Sobral-CE, m-m-x_@hotmail.com;

⁴Professor Doutor, Curso de Engenharia Civil, UVA, Sobral-CE, ricardo.carvalho222@gmail.com.

Apresentado no
Congresso Técnico Científico da Engenharia e da Agronomia – CONTECC'2017
8 a 11 de agosto de 2017 – Belém-PA, Brasil.

RESUMO: A prática da abertura em vigas de concreto armado para passagem de tubulações é comumente executada sem um projeto de compatibilidade entre estruturas e tubulações (água, esgoto, elétrico, etc). A NBR 6118:2014 propõe uma armadura adicional disposta na região das aberturas em vigas de concreto armado. Visto a constante presença de furos em vigas nas obras da cidade de Sobral-CE, o objetivo deste trabalho buscou analisar a eficiência da armadura proposta pela NBR 6118:2014 para vigas com furos. Para tal, através do Ensaio de Stuttgart foram ensaiadas cinco vigas de concreto armado no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA, sendo: uma sem furos, usada como referência, uma com dois furos e sem reforço, uma com quatro furos sem reforço, uma com dois furos e com presença de reforço e uma com quatro furos e com presença de reforço. Observou-se através dos resultados que a armadura proposta é eficiente, a presença do reforço para vigas com dois furos foi 78% mais eficaz quando comparada ao reforço da viga de quatro furos. Portanto, o acréscimo da quantidade de furos produz uma queda na eficiência da armadura de reforço.

PALAVRAS-CHAVE: concreto armado, furos, reforço.

ABSTRACT: The practice of opening in reinforced concrete beams for passage of pipes is commonly performed without a design of compatibility between structures and pipes (water, sewage, electric, etc.). The NBR 6118: 2014 proposes additional reinforcement disposed in the region of the openings in reinforced concrete beams. Considering the constant presence of holes in beams in the city of Sobral-CE, the objective of this work was to analyze the efficiency of the reinforcement proposed by NBR 6118: 2014 for beams with holes. To do this, five reinforced concrete beams were tested on structures and materials laboratory of the State University Vale do Acaraú-UVA, it was: one without holes, used as reference, one with two holes and without reinforcement, one with four holes without reinforcement, one with two holes and with presence of reinforcement and one with four holes and with presence of reinforcement. It has been observed through the results that the proposed reinforcement is efficient, the presence of the reinforcement for beams with two holes was 78% more effective when compared to the reinforcement of the four-hole beam. Therefore, the increase in the number of holes produces a decrease in the efficiency of the reinforcement reinforcement.

KEYWORDS: reinforced concrete, holes, reinforcement.

INTRODUÇÃO

A presença de aberturas em vigas de concreto armado é utilizada comumente para a passagem de dutos de variados tipos, por exemplo: hidráulicos, esgoto, elétricos, ar-condicionado, internet. As

causas necessárias para tal prática se dão pela economia em projetos de compatibilização, redução no uso de forros falsos, uma vez que há uma redução considerável na altura de edificação e no peso total da estrutura. Contudo, uma análise dos efeitos das aberturas deve ser considerado no dimensionamento e/ou caso necessário o reforço dessas regiões.

A NBR 6118:2014 afirma que as estruturas de concreto devem ser projetadas e construídas de modo que, sob as condições ambientais previstas na época do projeto e quando utilizadas conforme preconizado em projeto, conservem sua segurança, estabilidade e aptidão em serviço durante o prazo correspondente à sua vida útil, ou seja, para que a utilização de furos em vigas de concreto armado seja realizada de forma segura, os efeitos da mesma devem ser analisados na etapa de concepção do projeto, gerando uma compatibilização do projeto estrutural e dos projetos secundários.

Para Simão (2014), a análise de elementos estruturais na engenharia baseia-se nos modelos de flexão simples, sobretudo quando esses elementos são considerados contínuos e isotrópicos. Para tal, uma das análises consideradas para o dimensionamento é a Hipótese de Bernoulli das seções planas. A hipótese das seções planas considera que a peça estrutural possui deformação linear por todo seu comprimento, são chamadas regiões contínuas ou regiões B. Contudo, sabe-se que o concreto não é um material uniforme a nível microestrutural. Conforme a NBR 6118:2014 afirma, as análises locais complementares devem ser efetuadas nos casos em que a hipótese da seção plana não se aplica.

A referida norma define como regiões especiais as regiões dos elementos estruturais em que, na análise de seu comportamento estrutural, não seja aplicável a hipótese das seções planas (Hipótese de Bernoulli), são elas regiões de introdução de cargas concentradas, de furos e aberturas em lajes, vigas-parede, regiões de variação na altura de vigas e de nós de pórticos. Para o dimensionamento de regiões com presença de descontinuidades, chamadas regiões D, é adotado comumente o Modelo de Bielas e Tirantes ou *strut and tie model*.

A NBR 6118:2014 afirma que é permitida a análise da segurança no estado-limite último de um elemento estrutural, ou de uma região D contida neste elemento, através de uma treliça idealizada, composta por bielas, tirantes e nós (figura 1). As bielas representam áreas comprimidas, os tirantes são áreas sujeitas à tração e os nós são pontos que interligam bielas e os tirantes, ou seja, o volume de concreto que envolve os pontos de interseção.

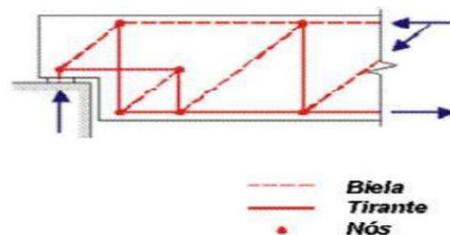


Figura 1: Elementos básicos do Modelo de Bielas e Tirantes. Fonte: Santos (2006).

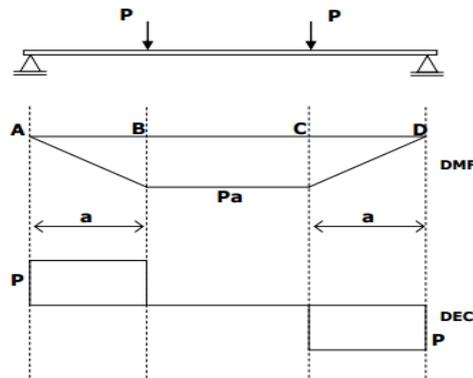
A NBR 6118:2014 propõe que projetos que exijam a presença de aberturas devem ser calculadas e detalhadas considerando as perturbações das tensões que se concentram em torno dessas aberturas, prevendo, além das armaduras para resistir as forças de tração, também armaduras complementares dispostas no contorno e nos cantos das aberturas. Objetivo principal desse trabalho foi analisar a armadura de reforço para regiões com furos, proposto pela NBR 6118:2014. O estudo foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA. Para tal, foram moldadas cinco vigas de concreto armado, uma sem abertura e as demais com aberturas com e sem a presença de armadura de reforço na região dos furos. Os ensaios foram realizados através do Ensaio de Stuttgart em uma prensa hidráulica.

MATERIAIS E MÉTODOS

O experimento foi realizado no Laboratório de Materiais e Estruturas da Universidade Estadual Vale do Acaraú – UVA a partir do “Ensaio de Stuttgart”, onde em uma viga biapoiada de seção retangular, aplicam-se duas cargas gradativas, equidistantes e de mesma intensidade até que seja atingindo o ponto de ruptura. Observa-se através do comportamento da peça estrutural durante a realização do ensaio dois tipos distintos de flexão, são elas: flexão pura e flexão simples. Conforme

Figura 2, entre os pontos BC há a atuação somente do momento fletor (flexão pura) e entre os pontos AB e CD há a atuação simultânea do momento fletor e de esforços cortantes (flexão simples). Por meio do Ensaio de Stuttgart sucedido na prensa hidráulica do referido laboratório, foi possível analisar os caminhos de tensão gerados pela aplicação das cargas e o modo de ruptura, permitindo desta maneira, a análise das discontinuidades causadas pelas aberturas nas vigas ensaiadas.

Figura 2. Idealização estrutural. Diagramas de Momento Fletor e Esforço Cortante. Fonte: Rocha et al. (2004).



Para tal, foram moldadas 05 vigas de concreto armado com resistência característica de 30 MPa, aço CA-50 com duas bitolas distintas (tabela 01) e aberturas de 50 mm. As peças possuíam mesmas dimensões: 80cm de comprimento, 25cm de altura e 10 de largura. A diferenciação das vigas deu-se em relação a aberturas e a presença ou não do reforço na região dos furos. As peças foram nomeadas de M1, M2, M3, M4 e M5. A viga M1 foi utilizada como referência, sem a presença de furos. A viga M2 apresenta duas aberturas e nenhum tipo de reforço. A viga M3 apresenta quatro aberturas e nenhum tipo de reforço. A viga M4 apresenta duas aberturas com presença da armadura de reforço e a viga M5 apresenta quatro aberturas com a presença de armadura de reforço na região dos furos. O detalhamento das vigas é apresentado na figura 3.

Figura 3. Detalhamentos das vigas analisadas. Fonte: Autor (2017).

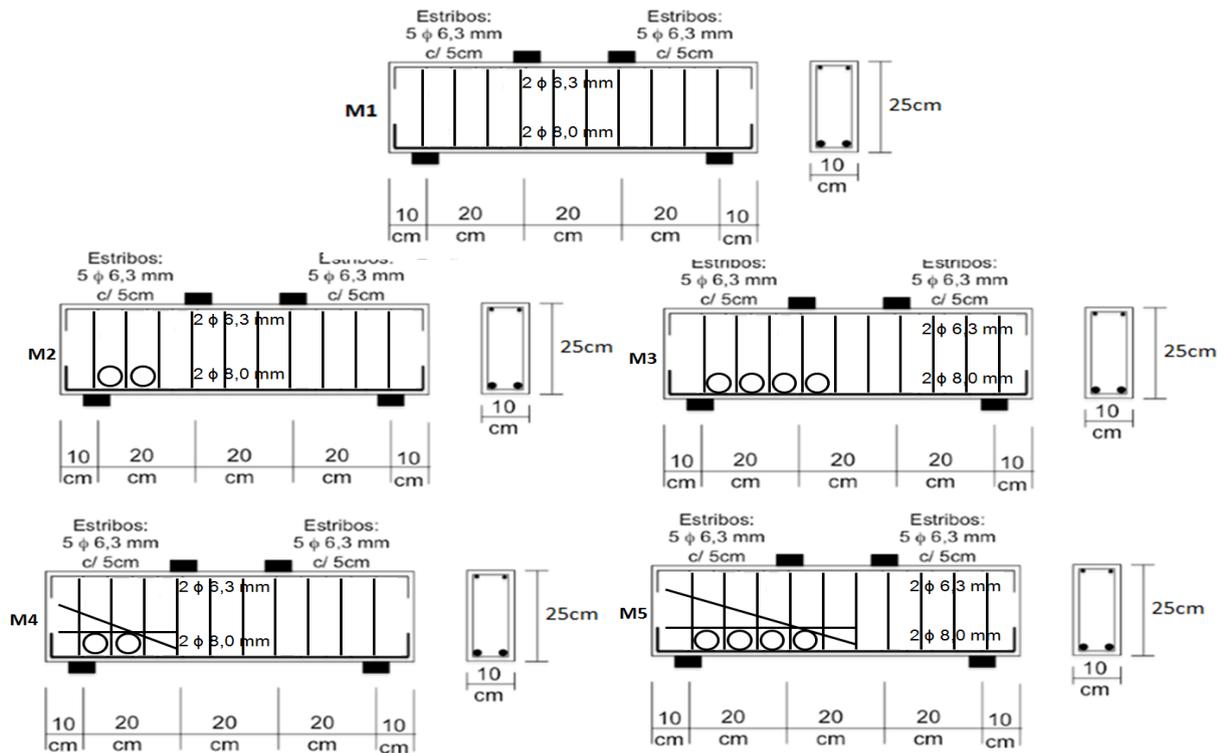


Tabela 1. Características do aço utilizado. Fonte: GERDAU (2017).

Diâmetro Nominal (DN) (mm)	Massa Nominal (kg/m)	Tolerância Massa Linear (%)	Resistência Característica de Escoamento (fy) (MPa)	Limite de Resistência (MPa)	Alongamento 100Ø
6,3	0,245	± 7	500	540	8%
8	0,395	± 7	500	540	8%

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após a realização da análise experimental, observou-se como esperado, que as regiões dos furos causaram descontinuidades nas vigas, gerando uma quantidade significativa de fissuras na região. Apresentam-se na figura 4 os caminhos de fissuras após a ruptura e na tabela 2 os resultados das cargas e modos de ruptura, respectivamente. Observa-se através da tabela 2 que somente a viga M2 rompeu com uma carga menor que a viga de referência M1. A viga M2 (dois furos e sem reforço) rompeu com uma carga menor 51,85% em comparação a viga M4 (dois furos e com reforço). A viga M3 (quatro furos e sem reforço) atingiu a ruptura com uma carga 11,54% menor quando comparada a viga M5 (quatro furos e com reforço). Pode-se comprovar também que ambas as vigas reforçadas romperam com carga maior que a viga de referência: a viga M4 (dois furos e com reforço) atingiu a ruptura com uma carga 37,04% maior que a viga de referência, enquanto que a viga M5 (quatro furos e com reforço) rompeu com uma carga 34,62% maior que a viga de referência. Através do gráfico 1, pode-se observar que as vigas com maior ductilidade foram as vigas reforçadas (M4 e M5).

Figura 04. Vigas após a ruptura. Fonte: Autor (2017)

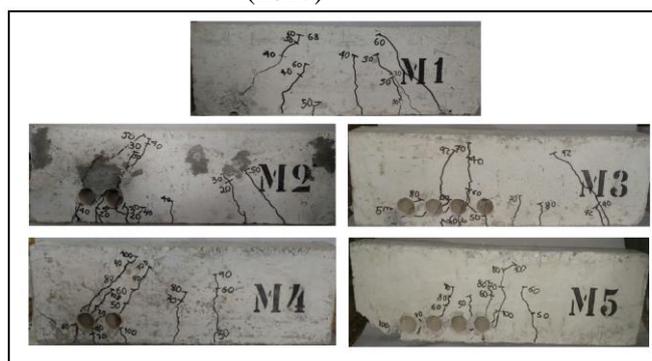


Gráfico 1. Carga x deformação. Fonte: Autor (2017)

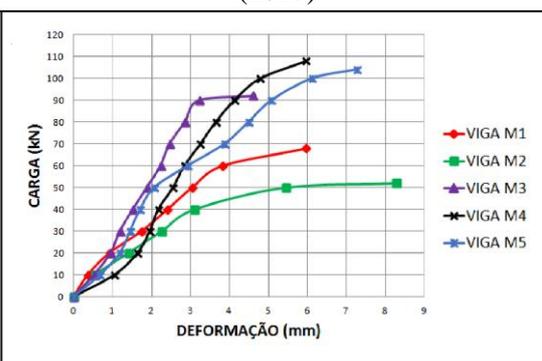


Tabela 2. Resultados do ensaio experimental. Fonte: Autor (2017).

VIGA	REFORÇO	QUANTIDADE DE FUROS	CARGA DE RUPTURA (kN)	MODO DE RUPTURA
M1	SEM REFORÇO	SEM FUROS	68	CISALHAMENTO TRAÇÃO DIAGONAL
M2	SEM REFORÇO	DOIS FUROS	52	TRAÇÃO DIAGONAL*
M3	SEM REFORÇO	QUATRO FUROS	92	FLEXÃO COM INFLUÊNCIA DO CISALHAMENTO
M4	COM REFORÇO	DOIS FUROS	108	CISALHAMENTO TRAÇÃO DIAGONAL
M5	COM REFORÇO	QUATRO FUROS	104	FLEXÃO**

*VERIFICOU-SE COMPRESSÃO NA REGIÃO DAS ABERTURAS
 **A PRESENÇA DOS QUATRO FUROS COMPORTOU-SE COMO UMA ÚNICA ABERTURA

Os resultados da carga de ruptura apontam que a armadura proposta pela NBR 6118:2014 é eficiente, a presença do reforço para vigas com dois furos foi 78% mais eficaz quando comparada ao reforço da viga de quatro furos.

CONCLUSÕES

O reforço apresentado no trabalho mostrou-se de fácil aplicação, uma vez que necessita apenas de um projeto de compatibilização entre o projeto estrutural e projetos secundários (elétrico, hidráulico, esgoto, etc) e se mostrou eficiente em todos os casos, tanto em relação as vigas sem reforço (M2 e M3) quanto a viga de referência (M1). Em uma análise comparativa entre o uso ou não das

armaduras de reforços, pode-se concluir que a viga M2 (dois furos e sem reforço) rompeu com uma carga de 51,85% menor em relação a viga M4 (dois furos e com armadura de reforço). Já para as vigas com quatro furos, nota-se que a viga M3 (quatro furos e sem reforço) rompeu com uma carga de 11,54% menor que a viga M5 (quatro furos e com armadura de reforço). Portanto pode-se concluir que com o acréscimo da quantidade de furos nas vigas, mesmo com a presença do reforço, há um decréscimo na resistência das peças estruturas devido as aberturas causarem descontinuidades na estrutura.

AGRADECIMENTOS

Os autores do trabalho agradecem à Universidade Estadual Vale do Acaraú-UVA por todo apoio no desenvolvimento desta pesquisa. Ao professor Ricardo Jose Carvalho Silva pela orientação das pesquisas realizadas pelo GEM.

REFERÊNCIAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT). NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto – Procedimento. ABNT: Rio de Janeiro, 2014.
- GERDAU S.A. Aço para construção civil. 2016. Disponível em: <https://www.gerdau.com/br/pt/productsservices/products/Document%20Gallery/catalogo-construcao-civil.pdf>. Acesso em: 24 de abril de 2017.
- Rocha, A. C.; Oliveira, das. M. G. D.; Resende, P. S. O.; Chaer, A.V. Ensaios de Stuttgart – Reprodução em Laboratório. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 46, 2004, Florianópolis. Anais...Florianópolis, 2004.
- Santos, D. Giongo, J. S. Análise de vigas de concreto armado utilizando modelos de bielas e tirantes. Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 10, n. 46, p. 61-50, 2008.
- Simão, D. W. da G. Análise e dimensionamento de vigas de concreto armado com aberturas na alma. Caruaru: UFPE, 2014. 99f. Dissertação (Mestrado na área de Estruturas e Materiais).