

ANÁLISE EXPERIMENTAL DE VIGAS EM CONCRETO ARMADO COM FURO NA ALMA PRÓXIMO AO APOIO UTILIZANDO ARMADURA DE REFORÇO.

Lucas Campos (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)lucascampos01@gmail.com, (2)avargas@unescc.net

RESUMO

Na construção civil os furos e aberturas em vigas de concreto armado são muito utilizados, resultado muitas vezes da falta de compatibilização dos projetos complementares. O presente trabalho apresenta uma análise experimental de vigas em concreto armado com furo próximo ao apoio. Para isso foram moldadas três vigas de alma cheia como referência e seis vigas com furo na região de apoio, sendo que dessas seis, três receberam uma armadura de reforço. O modelo de ensaio foi de uma viga bi-apoiada, com uma única força concentrada, aplicada de forma lenta e crescente até a ruptura a uma distância de 2,5h (altura da viga) do apoio conforme norma europeia EN:1168 (2005). Após o carregamento foram coletadas informações relacionadas à fissuração e deformação no ELU e a carga de ruptura das vigas. De posse dos resultados, observou-se que as vigas com armadura de reforço tiveram um melhor desempenho no aparecimento e abertura de fissuras e uma maior capacidade de carga quando comparadas as vigas sem armadura de reforço e até mesmo com as vigas de alma cheia.

Palavras-Chave: Cisalhamento. Furo em vigas. Reforço em furos.

1. INTRODUÇÃO

Furos e aberturas em elementos estruturais são comumente utilizados em obras, seja para passagem de tubulações hidro-sanitárias, tubulações elétricas e sistemas de climatização. Segundo a NBR6118(2007) de maneira geral os furos têm dimensões pequenas em relação ao elemento estrutural enquanto as aberturas não, um conjunto de furos muito próximos deve ser tratado como uma abertura. Os furos normalmente são feitos por falta de compatibilização de projetos ou por improvisações feitas em obras. Muitas vezes esses furos ou aberturas são feitos aleatoriamente na estrutura, sem respeitar as especificações que a norma impõe, como por exemplo, a disposição e a dimensão deste furo. Qualquer estrutura que apresente, em suas exigências de projeto, a necessidade de furos ou aberturas, deverá ser projetada e detalhada para absorverem as alterações do fluxo de tensões que ocorrem no entorno destes locais,

prevendo-se armaduras especiais para estes casos, além daquelas necessárias para a estabilidade do elemento em função das solicitações atuantes. Quando se faz um furo na viga próximo ao apoio, onde o esforço cortante é maior, este furo gera uma descontinuidade da alma que modifica o mecanismo de resistência ao cisalhamento quando comparadas a vigas de alma cheia. Respeitando as imposições da NBR 6118 (2007) e utilizando uma armadura de reforço em torno do furo, este estudo tem o objetivo de:

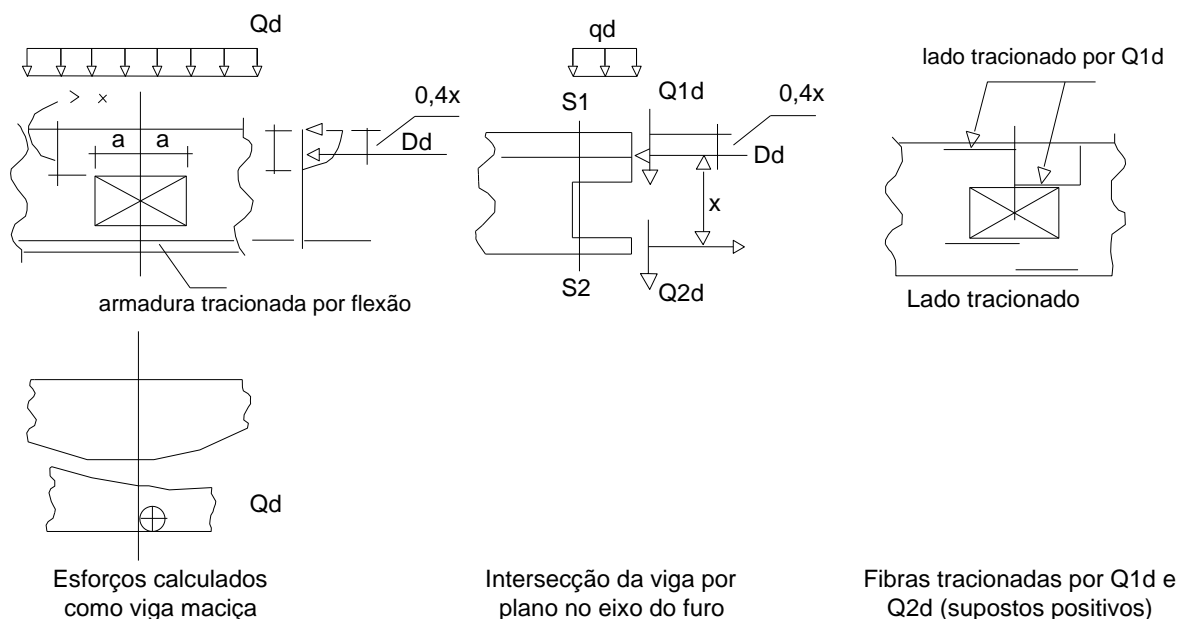
- Dimensionar e detalhar a armadura de reforço em furos de viga;
- Confeccionar três grupos de amostras e submeter todas ao ensaio de cisalhamento preconizado pela norma europeia EN 1168(2005);
- Avaliar e comparar as amostras quanto à capacidade resistente ao esforço cortante, aberturas de fissuras e deslocamentos;
- A carga máxima para levar a peça à ruptura;
- Contribuir com dados de referência para o meio técnico.

1.1 CÁLCULO DA ARMADURA DE REFORÇO

Para o cálculo da armadura de reforço foram seguidos os passos de Süsskind (1984), que indica Interceptar a viga num plano que atravessa o eixo da abertura, como na Figura 2, obtendo o equilíbrio e aplicando nesta seção as resultantes dos esforços atuantes:

- a) O momento fletor será transmitido pelas resultantes D_d e Z_d no concreto e no aço, respectivamente(SÜSSEKIND, 1984);
- b) O esforço cortante total Q_d se dividirá em Q_{1d} e Q_{2d} proporcionais a rigidez a flexão de cada banzo. No banzo superior tem-se a rigidez de uma peça comprimida de concreto e no inferior tracionado (fissurado) somente da armadura existente. Como a rigidez no banzo superior é muito maior considera-se $Q_{1d} = Q_d$ e $Q_{2d} = 0,1.Q_d$ para limitar a fissuração no banzo inferior (SÜSSEKIND, 1984);

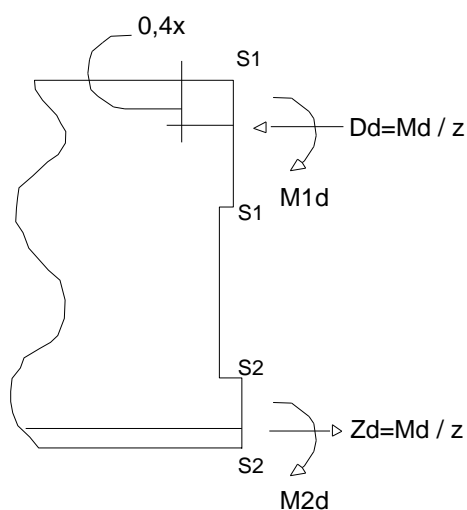
Figura 2 – Análise da região do furo



Fonte: Süssekind, (1984)

- c) Para o dimensionamento considera-se na seção S_1-S_1 na Figura 3, atuando um esforço $N_d = D_d(a - 0,4x)$ da borda mais comprimida) e um momento fletor $M_{1d} = Q_d \cdot a$, e na seção S_2-S_2 , $M_{2d} = 0,1 \cdot Q_d \cdot a$ e $N_d = Z_d$, aplicada no nível da armadura de flexão tracionada, onde “a” é a altura da região comprimida (SÜSSEKIND, 1984);

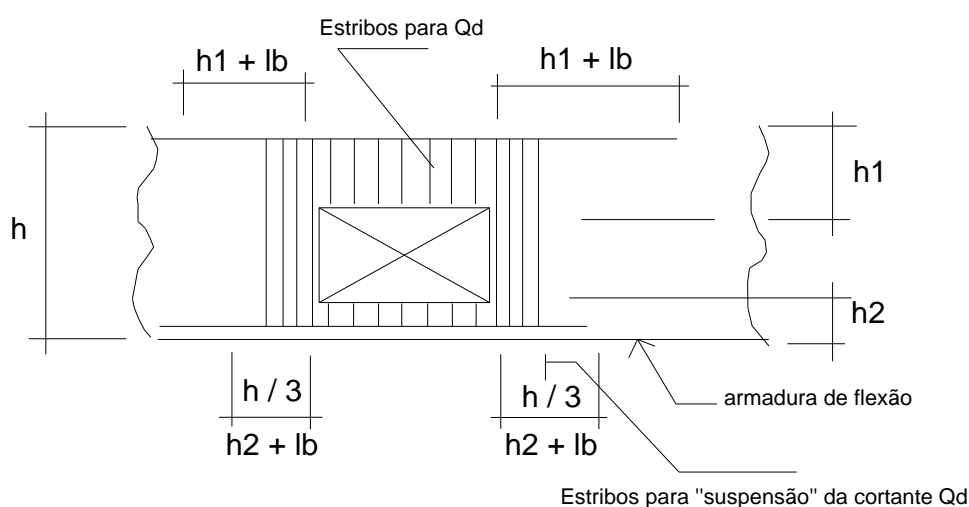
Figura 3 – Esforços na seção S_1-S_1 e S_2-S_2



Fonte: Süssekind, (1984)

- d) Prever armaduras de suspensão junto à abertura, no lado mais afastado do apoio: dimensionar para cerca de $0,9.Q_d$; do lado mais próximo do apoio colocar apenas de 1 a 3 estribos (SÜSSEKIND, 1984);
- e) No detalhamento da armadura na região do furo considera-se uma armadura simétrica (no intuito de evitar enganos) (SÜSSEKIND, 1984).

Figura 4 – Detalhamento da armadura de reforço do furo



Fonte: Sússekind, (1984)

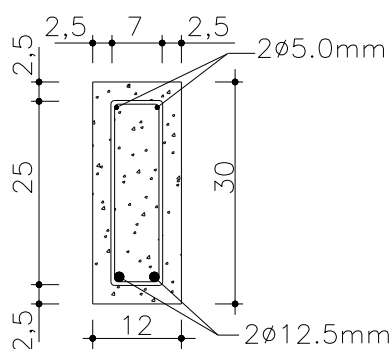
2. MATERIAIS E MÉTODOS

Para o desenvolvimento do estudo foram moldadas nove vigas com seção transversal de (12 x 30) cm, com comprimento de 250 cm e vão teórico de 240 cm, também foi estabelecida para todas as vigas uma área de aço (A_s) de $2,5 \text{ cm}^2$, ou seja, 2 $\varnothing 12,5 \text{ mm}$ de aço CA-50 para armadura de flexão e 2 $\varnothing 5,0 \text{ mm}$ de aço CA-60 como armadura de porta estribo, sendo todas as vigas dimensionadas no domínio 3. Os estribos tiveram espaçamento de 15 cm e diâmetro de 5 mm de aço CA-60, utilizando os critérios de espaçamento máximo ($S_{\text{máx}}$) e de diâmetro mínimo (\varnothing_{min}), estabelecidos pela NBR 6118(2007). Para facilitar o estudo as vigas foram divididas em três grupos de três exemplares cada:

- Grupo1 – Viga de alma cheia, sem presença de furo, que servirá de parâmetro para comparação dos resultados;

- Grupo 2 – Viga com um furo circular de 10 cm de diâmetro, próximo ao apoio, atendendo os limites da NBR 6118(2007), sem armadura de reforço;
- Grupo 3 – Viga com um furo circular de 10 cm de diâmetro, próximo ao apoio, atendendo os limites da NBR 6118(2007), adotando uma armadura de reforço.

Figura 5 – Seção transversal



Fonte: Autor (2013)

Para a confecção das vigas primeiramente foram moldadas as fôrmas com tábuas de madeira com espessura de 2,5 cm e posteriormente colocadas as armaduras longitudinais e transversais, posicionadas com auxílio de espaçadores para garantir um cobrimento nominal de 2,5cm. As vigas do grupo 2 e 3 que possuíam furos, foram feitas com um tubo de PVC de 100mm de diâmetro, posicionado a uma distância de duas vezes a altura da viga, ou seja, 60cm entre o eixo do furo até a face interna do apoio. A Figura 6 mostra etapas da fabricação das vigas.

Figura 6 - Etapas de fabricação das vigas



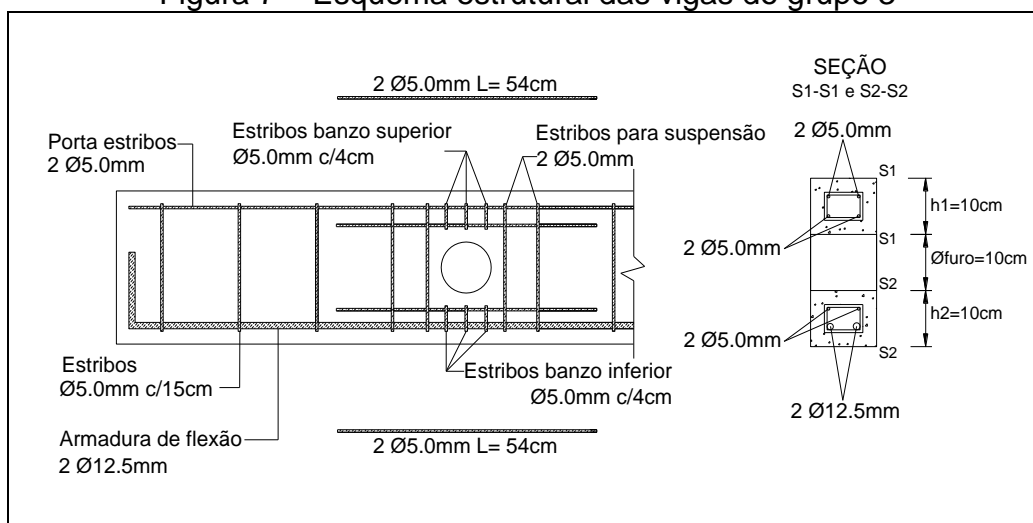
Fonte: Autor (2013)

Para a concretagem foi utilizado concreto usinado com resistência característica a compressão (f_{ck}) de 25 MPa, com slump de (10 ± 2) cm, no mesmo dia foram moldados 10 corpos de prova do concreto utilizado na fabricação das vigas, que foram ensaiados aos três, sete e vinte e oito dias no LMCC- Laboratório de Materiais de construção Civil da UNESC localizado no I-Parque.

2.1 DETALHAMENTO DA ARMADURA DE REFORÇO

Como a área de aço (A_s) foi estipulada em $2,5 \text{ cm}^2$, foi possível determinar o valor do momento fletor de cálculo (M_d), obtendo assim, posteriormente, o esforço cortante das reações de apoio. Com os valores dos momentos e esforços cortantes, fez-se o cálculo das armaduras longitudinais nas seções S_1-S_1 e S_2-S_2 , prevalecendo área de aço mínima como reforço, de acordo com a NBR 6118 (2007), adotando-se 2 $\varnothing 5.0\text{mm}$ para o banzo superior e 2 $\varnothing 5.0 \text{ mm}$ de aço CA-60 para o banzo inferior, com comprimentos iguais ao $h_1 = h_2$ somados a um comprimento de ancoragem L_b de 22 cm. As armaduras transversais (estribos) nas seções S_1-S_1 e S_2-S_2 ficaram com taxa de armadura mínima e diâmetro mínimo para concreto C25 e aço CA-60, segundo a NBR 6118 (2007), adotando-se estribos de $\varnothing 5.0 \text{ mm}$ a cada 4 cm nas seções S_1-S_1 e S_2-S_2 . A armadura de suspensão ficou com estribos de $\varnothing 5.0 \text{ mm}$ divididos em uma largura de 10 cm para cada lado do furo. A Figura 7 mostra o esquema estrutural das vigas do grupo 3.

Figura 7 – Esquema estrutural das vigas do grupo 3

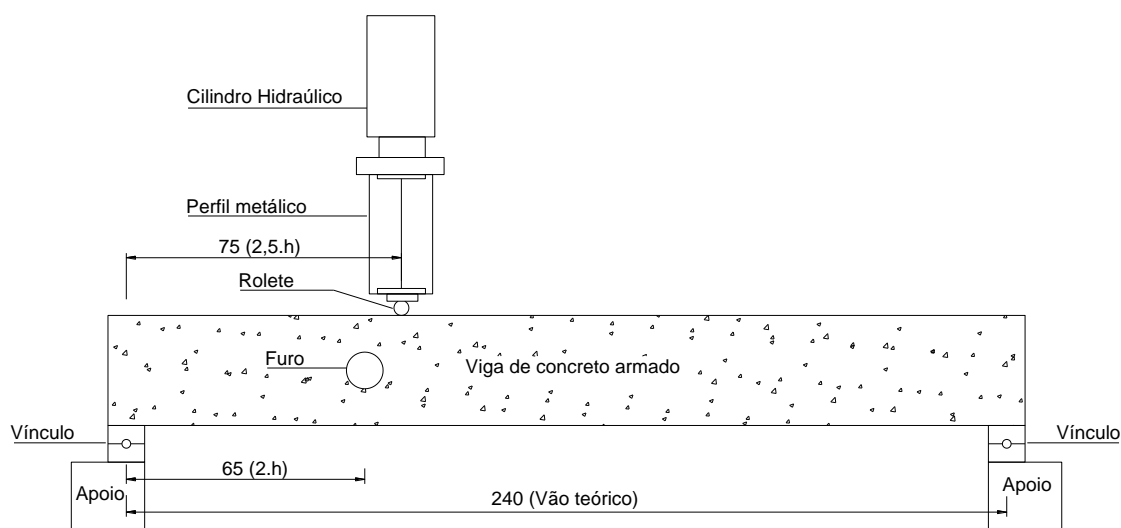


Fonte: Autor, (2013)

2.2 METODOLOGIA DE ENSAIO DAS VIGAS

Todas as amostras passaram pelo ensaio de cisalhamento preconizado pela norma europeia EN1168(2005) com apenas uma força concentrada, ensaiadas aos 28 dias de idade no Laboratório de Estruturas (LEE) da UNESC, localizado no I-Parque. A carga foi aplicada de cima para baixo de forma lenta e crescente a uma distância de 2,5h do apoio pelo cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500 kN, também foram instalado dois transdutores de deslocamento (LVDT) de 100mm, posicionados no eixo da abertura e no meio da viga. O posicionamento dos equipamentos está disposto na Figura 8.

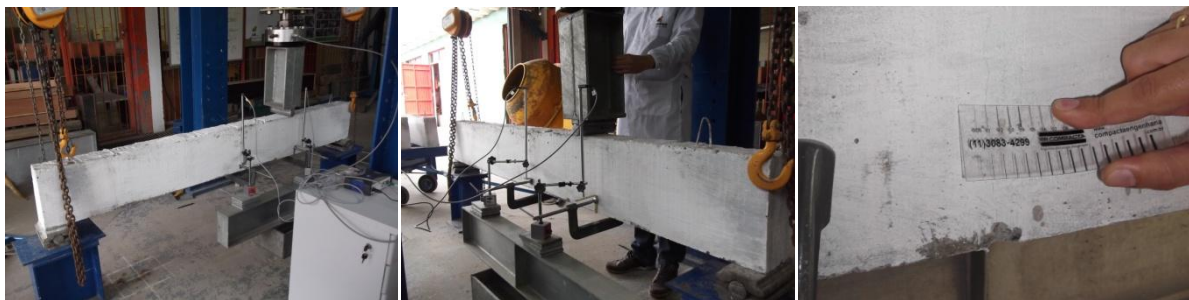
Figura 8 – Posicionamento dos equipamentos



Fonte: Autor, (2013)

No decorrer da aplicação da carga foi verificada a formação e abertura de fissuras e deslocamentos no estado limite último (ELU) e por último a capacidade de carga na ruptura. A Figura 9 mostra o detalhamento do ensaio.

Figura 9 – Ensaio das amostras



Fonte: Autor (2013)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A Tabela 1 mostra as médias dos resultados dos ensaios de resistência à compressão axial, resistência à tração e módulo de elasticidade dos corpos de prova do concreto utilizado.

Tabela 1 – Média dos resultados dos ensaios dos corpos de prova

Número de amostras	Idade (dias)	Resistência média à compressão (MPa)	Resistência média à tração (MPa)	Módulo de elasticidade médio (GPa)
3	3	9,5 ± 0,396	-	-
3	7	16,5 ± 0,345	-	-
4	28	21,0 ± 0,750	2,1 ± 0,223	21,1 ± 0,280

Fonte: Autor, (2013)

O comportamento das amostras durante o ensaio até a ruptura está apresentado nas Figuras 10, 11 e 12. As ondulações presentes próxima da carga de ruptura indicam o momento em que o aço escoou. Pode-se observar que os deslocamentos, tanto no eixo do furo como no meio da viga, foram praticamente iguais, para cada grupo de vigas. Nota-se que as vigas do grupo 3 (Figura 12) obtiveram um comportamento semelhante ao das vigas do grupo 1 (Figura 10), porém possuindo um deslocamento de 23,45% inferior na ruptura. No geral as vigas do grupo 2 (Figura 11) se comportaram de forma diferente, as amostras romperam logo em que o aço escoou.

Figura 10 – Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 1, em função do deslocamento no eixo do furo e no meio da viga, respectivamente

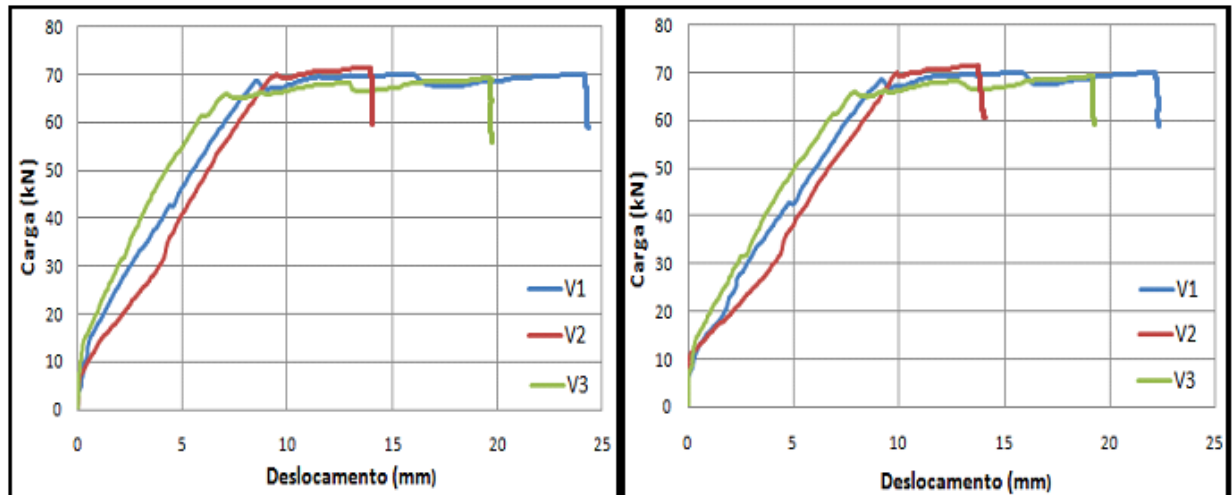


Figura 11 – Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 2, em função do deslocamento no eixo do furo e no meio da viga, respectivamente

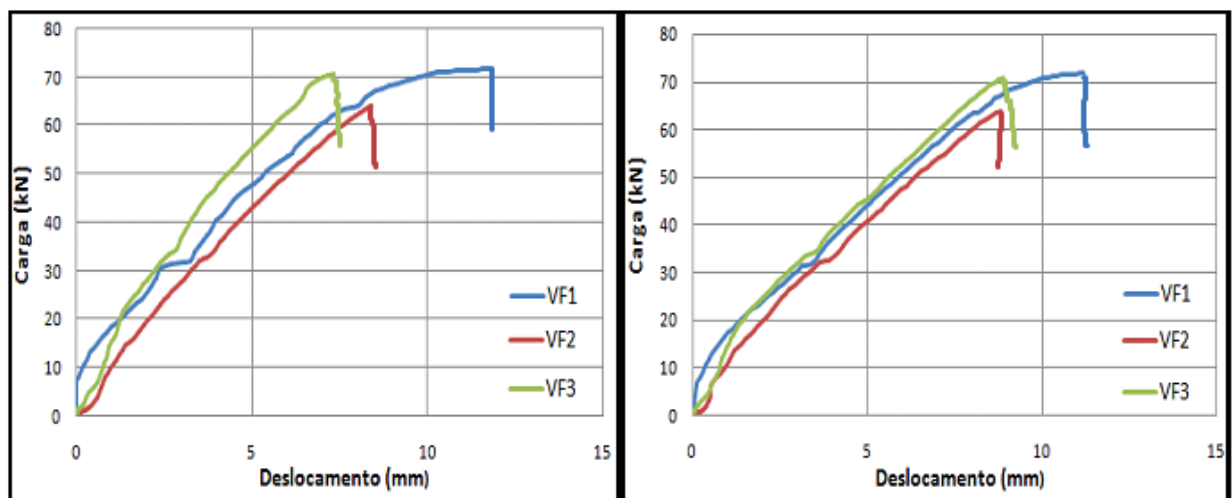
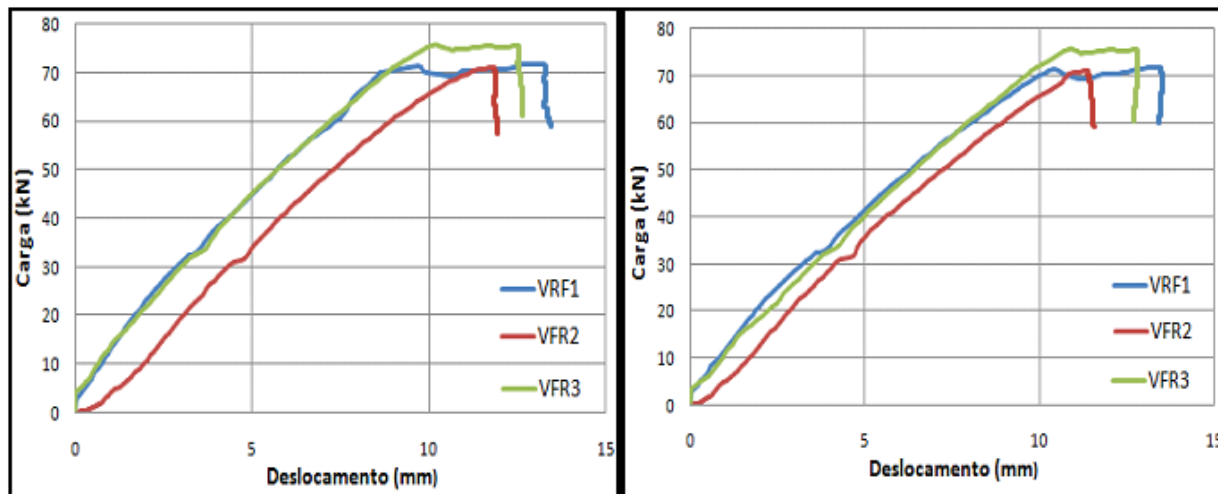


Figura 12 – Comportamento até a ruptura das vigas do grupo 3, em função do deslocamento no eixo do furo e no meio da viga, respectivamente



Como previsto todas as vigas romperam por cisalhamento na região do furo, isso ficou evidente pelas fissuras de cisalhamento no concreto na direção das trajetórias de compressão, originando elementos inclinados, bielas de compressão. As fissuras se localizavam na região da carga concentrada indo para o apoio de maior solicitação, formando um ângulo de 30° a 45° em relação à base da viga, como ilustrado na Figura 13.

Figura 13 – Forma de ruptura das vigas



Fonte: Autor (2013)

Os resultados do ensaio estão dispostos nas Tabelas 2, 3 e 4. Os deslocamentos, quantidades de fissuras e suas aberturas foram medidos no ELU.

Tabela 2 – Resultado do ensaio das vigas do grupo 1

Viga	Carga de ruptura (kN)	Qtd. de fissuras (un)	Abertura máx. de fissuras (mm)	Deslocamento no eixo do furo (mm)	Deslocamento no meio da viga (mm)
V1	70,04	12	0,1	3,72	4,11
V2	71,51	8	0,1	3,92	4,35
V3	69,20	8	0,1	2,13	2,65
Média	70,25	9,33	0,10	3,26	3,70
Desvio Padrão	0,95	1,89	0,00	0,80	0,75

Fonte: Autor (2013)

Tabela 3 – Resultado do ensaio das vigas do grupo 2

Viga	Carga de ruptura (kN)	Qtd. de fissuras (un)	Abertura máx. de fissuras (mm)	Deslocamento no eixo do furo (mm)	Deslocamento no meio da viga (mm)
VF1	71,74	10	0,2	3,13	3,26
VF2	63,93	10	0,2	3,77	3,87
VF3	70,62	10	0,2	2,65	3,36
Média	68,76	10,00	0,20	3,18	3,50
Desvio Padrão	3,45	0,00	0,00	0,46	0,27

Fonte: Autor (2013)

Tabela 4 – Resultado do ensaio das vigas do grupo 3

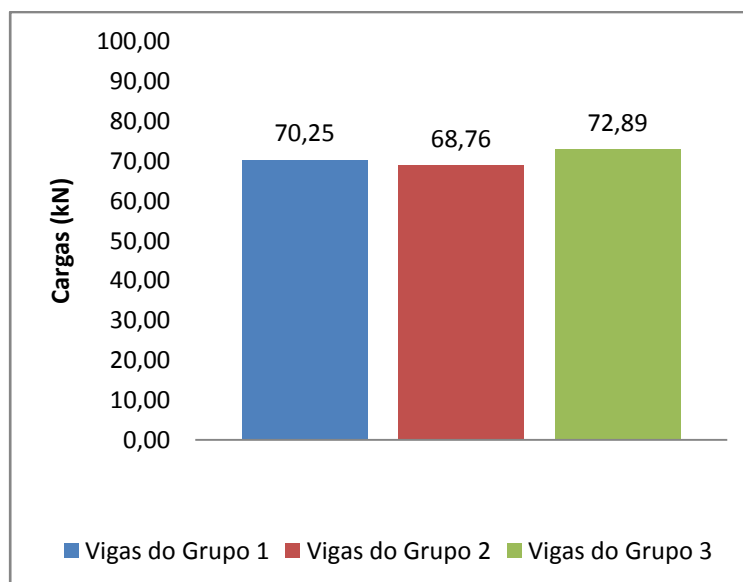
Viga	Carga de ruptura (kN)	Qtd. de fissuras (un)	Abertura máx. de fissuras (mm)	Deslocamento no eixo do furo (mm)	Deslocamento no meio da viga (mm)
VFR1	71,87	8	0,1	3,29	3,71
VFR2	71,09	7	0,1	4,50	4,42
VFR3	75,71	7	0,1	3,48	3,99
Média	72,89	7,33	0,10	3,76	4,04
Desvio Padrão	2,02	0,47	0,00	0,53	0,29

Fonte: Autor (2013)

3.1 CAPACIDADE DE CARGA

Todas as vigas ultrapassaram a capacidade de carga calculada para o estado limite último que foi de 29,18kN. Na média as vigas do grupo 3 que possuíam armadura de reforço obtiveram maior capacidade de carga, 3,76% a mais quando comparada com a média das vigas do grupo 1 e 6,01% a mais quando comparada com a média das vigas do grupo 2. A viga VF2 teve a menor capacidade de carga com valor de 63,93 kN na sua ruptura, sendo que a viga com armadura de reforço VFR3 alcançou a maior carga de ruptura de 75,71kN. A Figura 14 mostra a comparação das cargas médias de ruptura.

Figura 14 – Capacidade de carga média

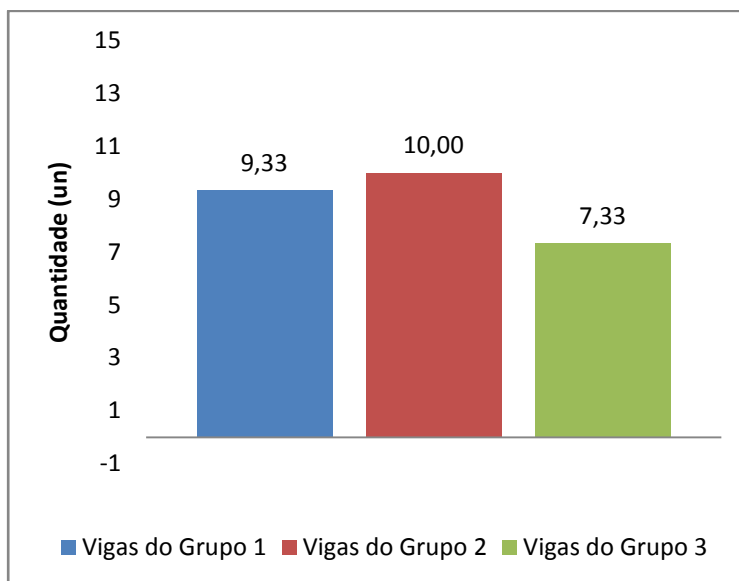


Fonte: Autor (2013)

3.2 FISSURAS

Na figura 15 é possível observar que as vigas do grupo 3 que possuíam armadura de reforço obtiveram uma menor quantidade de fissuras no ELU, quando comparadas com as vigas do grupo 1 e 2. Quanto a abertura máxima de fissuras, as vigas do grupo 1 e 3 obtiveram o mesmo valor de 0,1 mm, já as do grupo 2 resultaram uma maior abertura com valor de 0,2 mm.

Figura 15 – Quantidade média de fissuras



Fonte: Autor (2013)

Figura 16 – Comparação de fissuras no ELU das vigas furadas (grupo 2) e vigas furadas com reforço (grupo 3)



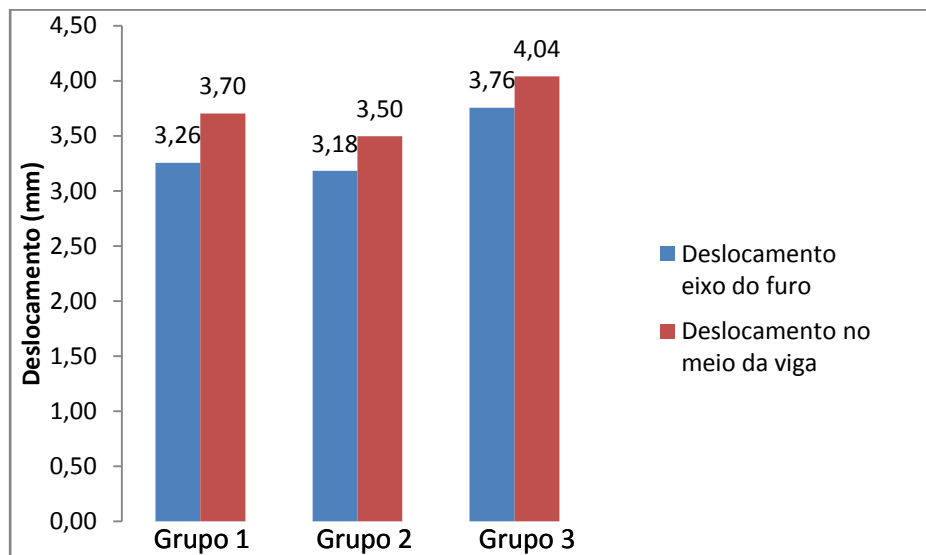
Fonte: Autor (2013)

3.3 DESLOCAMENTO

A Figura 17 mostra que os valores de deslocamentos no ELU obtiveram valores semelhantes para todas as vigas ensaiadas e também que o deslocamento máximo se deu no meio da viga. As vigas do grupo 3, em média obtiveram deslocamentos maiores, no eixo do furo a média dos deslocamentos foi 15,34% superior as vigas do grupo 1 e 18,24% maior do que as do grupo 2, já o deslocamento no meio da viga foi

9,19% maior quando comparadas as vigas do grupo 1 e 15,43% maior comparadas com o grupo 2.

Figura 17 – Deslocamento médio no ELU



Fonte: Autor (2013)

4. CONCLUSÃO

Os resultados demonstraram que para o estudo em questão, respeitando os limites que a NBR 6118 (2007) impõe, é possível fazer a abertura na viga sem adotar uma armadura de reforço, visto que todas as amostras superaram a carga de cálculo para o ELU, porém ao adotar uma armadura de reforço os resultados obtidos foram superiores, até mesmo quando comparadas com as vigas de alma cheia. Com o reforço é possível reduzir 26,7% da quantidade de fissuras quando comparadas as vigas sem reforço e igualar a abertura máxima de fissuras com as vigas de alma cheia. Sobre a capacidade portante, as vigas com reforço obtiveram cargas de ruptura em média 3,76% superior quando comparada com as vigas de alma cheia e 6,01% a mais quando comparada com as vigas sem armadura de reforço.

5. REFERÊNCIAS

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

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Concreto Armado Segundo a NBR 6118:2003**, 3ª. ed. São Carlos: Ed. Edufscar, 2004.

EN 1168:2005 – **Precast Concrete Products** – Hollow Core Slabs. Brussels. CEN (Comité Européen de Normalisation), 2005.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnicas de armar as estruturas de concreto**. São Paulo. Editora Pini Ltda, 1994.

SÜSSEKIND, José Carlos. **Curso de Concreto Armado**. Rio de Janeiro, Ed. Globo S.A., 1984, v. II, 2ª ed.