

ANALISE DA EFICIÊNCIA DE ESTRIBOS CONTÍNUOS COMPARADOS AOS ESTRIBOS TRADICIONAIS UTILIZADOS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO

Anderson Borges da Silva (1), Prof. Esp. Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1)Andy_civil@hotmail.com, (2) alexandrevargas@terra.com.br

RESUMO

Este trabalho apresenta uma análise experimental comparativa entre dois modelos de armadura para combater a força de cisalhamento em vigas de concreto armado. O programa experimental tem como objetivo analisar a eficiência entre estribos contínuos comparados com os tradicionais estribos independentes, tanto no combate aos esforços cisalhante como no aparecimento e aberturas de fissuras e também na carga de ruptura. Foram executadas seis vigas de concreto armado, sendo três com estribos tradicionais e três com estribos contínuos. O modelo de ensaio foi de uma viga bi apoiada, com uma única força concentrada, aplicada de forma lenta crescente até a ruptura a uma distância de 2,5h do apoio conforme norma europeia EN: 1168: 2005. Observou-se que os estribos contínuos tiveram um melhor desempenho para o aparecimento das primeiras fissuras, e aberturas máximas das mesmas, em relação às vigas com estribos tradicionais. A forma de ruptura de ambos os modelos foram semelhantes, sendo que, as vigas com estribos verticais tiveram o valor da carga de ruptura superior em relação as vigas com estribos contínuos. Foi avaliado o custo de manufatura para ambos os modelos, tendo como resultado uma economia de 0,13% no custo final nas vigas montadas com estribos contínuos.

Palavras-Chave: Concreto armado, estribos verticais, estribos contínuos, cisalhamento

1. INTRODUÇÃO

A busca por maior produtividade e eficiência nas estruturas de concreto armado fomenta a pesquisa na direção da criação de dispositivos mais práticos e que atendam as necessidades de dimensionamento e detalhamento dos elementos estruturais. A maneira mais comum adotada para combater esforços de cisalhamento em vigas é a utilização de estribos verticais individuais com no mínimo dois ramos. Como em todas as etapas da evolução, quando algo novo chega ao mercado, gera dúvidas sobre a sua eficiência. A adoção de ramos inclinados e peças contínuas, em estribos utilizados em vigas de concreto armado podem trazer alguns questionamentos técnicos em relação ao seu comportamento estrutural, o que pode levar alguns técnicos a renúncia da utilização desses dispositivos.

Essa nova proposta motivou a desenvolver uma investigação experimental para analisar se o novo sistema de estribos contínuos tem a mesma eficiência que os estribos tradicionais quanto à abertura de fissuras e carga de ruptura, visto que um ramo do estribo contínuo estará no mesmo sentido das bielas de compressão.

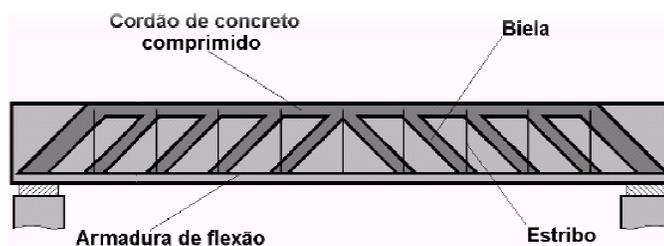
1.1 Objetivos

- Determinar qual dos dois modelos é mais eficiente no combate a esforços cortante;
- Obter os resultados de abertura de fissuras nas vigas;
- Determinar qual dos dois modelos resiste mais carga até a ruptura;
- Analisar o custo de cada modelo;
- Analisar e comparar os resultados obtidos em laboratório.

1.2 Cisalhamento

Em uma viga de concreto, quando o esforço cortante atua isoladamente na seção, as tensões de cisalhamento que aparecem para equilibrar a sollicitação externa têm distribuição uniforme, atuando também as tensões de cisalhamento que aparecem para equilibrar a sollicitação externa têm distribuição uniforme, atuando também a sollicitação momento fletor na seção, as tensões de cisalhamento distribuir-se-ão de forma totalmente diferente, apesar de sua resultante continuar sendo a mesma. Para análise das vigas de concreto armado, podem-se considerar duas situações, antes e depois da fissuração. Morsch assemelha uma viga fissurada a uma treliça conforme Figura 01.

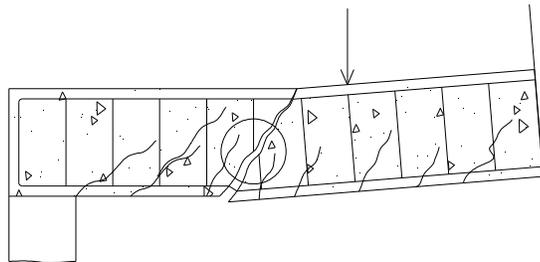
Figura 01: Analogia da treliça



Fonte: Muzardo Santos Pinheiro, (2003)

O banzo superior representa o cordão de concreto comprimido, o banzo inferior a armadura longitudinal de tração (A_s), as diagonais tracionadas armadura transversal de cisalhamento (A_{sw}) e as diagonais comprimidas, as bielas de concreto após fendilhamento no estágio II de tensões. O tipo mais comum de ruptura por cisalhamento acontece devido à insuficiência de armadura transversal necessária para combater as tensões de tração devido a esforços cortante solicitantes, fazendo com que esta peça tenha a tendência de se dividir em duas partes conforme esquema apresentado na Figura 2.

Figura 02: Ruptura da armadura transversal



Fonte: Muzardo Santos Pinheiro, (2003)

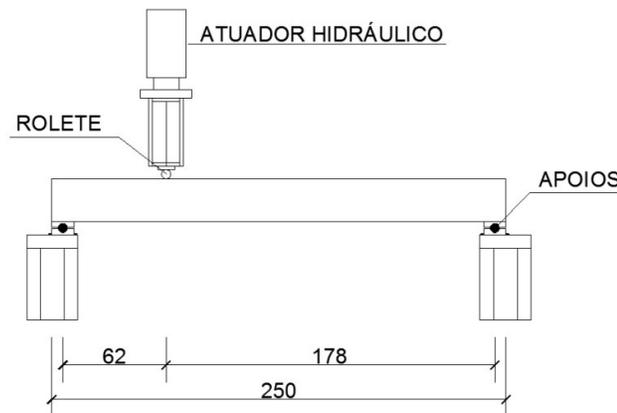
A segurança contra este modo de ruptura é garantida por uma quantidade suficiente de armadura transversal. Para o dimensionamento a esforços cortantes são admitidos dois modelos de cálculos: no modelo I, as bielas tem inclinação de 45° , e a parcela de força cortante absorvida por mecanismo complementares ao de treliça (V_c) é constante, e independente da força cortante solicitante de cálculo na seção (V_{sd}). Já o modelo II, as bielas podem ser arbitradas livremente no intervalo $30^\circ \leq \theta \leq 45^\circ$ em relação ao eixo do elemento estrutural, considera-se ainda que a parcela (V_c) sofre redução com o aumento V_{sd} .

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Visando investigar uma nova tecnologia de execução de armadura transversal de vigas de concreto armado, denominado estribos contínuos, e comparar com o tradicionalmente usado, estribos verticais, serão executados dois grupos de três vigas, totalizando seis amostras. Todas têm a mesma seção transversal de 12 cm de largura e 25 cm de altura, com vão de 250 cm total, sendo 240 cm de vão teórico e o

mesmo tipo de concreto – C25 usinado. O primeiro grupo utiliza estribos tradicionais e o segundo estribos contínuos. Será adotando para armadura transversal diâmetro mínimo \varnothing_{\min} , e espaçamento transversal máximo S_{\max} conforme item 18.3.3.2 da norma NBR 6118:2003. A armadura longitudinal será superdimensionada com o objetivo de resistir à força de flexão, e obrigatoriamente fazer com que ocorra primeiro o escoamento da armadura transversal. Todas as vigas serão ensaiadas no laboratório de estruturas (LEE) do Curso de Engenharia civil, da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC, localizado no IParque. Seguindo o ensaio preconizado pela norma européia EN 1168:2005, conforme esquema apresentado na Figura 3. Aplicando-se de forma lenta e crescente uma única força concentrada a uma distância $2,5h$ do apoio avaliando o seu comportamento de cisalhamento puro até o momento da ruptura, verificando a carga máxima, a formação e aberturas de fissuras na ruptura. Ao final são comparados os resultados obtidos, para as duas situações, para avaliar qual o formato é mais eficiente no combate ao esforço cisalhante assim como verificar qual a situação é mais econômica.

Figura 03 – Esquema do ensaio



Fonte: Anderson Borges, (2012)

Foi utilizado um pórtico metálico, montado sobre uma laje de reação e é dotado de atuador hidráulico com capacidade máxima de 50 toneladas, podendo ensaiar peças com até 6 m de comprimento. Os apoios foram utilizados, foram elementos metálicos de 10 cm de largura e 20 cm de comprimento. Para a transmissão da carga do atuador hidráulico para a viga foi utilizado um perfil metálico com 18 cm de largura,

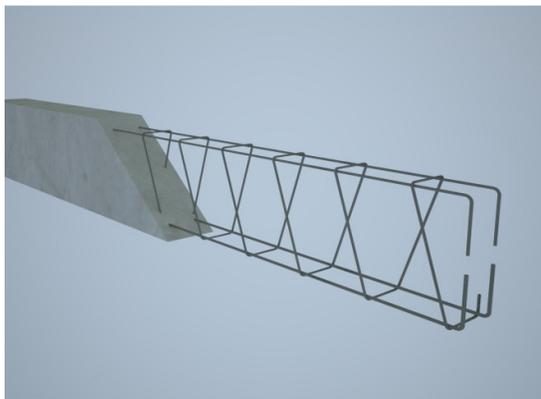
20 cm comprimento e 40 cm de altura com peso 24,48 kg e colocado um rolete pesando 4,86 kg na interface com a viga a ser ensaiada.

2.1 DETALHAMENTOS DOS ELEMENTOS ESTRUTURAIS

As vigas com estribos contínuos são identificadas como V01, V02 e V03 enquanto que as vigas com estribos verticais utilizam a nomenclatura VA, VB e VC. A armadura principal (longitudinal) terá 2 \varnothing 16.0 mm de diâmetro e a armadura porta estribo será 2 \varnothing 6,3 mm e os estribos terão tamanho 7X20 cm com diâmetro \varnothing_t 5,0 mm espaçados a cada 13 cm. O aço utilizado para montagens das vigas foi do tipo cortado e dobrado industrialmente fornecido por um distribuidor Belgo da cidade de Criciúma, todas as barras e fios são especificados pela NBR 7480: 2007, e suas propriedades mecânicas conforme certificado de qualidade que acompanha o material e foi fornecido pelo distribuidor. A Figura 4 apresenta a ilustração dos dois tipos de estribos pesquisados.

Figura 04 – Detalhe dos estribos contínuos e estribos verticais

Estribos contínuos



Estribos verticais



Fonte: Anderson Borges, (2012)

Todas as vigas foram confeccionadas sobre cavaletes em aço, amarradas com arame recozido 18 e com auxílio de uma torquês. Levando aproximadamente 15 minutos para amarrar cada viga com estribos verticais e 25 minutos para amarrar cada viga com os estribos contínuos.

A Figura 5 ilustra as vigas após sua confecção.

Figura 05- Vigas com estribos verticais



Vigas com estribos contínuos



Fonte: Anderson Borges, (2012)

2.2 AVALIAÇÕES DA ABERTURA DAS FISSURAS

Para a medição das aberturas das fissuras foi usado uma régua plástica graduada com aberturas de fissuras que variam entre 0,05 a 1,5 mm, denominada fissurômetro, conforme ilustrado na Figura 6.

Figura 06 – Régua fissurômetro



Fonte: Anderson Borges, (2012)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 CUSTOS DE FABRICAÇÃO DAS VIGAS

Para se optar por um determinado sistema, além de se conhecer tecnicamente deve se levar em conta o custo de manufatura. As tabelas 01 e 02 mostram o custo para fabricação das três vigas de cada tipologia. Para cálculo de mão de obra foi considerado um ajudante de ferreiro com um ganho mensal em folha de R\$ 1.116,00 reais sem considerar os impostos e para uma jornada de trabalho de 220 horas mensais. A mão de obra referente à carpintaria não foi computada sabendo que esta será igual para os dois modelos.

Tabela 01 – Custo para produção das vigas VA, VB e VC

Matérias	Quantidade	un	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Mão de obra (ferreiro)	0,75	h	5,07	3,80
Concreto	0,225	m ³	240,00	54,00
Aço CA-50 e CA-60	34,83	kg	3,18	110,76
TOTAL:				168,56

Fonte: Anderson Borges, (2012)

Tabela 02 – Custo para produção das vigas V01, V02 e V03

Matérias	Quantidade	un	Valor unitário (R\$)	Valor Total (R\$)
Mão de obra (ferreiro)	1,25	h	5,07	6,34
Concreto	0,225	m ³	240,00	54,00
Aço CA-50 e CA-60	33,96	kg	3,18	107,99
TOTAL:				168,33

Fonte: Anderson Borges, (2012)

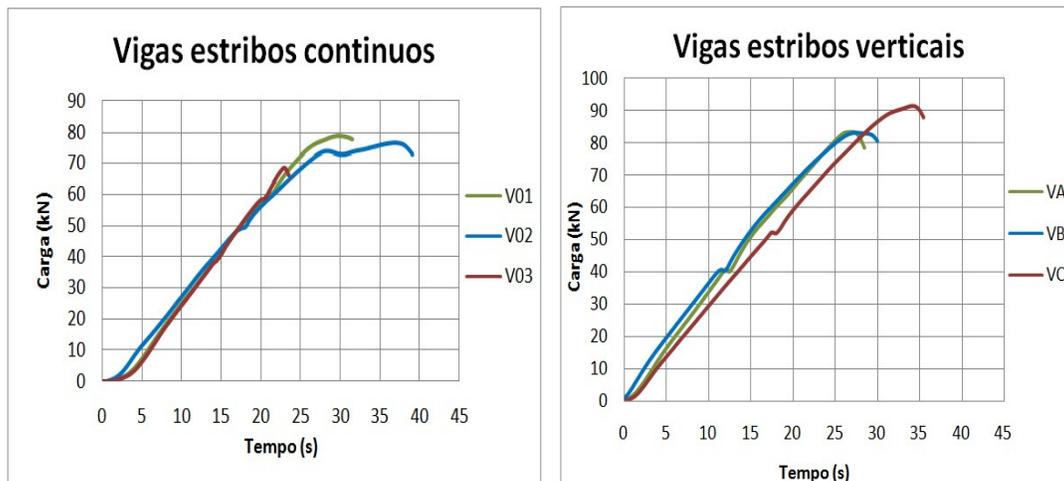
Para deixar as três vigas com estribos verticais prontas, o custo foi de R\$ 168,56 reais, e as de estribos contínuos R\$ 168,33, valores muito semelhantes. Observou-se que nas vigas com estribos contínuos foi gasto 1,68% a menos de aço, porém, o

investimento na mão de obra foi 40,06% maior. Praticamente igualando os valores finais do processo produtivo.

3.2 ENSAIOS DAS VIGAS

Os resultados obtidos relacionando cargas no intervalo de tempo do ensaio estão representados na Figura 07. Pode-se perceber que as vigas dotadas de estribos verticais alcançaram valores superiores em relação àqueles alcançados com os estribos contínuos, atingindo uma carga máxima de 91,45 kN.

Figura 07 – Valores das cargas aplicadas durante o ensaio até a ruptura



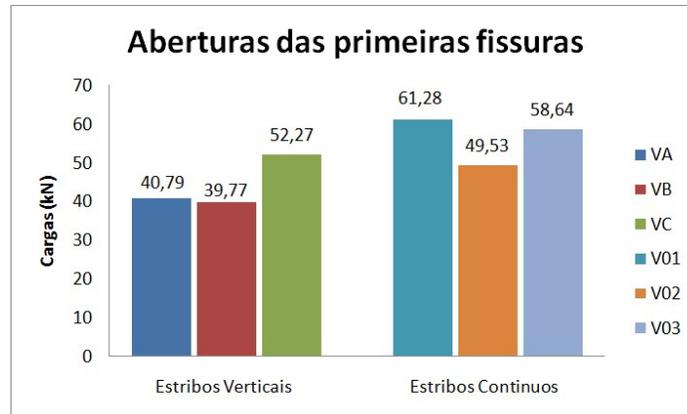
Fonte: Anderson Borges, (2012)

3.3 CARGA PARA APARECIMENTO DA PRIMEIRA FISSURA

Na figura 08, é apresentado o resumo das cargas necessárias para o aparecimento das primeiras fissuras em cada viga. Os resultados demonstram que as vigas com estribos contínuos tiveram uma maior resistência para passar do estágio I (antes da fissuração), para o estágio II ou III (após fissuração).

Na média a carga aplicada nas vigas de estribos contínuos foi 21,61% maior que as cargas aplicadas nas vigas de estribos verticais, para o surgimento das primeiras fissuras.

Figura 08 – Cargas necessárias para abertura das primeiras fissuras



Fonte: Anderson Borges, (2012)

3.4 MODOS DE RUPTURA

Conforme objetivo proposto neste trabalho ficou evidente que a ruptura de todas as vigas, ocorreu na armadura transversal (estribos), isso ficou caracterizado pelas fissuras de cisalhamento no concreto na direção das trajetórias de compressão, originando elementos inclinados, bielas de compressão. Estas bielas que tem o papel de absorverem os esforços de compressão, ficando para os estribos o papel de absorver os esforços inclinados de tração. As fissuras se localizavam na região da carga concentrada indo para o apoio de maior solicitação, e forma um ângulo entre 30° a 45° em relação à armadura longitudinal das vigas conforme figura 9.

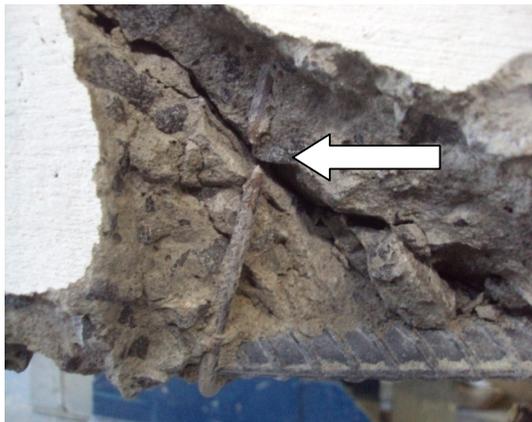
Observou-se que a ruptura (escoamento) no aço dos estribos contínuos ocorreram entre 3 cm a 6 cm acima das dobras nos modelos observados, conforme podem ser visto no detalhe da ruptura na figura 10. Nas vigas com estribos verticais as rupturas ocorreram nas dobras dos estribos conforme figura 11, possivelmente por ser a região mais frágil dos estribos verticais. Não houve fissuras referentes à flexão, visto que as armaduras foram superdimensionadas na etapa de confecção das vigas.

Figura 09 – Modo de ruptura



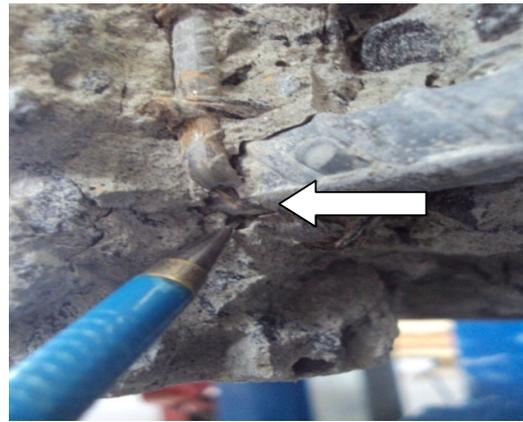
Fonte: Anderson Borges, (2012)

Figura 10 – Detalhe da ruptura
Estribos contínuos V01



Fonte: Anderson Borges, (2012)

Figura 11 – Detalhe da ruptura
Estribos verticais VA



Fonte: Anderson Borges, (2012)

Ainda sobre a ruptura, pode ser observado que nas vigas V02, V03, VB, VC na zona comprimida do concreto, as tensões de compressão fizeram com que a armadura porta estribos se deformasse perdendo a aderência com o concreto e arrancando a camada de concreto que a cobria como pode ser observado na Figura 12.

Figura 12 – Detalhe do deslocamento da armadura porta estribo V02



Fonte: Anderson Borges, (2012)

3.5 CARGAS E FISSURAS NA RUPTURA

Conforme a metodologia já descrita, foi aplicada uma carga crescente de forma lenta até a ruptura. Com o aumento do carregamento foi verificada a maior propagação das fissuras, sendo mais acentuadas na área entre a carga e o apoio mais próximo. Observou-se visualmente, que a partir de um determinado momento, durante a aplicação da carga a quantidade de fissuras estabilizou, ou seja, mesmo com o aumento da carga, aumentava somente as aberturas das fissuras existentes, não surgindo nenhuma nova fissura. Esta foi uma observação apenas empírica, não instrumentada. Próximo à ruína, as fissuras de cisalhamento apresentaram grandes aberturas, caracterizando um colapso por força cortante com escoamento da armadura transversal, ocorrendo assim à divisão das vigas em duas partes.

Nas tabelas 03 e 04 pode-se observar o comportamento dos dois modelos de estribos para a carga de ruptura de cada viga, assim como quantidades de fissuras e abertura máxima da mesma.

Tabela 03 – Comportamento das vigas com estribos verticais

Vigas com estribos verticais			
Elementos	Carga de Ruptura (kN)	Quantidade Fissuras (un)	Abertura máx. (mm)
VA	83,29	15	6
VB	83,17	16	15
VC	91,45	19	13
Média	85,97	16,66	11,33
Desvio Padrão	4,75	2,08	4,73

Fonte: Anderson Borges, (2012)

Tabela 04 – Comportamento das vigas com estribos contínuos

Vigas com estribos contínuos			
Elementos	Carga de Ruptura (kN)	Quantidade Fissuras (un)	Abertura máx. (mm)
V01	78,87	13	8
V02	76,77	21	5
V03	68,49	14	5
Média	74,71	16,00	6
Desvio Padrão	5,49	4,36	1,73

Fonte: Anderson Borges, (2012)

A figura, 13 apresenta o panorama das fissuras na ruptura, das vigas VC e V02, respectivamente sendo estas as vigas que apresentaram os maiores números de fissuras.

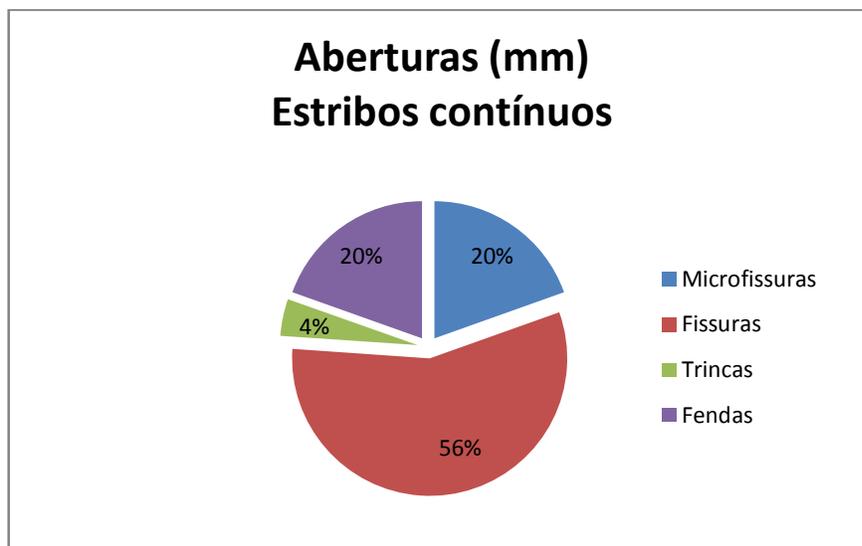
Figura 13 - Panorama das fissuras VC e V02



Fonte: Anderson Borges, (2012)

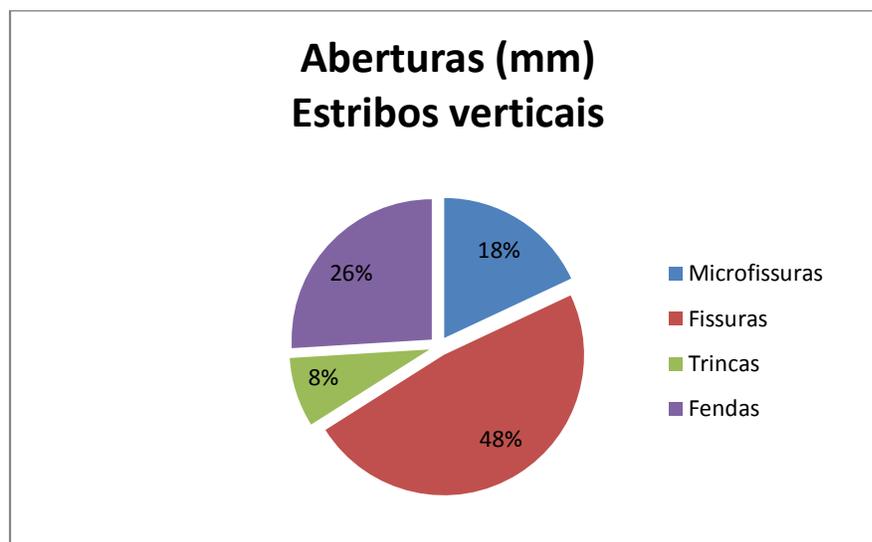
Nas Figuras 14 e 15, é possível observar que os estribos contínuos também tiveram desempenho melhor que os estribos verticais nas aberturas das fissuras. O gráfico distribui as aberturas em microfissuras (aberturas < 0,05mm), fissuras entre (0,05 a 0,5mm), trincas (0,06 a 1,5mm) e fendas (aberturas > 1,5mm). Esse comportamento pode ter ocorrido por este modelo apresentar sempre um ramo de estribo inclinado perpendicular às fissuras, fazendo um tipo de “costura”.

Figura 14 – Distribuição de abertura nas vigas de estribos contínuos



Fonte: Anderson Borges, (2012)

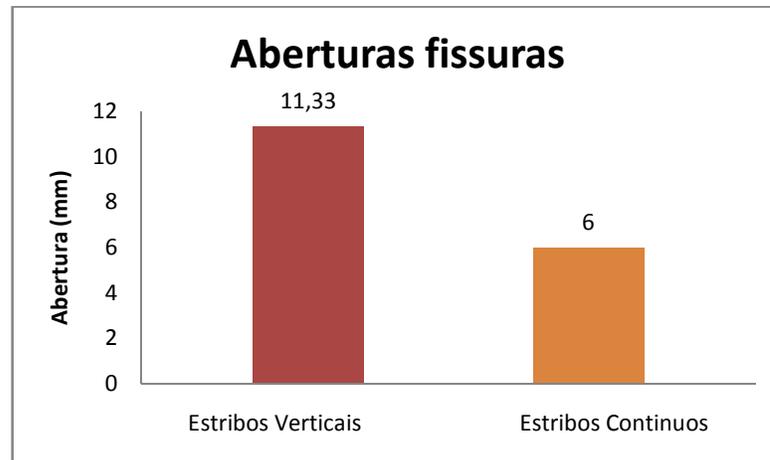
Figura 15 – Distribuição de abertura nas vigas de estribos verticais



Fonte: Anderson Borges, (2012)

A figura 16 mostra que estribos contínuos também tiveram vantagem se analisarmos a média aritmética da abertura máxima de fissuras tendo sua abertura 47,04% menor em relação às vigas com estribos verticais.

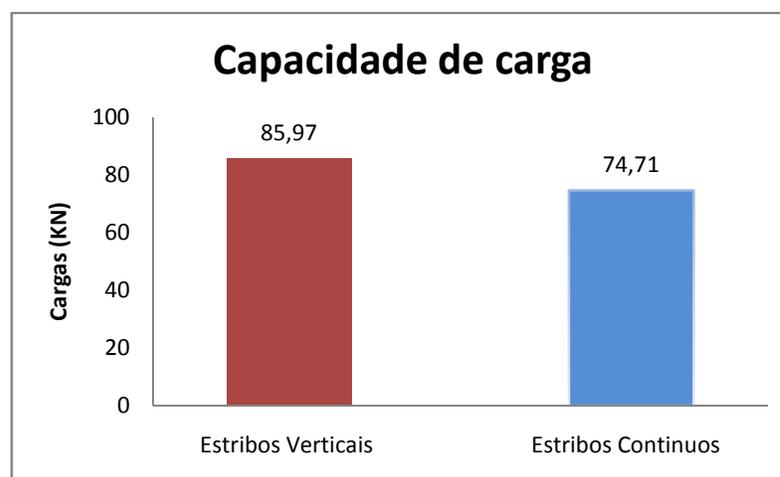
Figura 16 – Comparação da média de abertura máxima de fissuras



Fonte: Anderson Borges, (2012)

Com relação à força resistente, observou-se que ambos os modelos tiveram uma resistência superior a de cálculo. Comparando a média aritmética da capacidade de carga de cada modelo, pode-se observar que os estribos verticais tiveram vantagem suportando uma carga 13,09% maior que as vigas com os estribos contínuos como pode ser verificado na Figura 17.

Figura 17 – Comparação da capacidade de carga média de cada modelo



Fonte: Anderson Borges, (2012)

4. CONCLUSÕES

Com a análise realizada para os dois tipos de armaduras para combate ao esforço cisalhante encontradas no mercado, foi possível mostrar que ambos os modelos se mostraram satisfatórios, tendo em vista que todas as vigas tiveram seu valor de ruptura acima do determinado em cálculo.

Pode-se dizer que as vigas com estribos contínuos tiveram uma pequena vantagem sobre as vigas de estribos verticais, em relação à abertura de fissuras visto que este modelo teve maior resistência para o aparecimento das primeiras fissuras, influenciando diretamente nas quantidades e principalmente na abertura máxima, sabendo que as primeiras fissuras a aparecer foram as que tiveram as maiores aberturas para os dois modelos. A forma de ruptura foi semelhante em ambos os modelos analisados. No entanto os estribos verticais apresentaram o valor da carga de ruptura 13,09% superior as vigas de estribos contínuos. Economicamente, as vigas com estribos contínuos tiveram uma economia de 1,68% no material porém um custo final 40,06% maior na sua mão de obra. Ainda assim foram 0,13% mais econômicas que as vigas de estribos verticais. Vale ressaltar que estes resultados foram obtidos para um número de ensaios relativamente pequeno.

Nota-se importante o estudo de diferentes formas de sistemas estruturais, pois utilizando sempre aquele modelo tradicional e mais fácil de execução, não se tem a oportunidade de conhecer outros métodos. Assim esta pesquisa mostra que os modelos têm comportamentos semelhantes relacionados a custo e benefício e está adequada para combater os esforços de cisalhamento, considerando que os elementos estruturais não são dimensionados para chegar à ruptura, concluí-se que os estribos contínuos são mais eficientes, visto que este modelo apresentou melhores resultados quanto ao aparecimento de fissuras.

5. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Projeto de Estruturas de Concreto Armado – procedimento: NBR 6118**. Rio de Janeiro, ABNT, 2003

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Barras e fios de aço destinados a armaduras para concreto armado: NBR 7480** Rio de Janeiro ABNT, 1996.

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

ARAÚJO, José Milton de. **Curso de concreto armado**. Rio Grande do Sul, RS: Editora DUNAS, 2003.

BOTELHO, Manoel Henrique Campos; MARCHETTI, Osvaldemar. **Concreto armado, eu te amo**. São Paulo: Edgard Blocher, 2004 V2.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e Detalhamento de Estruturas Usuais de Concreto Armado**. Segundo a NBR 6118:2003. 3ed., São Carlos, SP: Editora da EDUFSCar, 2009.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Técnica de armar as estruturas de concreto**. São Paulo: PINI, 1994.

PFEIL, Walter. **Concreto armado 3 – dimensionamento**. 4 ed. Livros Técnicos e científicos, editora: São Paulo, 1984.

PINHEIRO, Libânio M.; MUZARDO, Cassiane D.; SANTOS, Sandro P. **Fundamentos do Concreto e Projeto de Edifícios**. (Apostila), São Paulo, Universidade de São Carlos, 2003.

LEITE JR, Geraldo Silveira; FERNANDES, Gilson Battiston ; MORENO JR, Armando Lopes. **Vigas de Concreto Sob Cargas Concentradas Próximas dos Apoios**. Artigo 45º Congresso Brasileiro do Concreto. 2004.

LEONHARDT, Fritz; MONNIG, Eduard. **Construções de concreto**. editora interciência, 1982 V1.

https://www.belgo.com.br/solucoes/artigos/pdf/belgo_50_60.pdf. Acesso em 03 março 2012.