

Análise e interferência em vigas com abertura e sem reforço

Analysis and interference in beams with opening and without reinforcement

RESUMO

Percival Pscheidt do Rego

percival98@gmail.com

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Heloiza Aparecida Piassa Benetti

hpiasssa@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Rafael Criado Ribeiro

rafael.2016@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

Gustavo Lacerda Dias

lacerda@utfpr.edu.br

Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Pato Branco, Paraná, Brasil

As aberturas em vigas são extremamente comuns em qualquer tipo de obra, para passagem de tubulação hidráulica, elétrica, ar condicionado, etc., gerando um ponto de concentração de tensões extremamente altas para a viga, sendo necessário a previsão destas aberturas ao longo da viga. Porém, principalmente quando não há compatibilização de projetos, é necessário perfurar a viga após concretada, e um reforço convencional nessa região é extremamente difícil de fazer após a viga estar pronta. Esta pesquisa foi realizada para verificar a resistência nessas aberturas sem nenhum tipo de reforço, extrapolando o limite imposto pela NBR 6118:2014, através do dimensionamento, confecção e rompimento de vigas, para comparar com o carregamento de projeto, assim, através do Ensaio de Stuttgart, examinar o tipo e a causa dos rompimentos e fissuras.

PALAVRAS-CHAVE: Concreto Armado. Vigas. Aberturas.

ABSTRACT

The openings in reinforced concrete beams are extremely common in any type of work, for the passage of hydraulic, electrical, air conditioning, etc., generating a point of concentration of extremely high stresses of the beam, being necessary a long time. However, especially when there is no compatibility of projects, it is necessary to drill the beam after concreting, and a conventional reinforcement in this region is extremely difficult to do after the beam is ready. This research was carried out to verify the resistance in these openings without any type of reinforcement, exceeding the limit imposed by NBR 6118: 2014, through the dimensioning, confection and breaking of beams, for associating the gear in Stuttgart, examining the type and cause ruptures and fissures.

KEYWORDS: Reinforced Concrete. Beams. Openings.

Recebido: 19 ago. 2020.

Aprovado: 01 out. 2020.

Direito autoral: Este trabalho está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.



INTRODUÇÃO

De acordo com Giongo (2007), o concreto surgiu como uma pedra artificial resistente e durável, porém, diferente das naturais, o concreto é moldável com certa facilidade, tomando as formas e dimensões necessárias para as mais diferentes utilizações. Já as barras de aço se uniram ao concreto para reforçar os elementos estruturais à tração, assim criando o concreto armado.

A primeira vez em que o concreto armado foi utilizado (chamado de cimento armado), foi em 1849, na França, quando um pequeno barco foi construído por Lambot, o qual foi exposto na Exposição de Paris em 1855. (GIONGO, 2007)

Já no Brasil, o concreto foi introduzido no século XX, com as primeiras cimenteiras entrando em funcionamento a partir de meados de 1920, e a partir de 1940, já tinha sido normalizado pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. (SANTOS, 2008)

Com a grande utilização do concreto armado, Simão (2014) afirma que aberturas em almas de vigas são utilizadas com grande frequência para a passagem de tubulações elétricas, hidráulicas, etc., porém, grande parte destas aberturas são feitas sem o planejamento adequado, assim enfraquecendo a viga, podendo gerar uma instabilidade local e ou global, podendo ou não comprometer a segurança da edificação.

A ABNT NBR 6118:2014 (Projeto de estruturas de concreto - Procedimento) (2014), regulamenta a execução e projeto de estruturas de concreto armado, dando limites para que as peças estruturais sejam duráveis e seguras. Em seu item 21.3, por exemplo, furos e aberturas são liberados em peças estruturais, desde que sejam respeitados os limites de resistência e deformação. Neste mesmo item, a ABNT determina limites para aberturas, que, caso esses limites sejam atendidos, o reforço estrutural é dispensado.

Este trabalho pretende dimensionar vigas com aberturas em lugares diferentes, e estas aberturas sem nenhum tipo de reforço, para posteriormente comparar o comportamento estrutural, à flexão e ao cisalhamento, quando esta viga for solicitada ao carregamento para qual foi dimensionada. Com isso será possível verificar qual o melhor lugar para uma possível abertura que não foi planejada.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi realizada o dimensionamento de uma viga com dois carregamentos concentrados de 5 tf, e posteriormente confeccionadas 12 vigas, três sem nenhuma abertura, e outros três grupos de vigas, variando as aberturas em três lugares diferentes. Com as vigas curadas, também foi feito o rompimento das mesmas por meio do Ensaio de Stuttgart.

MATERIAS E MÉTODOS

Para a confecção do concreto, o cimento utilizado foi o Cimento Portland CPV-ARI (Alta Resistência Inicial), pois, inicialmente, as amostras iram ser rompidas aos 21 dias de idade. Já a areia utilizada foi a do tipo fina, seca em estufa, e para o agregado miúdo, foi utilizado metade brita 2 e metade brita 0, para uma melhor trabalhabilidade do concreto.

Já o aço, foi utilizado nas bitolas 12,5 mm e 6,3 mm, de CA50, da empresa Gerdau, pois eram os disponíveis na universidade.

Para a dosagem do concreto, Campiteli (2004), determina um traço inicial o mais próximo possível do traço definitivo, definindo parâmetros previamente definidos. O traço do concreto em massa é dado pela expressão 1 : a : p : x (cimento: areia: brita: água).

Para o cálculo destes valores, alguns parâmetros devem ser definidos, sendo eles a relação água/materiais secos (H), o teor de argamassa seco (α) e a relação água-cimento (x). (CAMPITELI, 2004).

O único parâmetro adotado foi o fator água/cimento (x), que foi de 0,56, para chegar com um $f_{ck} = 20$ MPa, já todos os outros foram calculados, de acordo com os parâmetros já mencionados. O traço final foi 1 : 1,8 : 2,8 : 0,56, em massa, já a relação de uma betonada, que foi o equivalente a uma saca de cimento (50 kg), é 50 : 90 : 140 : 28.

De modo a facilitar o transporte e conseguir analisar todos os métodos de fissuração e rompimento, o tamanho estabelecido da viga foi de 120 centímetros, já a seção definida foi de base 12 cm e altura (h) 24 cm.

Em relação ao tamanho da abertura, a ABNT NBR 6118:2014, como já falado anteriormente, define dimensões máximas e locais das aberturas, para as quais não precisa ser feito o reforço. Para o reforço ser dispensado, a abertura deve ter um tamanho máximo de 12 cm e menor que $h/3$, e também deve ser localizada na zona de tração da viga, no nesse caso abaixo da linha neutra. Porém esse não era o objetivo do trabalho, então foi adotado uma abertura de 10 cm, que é maior que o limite que a norma impõe ($h/3 = 8$ cm), e foi colocado abaixo da linha neutra.

Já o revestimento utilizado foi o de 1,5 cm, também para facilitar o manuseio das vigas e diminuir a quantidade de material utilizado. Este revestimento está fora do que a norma define para o ambiente na qual a viga foi concretada (2,5 cm), porém como a viga ia ser rompida com 28 dias, e o revestimento serve única e exclusivamente para a proteção da armadura contra a corrosão, foi definida esse valor para diminuir a seção e, conseqüentemente, o peso das vigas.

Outro item que foi desconsiderado, também para diminuir a seção da viga, foram os coeficientes de majoração de cargas e minoração de resistência, com isso,

todos os valores que tiverem o índice d , por exemplo M_d , será substituído pelo valor absoluto, com índice k , por exemplo M_k .

Para utilizar os materiais que já existiam na instituição, as bitolas já foram pré-definidas, sendo elas a de armadura longitudinal $\Phi_L=12,5$ mm, porta estribo de 6,3 mm e armadura transversal de $\Phi_T=6,3$ mm, todos aço CA50 ($F_yk = 500$ Mpa). Com isso foi possível definir a altura útil da viga (d):

$$d = h - \text{cobrimento} - \Phi_T - \frac{\Phi_L}{2} = 21,245 \text{ cm} \quad (1)$$

O carregamento, para o ensaio de Stuttgart, de acordo com Rocha *et al* (2004), devem ser simétricos, logo o adotado foi dois pontos de aplicação, ambos a 40 cm do apoio. Com isso, foi calculado o $M_k = 2$ tf.m e o $V_k = 5$ tf.

Para o dimensionamento da armadura longitudinal Carvalho e Figueiredo Filho (2014) comenta que o cálculo da quantidade de armadura para seções retangulares é feito de maneira simples, realizando um simples equilíbrio de forças na seção, porém levando em conta alguns limites que a NBR 6118:2014 impõe, permitindo apenas o dimensionamento em parte do domínio 3, no domínio 4 e 4e, sendo o limite da relação altura da linha neutra pela altura útil da viga de 0,45 para concretos com f_{ck} menor que 50 MPa. (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO 2014)

Também é conveniente, sempre que possível, utilizar fórmulas adimensionais para o cálculo das armaduras longitudinais, visto que estas facilitam o emprego de diversos sistemas de unidades. (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO 2014)

Para o dimensionamento, primeiramente temos que achar o KMD (eq. 2), este, para ficar dentro dos domínios que a norma impõe, varia de 0,010 até 0,250. Com o KMD conseguimos o KZ e KX (Tabelado). Com o KZ em mãos, podemos achar a área de aço necessária (A_s), através da Eq. 3. (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO 2014)

$$KMD = \frac{M_d}{b_w * d^2 * f_{cd}} = 0,876 \quad (2)$$

$$A_s = \frac{M_d}{KZ * d * f_s} = 2,15 \text{ cm}^2 \quad (3)$$

Como foi determinado anteriormente, o aço utilizado foi o de $\Phi_L=12,5$ mm, o qual tem uma área de $1,23 \text{ cm}^2$. Para nessa viga, duas barras de aço resistem ao momento solicitado, totalizando uma área de $2,46 \text{ cm}^2$.

Para o cálculo dos estribos, foi adotado o modelo de cálculo número 1 (dentre 2 possíveis), por ser o mais simples. Neste modelo, o espaçamento entre os estribos é calculado com base na cortante que o aço deve resistir, descontando a máxima da parte que o concreto resiste. (CARVALHO E FIGUEIREDO FILHO 2014)

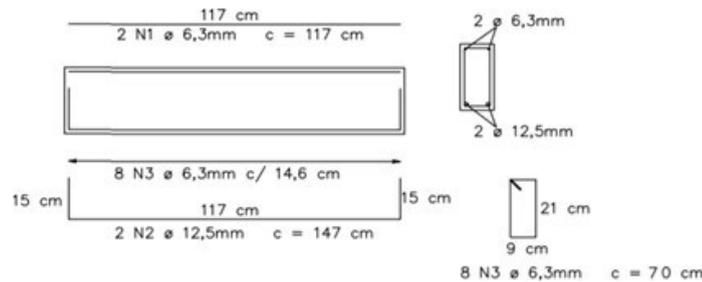
Com isso, já determinado o diâmetro do estribo, 6,3 mm, foi definido o espaçamento mínimo entre estribos através da equação 4.

$$S = \frac{A_{sw}}{V_{sw}} * 0,92 * d * f_{yd} = 18,4 \text{ cm} \quad (4)$$

Para uma melhor distribuição ao longo da viga, foram adotados 8 estribos a cada 14,6 cm.

O detalhamento final segue na figura 1.

Figura 1 - Detalhamento



Fonte: Autoria Própria (2020)

Foram confeccionadas 12 vigas, em quatro grupos distintos, e para cada grupo, com exceção do último, foi utilizada uma betonada de concreto e feito 3 corpos de provas para conferência da resistência de acordo com a NBR 5738:2015.

Desses grupos de vigas, o primeiro foi feito sem nenhuma abertura, para referência de resultados (VR). Já os outros grupos, de 3 vigas, foram com aberturas, onde a abertura foi executada com um cano de PVC de 100 mm, nos seguintes pontos: onde o momento é nulo e o cortante máximo (próximo ao apoio), chamadas de V1, onde o momento não é nulo nem máximo, tendo uma variação crescente e o cortante é máximo, chamadas de V2 e onde o momento é máximo e o cortante nulo (no meio da viga), chamadas de V3.

Após 24 horas de concretagem, todos os corpos de provas e vigas foram colocados em cura, em uma solução saturada de cal, de acordo com a NBR 5738:2015.

Feita a cura correta, os corpos de provas e vigas foram rompidos com 4 meses de idade, pois, devido a pandemia, ocorreu este atrasado, a ideia era romper com 21 dias, os corpos de provas na prensa hidráulica e as vigas, no ensaio de Stuttgart.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As cargas de rompimento média das betonadas de concreto seguem na tabela 1, rompidos com 4 meses de idade.

Tabela 1 – Resistência Betonadas

Betonada	Resistência Média (MPa)
B1	37,24
B2	33,30
B3	33,29
B4	33,96
B5	33,73

Fonte: Autoria Própria (2020).

Como podemos ver, a resistência ficou bem acima do esperado, que era de 20 MPa, sendo assim, o dimensionamento das vigas pode ser validado

Já as cargas de rupturas das vigas seguem na tabela 2, também rompidas com 4 meses de idade

Tabela 2 – Resistência Vigas

Viga	Betonada	Resistência (kgf)
VR1	B1	13343,1
VR2	B1	12536,0
VR3	B1	14412,7
V1-1	B2	9125,2
V1-2	B2	8315,1
V1-3	B2	8185,1
V2-1	B3	8310,0
V2-2	B3	7631,2
V2-3	B3	10354,0
V3-1	B4	13648,0
V3-2	B4	14500,0
V3-3	B5	11840,0

Fonte: Autoria Própria (2020).

As vigas de referência romperam acima do valor dimensionado, que era de 10000 Kgf, assim validando o dimensionamento da viga.

Já as dos grupos V1 e V2, onde a abertura estava na região de cisalhamento, como já esperado, a carga de ruptura teve uma grande redução em relação as vigas de referência sem abertura, e a ruptura ocorreu por cisalhamento na região da abertura, como o esperado.

Em relação as vigas do grupo V3, a carga de ruptura não foi alterada, pois na região da abertura, onde existe uma redução da seção, o único esforço atuante é

o de momento fletor, e como a abertura está abaixo da linha neutra, a seção de compressão não foi alterada, e abaixo da linha neutra, o que resiste a tração é o aço e este também não teve alteração. O rompimento, do mesmo jeito que nas vigas de referência, se deu na região de cisalhamento.

CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos e da revisão bibliográfica utilizada, pode-se concluir que as aberturas na região de cisalhamento tem uma interferência gigante no método de ensaio utilizado, onde o carregamento é concentrado em dois pontos, assim deixando uma região com uma tensão cisalhante muito grande, e a abertura rompe as bielas de compressão, assim prejudicando a resistência da viga.

Já quando existe apenas momento fletor, que nesse caso ocorre no centro da viga, pois o peso próprio da viga não entra no dimensionamento, porque ele é muito menor que o concentrado, assim não influenciando na resistência final, a carga de ruptura não muda em relação a de referência, uma vez que a única mudança na viga é abaixo da linha neutra, onde não existe compressão, e as bielas de compressão que são interrompidas não tem função estrutural, visto que o cortante é nulo, assim deixando as tensões cisalhantes também nulas.

Analisando uma viga bi apoiada, das mesmas dimensões deste trabalho, de uma obra que será concretada, a NBR 6118:2014 [4] já não dispensa o reforço nas aberturas, e nessa pesquisa pode-se concluir que realmente o reforço é essencial, principalmente quando existe esforços cortantes ao longo da viga, o que é extremamente comum nas obras em geral, por exemplo as cargas de alvenaria em cima da viga.

Também foi possível verificar a importância das bielas de compressão, da teoria de bielas e tirantes, sendo estas que devem ser reforçadas quando interrompidas por uma abertura.

REFERÊNCIAS

GIONGO, J. S. Concreto Armado: Introdução e Propriedades dos materiais. 2007. – Universidade de São Paulo – Escola de Engenharia de São Carlos - USP, São Carlos.

SANTOS, R. E. A armação do concreto no Brasil: História e difusão da tecnologia do concreto armado e da construção de sua hegemonia. 2008. Diss. (Doutorado) – Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, Belo Horizonte.

GLÓRIA SIMÃO, D. W. da. Análise e dimensionamento de vigas de concreto armado com aberturas na alma. 2014. Diss. (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco, Caruaru.

ABNT. NBR 6118: Projeto de Estruturas de Concreto Armado - Procedimento. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2014.

CAMPITELI, V. C. Concreto de cimento Portland: um método de dosagem. 2004. – Universidade Estadual de Ponta Grossa - UEPG, Ponta Grossa.

CARVALHO, R.; PINHEIRO, L. Calculo E Detalhamento De Estruturas Usuais De: CONCRETO ARMADO, V.2. [S.I.]: PINI. ISBN 9788572662765.

ABNT. NBR 5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura dos corpos de prova. Associação Brasileira de Normas Técnicas, 2015

ROCHA, A. C.; OLIVEIRA, M. G. D.; RESENDE, P. S. O.; CHAER, A. V. Ensaio de Stuttgart – reprodução em laboratório. In: Congresso Brasileiro do Concreto, 46º, 2004, Florianópolis