

## REFORÇO DE LAJES MACIÇAS UTILIZANDO VIGAS COM CONECTORES DE CISCALHAMENTO

### Strengthening of solid slabs using beams with shear connectors

Helineudes Paiva da Silva<sup>1</sup>, Adelson Bezerra de Medeiros<sup>2</sup>, Dênio Ramam Carvalho de Oliveira<sup>3</sup>

Recebido em 12 de agosto de 2015; recebido para revisão em 27 de agosto de 2015; aceito em 02 de novembro de 2015; disponível on-line em 09 de novembro de 2015.



#### PALAVRAS CHAVE:

Concreto Armado;  
Reforço estrutural;  
Conector de  
ciscalhamento.

#### KEYWORDS:

Reinforcement concrete;  
Structural strengthening;  
Shear connector.

**RESUMO:** Em situações onde o reforço à flexão de lajes maciças de concreto armado exige incremento de resistência à tração, a técnica mais empregada é a fixação de chapas de aço ou tiras de materiais compósitos de fibra de carbono na superfície do concreto. Entretanto, esta técnica exige mão-de-obra especializada e têm custos elevados. Alternativamente, pode-se simplesmente reduzir o vão da laje com a introdução de vigas de concreto armado, com o auxílio de conectores de ciscalhamento na interface laje-viga. Este trabalho apresenta resultados experimentais para três vigas de concreto armado de seção transversal “T” não monolíticas ensaiadas à flexão. Primeiramente foram confeccionadas as mesas com dimensões de (400 x 50 x 1800) mm<sup>3</sup> visando simular trechos de lajes e que, posteriormente, foram ligadas a nervuras com dimensões de (120 x 200) mm<sup>2</sup> utilizando conectores de ciscalhamento, sendo que as principais variáveis do trabalho foram os diâmetros desses conectores objetivando garantir o comportamento satisfatório dessas ligações em situações reais de reforço estrutural. Os resultados mostraram que os conectores funcionaram adequadamente e que as melhores estimativas para a resistência ao ciscalhamento são obtidas quando as mesas são consideradas. A técnica foi empregada com sucesso em um caso prático na cidade de Tucuruí/PA.

**ABSTRACT:** In situations where the flexural strengthening of reinforced concrete solid slabs requires the tensile strength increase, the most used technique is fixing steel plates or carbon fiber composite strips on the concrete's surface. However, this technique requires specialized labor and presents high costs. Alternatively, a simple solution is to reduce the span of the slab introducing reinforced concrete beams with the aid of shear connectors in the slab-beam interface. This paper presents experimental results for three reinforced concrete beams with non monolithic “T” cross sections under flexure tests. First the flange with dimensions (400 x 50 x 1800) mm<sup>3</sup> were casted aiming to simulate slabs strips, which were later attached to ribs with dimensions (120 x 200) mm<sup>2</sup> using shear connectors, and the main variables of the study were the diameters of these connectors trying to ensure the satisfactory behavior of these links in real situations of structural strengthening. The results showed that the connectors worked properly and the best shearing resistance estimates are obtained when the whole flange is considered. This technique was successfully applied in a practical case in the city of Tucuruí / PA.

#### \* Contato com os autores:

<sup>1</sup> e-mail: [paivatuc@hotmail.com](mailto:paivatuc@hotmail.com) ( H. P. da Silva )

Engenheiro Civil, Mestrando do Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal do Pará (UFPA).

<sup>2</sup> e-mail : [medeiros@ufpa.br](mailto:medeiros@ufpa.br) ( A. B. de Medeiros )

Engenheiro Civil, Doutor, Professor Adjunto do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Pará (UFPA).

<sup>3</sup> e-mail : [denio@ufpa.br](mailto:denio@ufpa.br) ( D. R. C. de Oliveira )

Engenheiro Civil, Doutor, Professor Associado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil - Universidade Federal do Pará (UFPA).

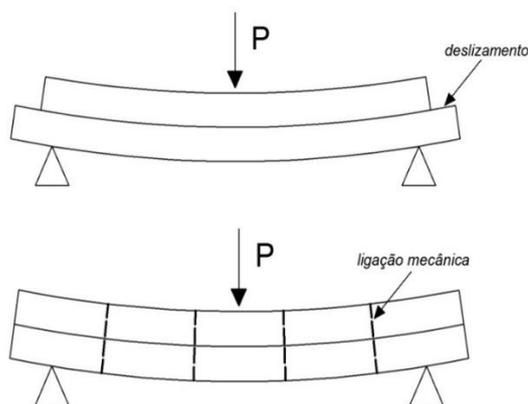
## 1. INTRODUÇÃO

Devido ao elevado valor do peso específico do concreto, as lajes maciças acabam sendo responsáveis pela maior parcela de carga atuante em uma edificação. Para Clímaco (2008) uma execução deficiente, principalmente quanto às fôrmas e escoramentos, pode resultar em valores bem superiores, devido à necessidade de uma maior espessura de contra piso e nivelamento do piso. A falta de projetos estruturais, ou mesmo uma avaliação errônea das cargas, pode subestimar a ação das forças atuantes a ponto de serem gerados deslocamentos transversais inaceitáveis, prejudicando a sensação de segurança do usuário. Estes deslocamentos, devido à baixa rigidez da estrutura, podem surgir ainda em virtude de dois fenômenos: retração e fluência (deformação lenta do concreto), sendo que a retração ocorre independente das ações atuantes, incidindo mais intensamente no concreto fresco, mas podendo ocorrer em idades mais avançadas em função das condições climáticas.

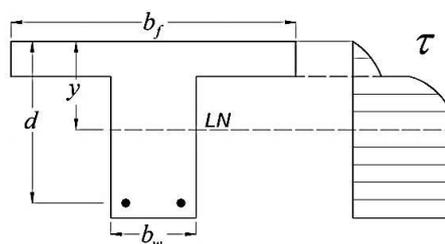
Para Mehta (1994), os mecanismos responsáveis pela fluência da pasta também são responsáveis por retração, uma vez que a fluência se dá quando uma ação externa é aplicada à estrutura e gera esforços internos que direcionam o movimento da água retida nos poros capilares e da água absorvida fisicamente. Considerando o estado de uma estrutura em concreto armado, pode-se dizer que dois fatores são sugestivos de reforço: estados limites (serviço e utilização) alcançados ou prevenção, adequando a estrutura à adição de cargas. Para Oliveira (2003), o desempenho da estrutura em serviço é satisfatório quando, em condições normais de utilização, a mesma não transmita ao usuário qualquer tipo de desconforto. Fissuração e flechas excessivas podem ser sinais visíveis de problemas relacionados à segurança da estrutura. Por outro lado, uma estrutura bem dimensionada deve apresentar tais sinais sob utilização indevida. Ainda de acordo com o autor, comportamentos fora dos padrões especificados, tais como vibração, fissuração e flechas excessivas, bem como

recalques diferenciais elevados, são indícios de uma estrutura que já atende mais o estado limite de utilização.

Segundo Clímaco (2008), para que as seções de uma viga submetida à flexão pura permaneçam planas, a aderência entre a armadura e o concreto deve garantir a compatibilidade de deformações. Fusco (1976) apresenta uma analogia com o comportamento de vigas compostas por peças de madeira superpostas e solicitadas no meio do vão, como mostrado na Figura 1. Verifica-se nesta figura que a ligação mecânica é responsável pelo trabalho solidário das peças superpostas, minimizando os deslocamentos horizontais e até mesmo os verticais devido ao ganho de rigidez e menores rotações nos apoios. Clímaco (2008) acrescenta que a variação da largura,  $b_w$ , da seção altera a distribuição de tensões tangenciais, exemplificada em uma seção T mostrada na Figura 2.



**FIGURA 1:** Influência da ligação mecânica.  
**FONTE:** Próprio autor (2015)



**FIGURA 2:** Distribuição de tensões cisalhantes em uma seção transversal T. **FONTE:** Próprio autor (2015).

## 2. RECOMENDAÇÕES NORMATIVAS

### 2.1 VERIFICAÇÕES DE VIGAS DE SEÇÃO T

Para vigas com seção transversal "T", a

NBR 6118 (ABNT, 2007) permite adotar como largura colaborante da mesa  $b_f$ , a largura da viga  $b_w$  acrescida de no máximo 10% da distância a entre pontos de momento fletor nulo, para cada lado da viga em que haja laje colaborante e quando a ação conjunta de lajes e vigas não for considerada no dimensionamento da estrutura. Estas vigas podem ser analisadas de duas formas, em função da posição da linha neutra. Quando a linha neutra está localizada na nervura, o procedimento de análise

recomendado na literatura é o mostrado na Figura 3. As Equações 1 a 7 podem então ser utilizadas para determinação do momento fletor resistente das vigas com seção transversal "T", onde o plano neutro se situa abaixo da mesa. Quando a linha neutra se encontra no plano da ligação entre mesa e alma, ou acima, o procedimento de verificação é o mesmo recomendado para vigas de seção transversal retangular, mas com largura  $b_f$ .

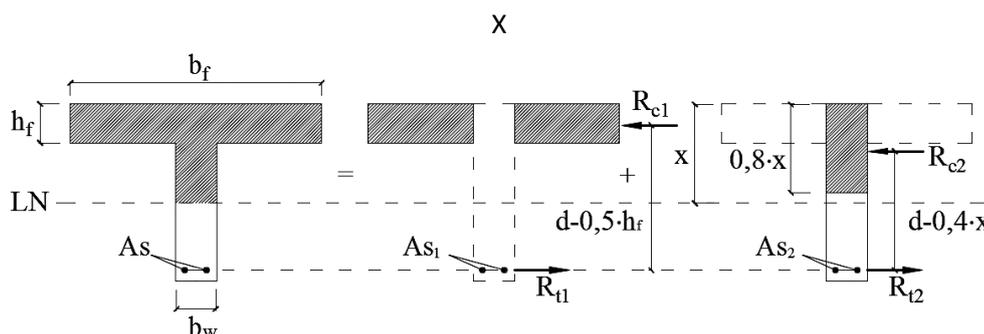


FIGURA 3: Procedimento de análise de vigas de seção "T". FONTE: Próprio autor (2015).

$$M_{abas} = R_{c1} \cdot z_1 \quad \text{Eq. [1]}$$

$$x = \frac{A_s \cdot f_s}{0,8 \cdot 0,85 \cdot f_c \cdot b_f} \quad \text{Eq. [2]}$$

$$M_{abas} = 0,85 \cdot f_c \cdot h_f \cdot (b_f - b_w) \cdot (d - 0,5 \cdot h_f) \quad \text{Eq. [3]}$$

$$M_{nervura} = R_{c2} \cdot z_2 \quad \text{Eq. [4]}$$

$$M_{nervura} = 0,8 \cdot 0,85 \cdot x \cdot f_c \cdot (d - 0,4 \cdot x) \quad \text{Eq. [5]}$$

$$A_s = \frac{M_{abas}}{(d - 0,5 \cdot h_f) \cdot f_c} + \frac{M_{alma}}{(d - 0,4 \cdot x) \cdot f_s} \quad \text{Eq. [6]}$$

$$M_R = M_{abas} + M_{nervura} \quad \text{Eq. [7]}$$

#### Em que:

- $A_s$  é a área necessária de armadura;
- $f_s$  é a tensão atuante no aço;
- $f_c$  é a resistência à compressão do concreto;
- $b_f$  é a largura da mesa;
- $d$  é a altura útil da seção transversal;
- $b_w$  é a largura da nervura.

Para estimar a capacidade resistente ao cisalhamento de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2007), tanto a diagonal comprimida quanto a zona tracionada são consideradas satisfatórias quando se verificam as condições apresentadas pelas Equações 8 e 9, com o modelo de cálculo I, que fornece os menores valores estimados.

Considerando o modelo de cálculo adotado e de acordo com a NBR 6118 (ABNT, 2007),  $V_c = V_{c0}$  na flexão simples e na flexo-tração com a linha neutra cortando a seção. Tem-se então a contribuição de cálculo do concreto ao cisalhamento expressa pela Equação 10.

### 3. PROGRAMA EXPERIMENTAL

Foram ensaiadas 3 vigas de seção transversal T não monolítica visando representar ligações laje-viga retangular onde a viga é conectada posteriormente à laje com o auxílio de conectores de cisalhamento, simulando uma situação de reforço com a inserção de uma viga para redução do vão da laje e, conseqüentemente, dos esforços solicitantes. As mesas e nervuras (vigas retangulares) ensaiadas foram moldadas separadamente e depois solidarizadas sem

qualquer tratamento superficial (escarificação) e suas dimensões são mostradas na Figura 4, que foram as dimensões utilizadas para estimar a resistência teórica de todas as vigas. A armadura de flexão da nervura apresentou 6 barras de aço CA-50 com diâmetro de 12,5 mm distribuídas em duas camadas, espaçadas de 20 mm. As armaduras das mesas das vigas T foram compostas por barras de 5,0 mm de diâmetro em aço CA-60 espaçadas ao longo do eixo longitudinal de 150 mm e de 100 mm paralelamente ao mesmo eixo. As armaduras de cisalhamento utilizadas nas nervuras foram iguais, sendo compostas por estribos de 5,0 mm de diâmetro espaçados de 120 mm. O cobrimento de concreto nas faces da nervura e na face inferior da mesa foi de 10 mm, resultando em uma altura útil de 212,5 mm, dentro de uma altura total da seção de 250 mm. A Figura 5 mostra detalhes das armaduras das mesas e nervuras das vigas.

$$V_{Rd2,I} = 0,27 \cdot \left(1 - \frac{f_{ck}}{250}\right) \cdot f_{cd} \cdot b_w \cdot d \quad \text{Eq. [8]}$$

$$V_{Rd3,I} = V_c + \left(\frac{A_{sw}}{s}\right) \cdot 0,9 \cdot d \cdot f_{ywd} \cdot (\sin \alpha + \cos \alpha) \quad \text{Eq. [9]}$$

$$V_c = V_{c0} = 0,09 \cdot f_{ck}^{2/3} \cdot b_w \cdot d \quad \text{Eq. [10]}$$

#### Em que:

$f_{ck}$  é a resistência à compressão característica do concreto;  
 $f_{cd}$  é a resistência à compressão de cálculo do concreto;  
 $A_{sw}$  é a área da seção transversal da armadura de cisalhamento;

$f_{ywd}$  é a tensão de escoamento de cálculo da armadura de cisalhamento, limitada a 435 MPa;  
 $\alpha$  é a força cortante resistente de cálculo para as diagonais comprimidas do concreto.

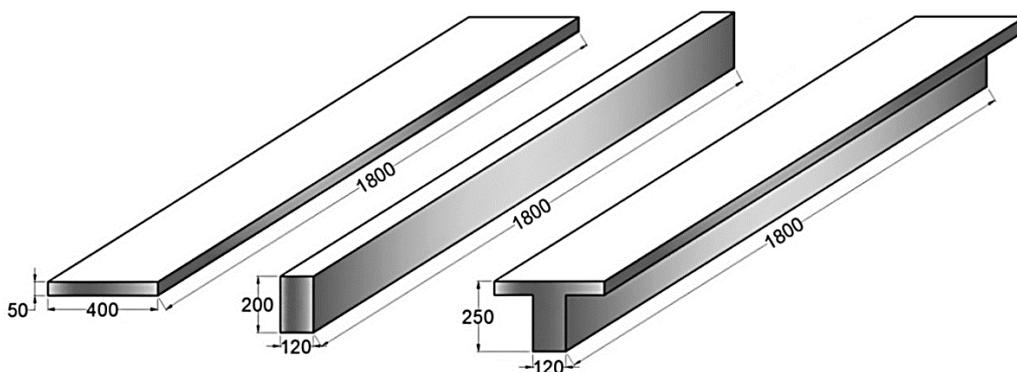


FIGURA 4: Dimensões das vigas “T” não monolíticas. FONTE: Próprio autor (2015).

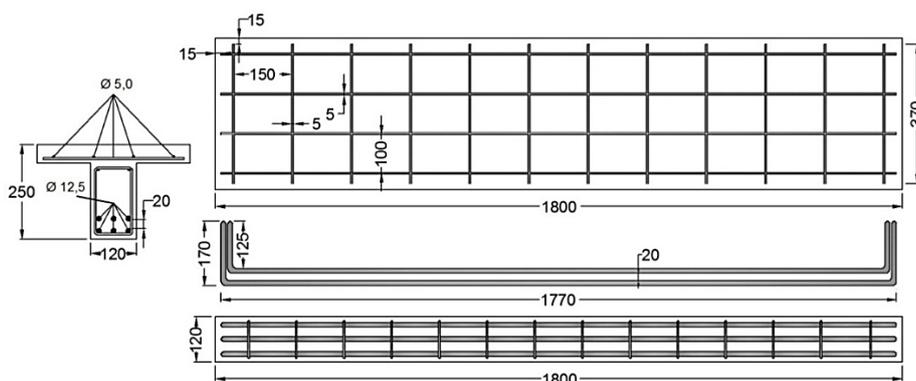


FIGURA 5: Detalhes das armaduras. FONTE: Próprio autor (2015).

Na Figura 6 são mostrados os três passos consecutivos para confecção das seções transversais “T” não monolíticas, uma vez que houve um intervalo de 30 dias entre a execução dos passos 1 e 3. Confeccionou-se inicialmente a mesa e posteriormente foram realizados pares de furos ao longo de seu eixo longitudinal, onde mais tarde foram embutidos os conectores de cisalhamento. As vigas VT-01, VT-02 e VT-03 receberam conectores de cisalhamento com diâmetros de 6,3, 8,0 e 10,0 mm, respectivamente. Todos os conectores partem da face superior da mesa, onde o trecho de 50 mm correspondente é fixado ao concreto com aplicação de adesivo estrutural à base de resina epóxi.

Os conectores adentraram 150 mm nas nervuras, onde a aderência entre aço e concreto é garantida unicamente pela resistência do concreto endurecido, curado até os 28 dias para garantir uma boa ancoragem. Ressalta-se que o diferencial entre as vigas T ensaiadas foi basicamente o diâmetro dos conectores, sendo o vão de cálculo igual a 1.600 mm e as demais características comuns a todas as vigas. Na Figura 7 são mostrados os espaçamentos entre eixos de conectores, que se afastam em 150 mm no sentido longitudinal e 47,5 mm no sentido perpendicular ao comprimento da viga, independente dos diâmetros dos mesmos. A Tabela 1 resume as informações apresentadas.

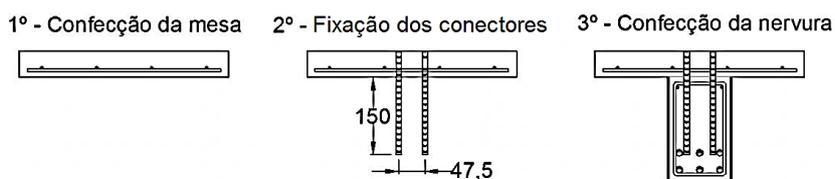


FIGURA 6: Sequência para confecção das vigas T não monolíticas. FONTE: Próprio autor (2015).

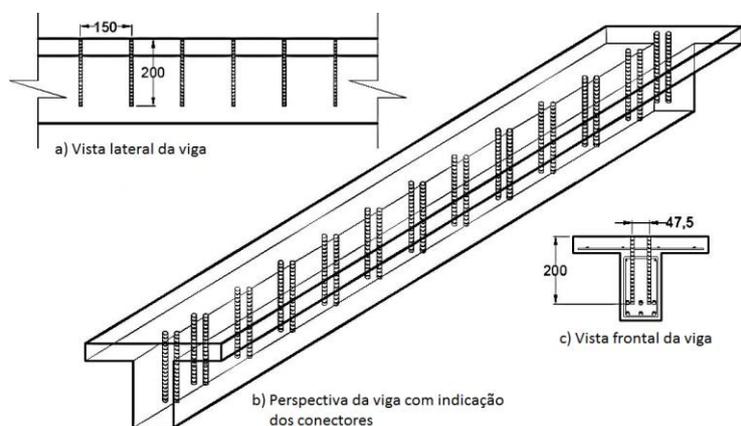


FIGURA 7: Posicionamento dos conectores de cisalhamento nas vigas. FONTE: Próprio autor (2015).

TABELA 1: Armaduras das vigas.

Viga T	Flexão	Cisalhamento	Conectores
VT-01			26 Ø 6,3
VT-02	6 Ø 12,5	Ø 5,0c120	26 Ø 8,0
VT-03			26 Ø 10,0

### 3.1 SISTEMA DE ENSAIO E INSTRUMENTAÇÃO

Para a realização dos ensaios foi utilizado um pórtico para reagir aos esforços gerados pelo cilindro hidráulico, o qual transferiu para as vigas analisadas duas forças iguais e equidistantes dos apoios (ensaio de Stuttgart). As vigas foram apoiadas em aparelhos específicos e distantes 100 mm das extremidades das nervuras. Foram utilizados extensômetros elétricos de resistência para monitoramento das deformações do concreto e do aço no meio do vão, posicionados na superfície superior da mesa e em uma barra da armadura de flexão, respectivamente. Os deslocamentos verticais foram monitorados com o auxílio de um deflectômetro analógico posicionado sob a viga e no meio do vão, de acordo com a Figura 8.

## 4. RESULTADOS

### 4.1 MATERIAIS (CONCRETO, AÇO E ADESIVO ESTRUTURAL)

O concreto utilizado foi dosado com cimento Portland CII-Z 32. A resistência à compressão ( $f_{c28}$ ) foi obtida de acordo com a NBR 5739 (ABNT 2007), por meio de ensaios em corpos-de-prova cilíndricos aos 28 dias de idade, moldados

e curados obedecendo às recomendações da NBR 5738 (ABNT, 2003). A Tabela 2 apresenta as resistências médias dos concretos e módulos de elasticidade. Os módulos de elasticidade ( $E_{cs}$ ) foram estimados de acordo com o CEB-FIP MC90 [8], empregando a equação (11), que usa a equação (12) para a obtenção da resistência média  $f_{cm}$  a partir da resistência característica  $f_{ck}$ , aqui igualada a  $f_{c28}$ . O módulo de elasticidade secante ( $E_{cs}$ ) é dado, então, conforme equação (13). Já resistência à tração ( $f_{ctm}$ ) foi estimada com a equação (14), também recomendada pelo CEB-FIB MC90 (1993)

Foram aleatoriamente retiradas 3 amostras de cada lote de barras de aço utilizadas nas armaduras para caracterização através de ensaios de tração axial, seguindo as recomendações da NBR ISO 6892 (ABNT, 2002). As amostras ensaiadas apresentaram os valores médios apresentados na Tabela 3. A fixação dos conectores de cisalhamento nas mesas foi realizada com a aplicação o adesivo SIKADUR 32, um produto da marca SIKA, que é um adesivo estrutural à base de resina epóxi de média viscosidade, bi componente e de pega normal, especialmente formulado para ancoragens em geral e união de concreto velho com concreto novo. Os adesivos de base epóxi são polímeros fornecidos em dois componentes: monômero e catalisador. A vida útil da mistura é de aproximadamente 35 minutos, porém as curas inicial e final ocorrem apenas após 5 horas e 7 dias, respectivamente. Após a cura final, estima-se a resistência à compressão em aproximadamente 60 MPa. A Figura 9 mostra os conectores de cisalhamento posicionados ao longo da mesa.

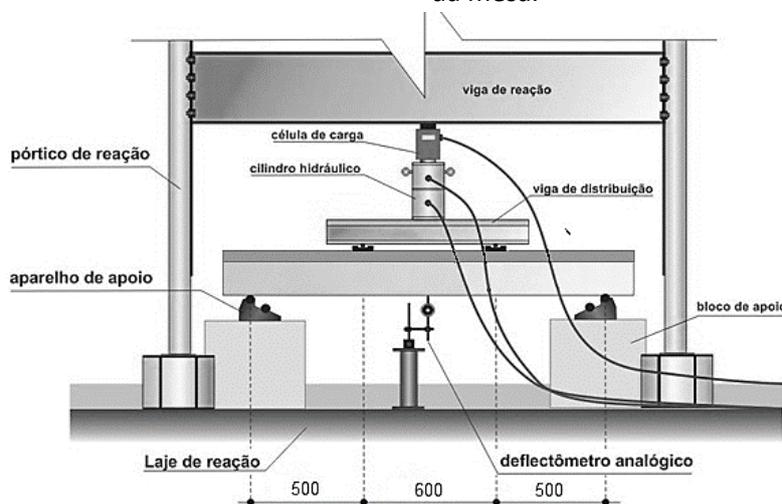


Figura 8: Sistema de ensaio. FONTE: Próprio autor (2015).

$$E_c = 21.500 \cdot \left( \frac{f_{cm}}{10} \right)^{1/3} \quad \text{Eq. [11]}$$

$$f_{cm} = f_{ck} + 8 \quad \text{Eq. [12]}$$

$$E_{cs} = 0,85 \cdot E_c \quad \text{Eq. [13]}$$

$$f_{ctm} = 1,40 \cdot \left( \frac{f_{ck}}{10} \right)^{2/3} \quad \text{Eq. [14]}$$

TABELA 2: Propriedades mecânicas do concreto.

Utilização	$f_{c28}$ (MPa)	$f_{ctm}$ (MPa)	$E_{cs}$ (GPa)
Mesa	40	3,5	30,8
Nervura	23	2,4	26,6

TABELA 3: Propriedades mecânicas dos aços.

$\phi$ (mm)	$f_{ys}$ (MPa)	$\epsilon_{ys}$ (‰)	$E_s$ (GPa)
5,0	565	4,9	191,5
6,3	570	4,3	242,6
8,0	555	2,7	201,8
10,0	565	2,4	230,6
12,5	570	2,3	247,8



FIGURA 9: Conectores de cisalhamento fixados na mesa com adesivo estrutural.  
 FONTE: Próprio autor (2015).

## 4.2 DESLOCAMENTOS VERTICAIS

A Figura 10 mostra as curvas obtidas para os deslocamentos verticais observados experimentalmente. Nota-se que houve pouca variação nos valores das flechas entre as vigas ensaiadas para a maioria dos incrementos de carga no sistema de ensaio, independente do diâmetro dos conectores de cisalhamento. Satisfatoriamente, não se observou deslocamentos horizontais, não sendo também observadas fissuras de orientação horizontal ou qualquer outra ao longo da ligação mesa-nervura.

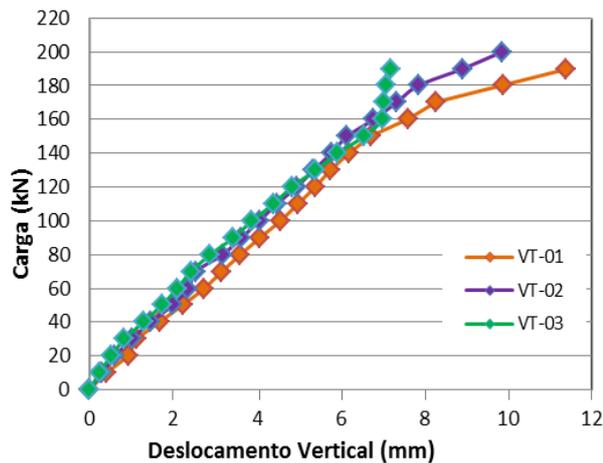
## 4.3 DEFORMAÇÕES

As armaduras de flexão das nervuras apresentaram deformações finais menores que a de escoamento (2,3‰), sendo que os maiores

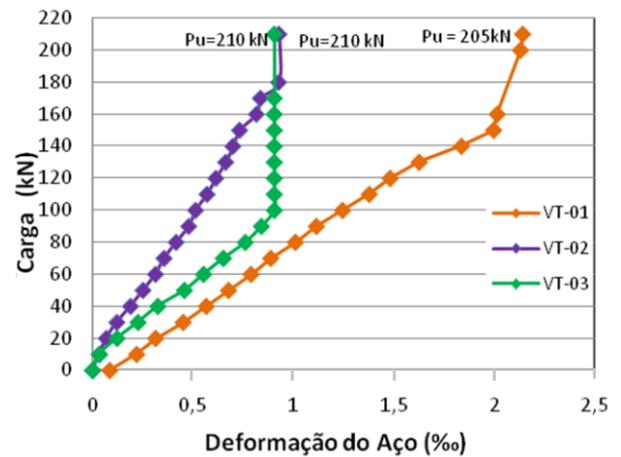
valores foram observados para a viga VT-01, como mostra a Figura 11, onde também se observa que o extensômetro da viga VT-03 não registrou deformações para carregamentos acima de 100 kN. As deformações do concreto das mesas também foram maiores para esta viga, seguidas das deformações das vigas VT-02 e VT-03, como mostra a Figura 12. Entretanto, não é possível afirmar que houve influência dos conectores de cisalhamento nas deformações das Figuras 11 e 12, uma vez que os deslocamentos e deformações destes conectores não foram monitorados.

## 4.4 CARGAS ÚLTIMAS E MODOS DE RUPTURA

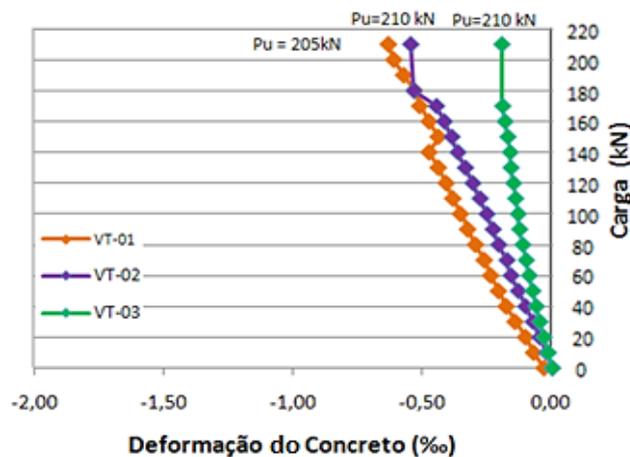
Na Tabela 4 são apresentados os resultados obtidos para as cargas de escoamento das armaduras longitudinais de tração ( $P_{flex}$ ) a partir do momento resistente da seção transversal e as de



**FIGURA 10:** Deslocamentos verticais das vigas.  
**FONTE:** Próprio autor (2015).



**FIGURA 11:** Curva carga-deformação das armaduras de flexão das nervuras.  
**FONTE:** Próprio autor (2015).



**FIGURA 12:** Curva carga-deformação do concreto das mesas das vigas.  
**FONTE:** Próprio autor (2015).

cisalhamento ( $V$ ) considerando os estribos e conectores, todas estimadas considerando uma seção T monolítica, e as cargas experimentais ( $V_u$ ). Todas estas cargas se referem aos carregamentos provenientes do cilindro hidráulico e registrados na célula de carga. Devido à resistência do concreto das mesas ter alcançado 40 MPa, os planos neutros se localizaram nas mesas e a resistência à flexão considerou a largura da mesa, 400 mm. Os modos de rupturas das vigas foram iguais, cisalhamento na nervura, sem seccionamento das mesas. Seguindo as recomendações de Branco [10], foram consideradas nas estimativas de resistência ao cisalhamento não somente a contribuição das nervuras ( $V_1$ ) com estribos e altura útil de

162,5 mm, mas também a das mesas das vigas ( $V_2$ ) com conectores, assim como a contribuição dos conectores nas nervuras sem ( $V_3$ ) e com ( $V_4$ ) a colaboração das mesas com conectores. Nota-se que sem a consideração das mesas, as estimativas normativas ( $V_1$ ) são as mais baixas e os melhores resultados são encontrados quando as mesas são consideradas ( $V_2$ ). As estimativas considerando a contribuição dos conectores de cisalhamento nas nervuras ( $V_3$  e  $V_4$ ) tenderam a ser contra a segurança, já que as cargas últimas experimentais foram praticamente iguais. As Figuras 13 a 15 mostram o aspecto das vigas após os ensaios. Não foram verificadas fissuras horizontais ao longo das ligações mesa-nervura das vigas.

TABELA 4: Cargas estimadas e de ruptura.

Viga	$P_{flex}$ (kN)	$V_1$ (kN)	$V_2$ (kN)	$V_3$ (kN)	$V_4$ (kN)	$V_u$ (kN)	$V_u/P_{flex}$	$V_u/V_1$	$V_u/V_2$	$V_u/V_3$	$V_u/V_4$
VT-01			200,5	164,4	267,6	205,0	0,61	2,11	1,02	1,25	0,77
VT-02	334,0	97,3	212,6	203,9	319,2	210,0	0,63	2,16	0,99	1,03	0,66
VT-03			231,0	263,8	397,6	210,0	0,63	2,16	0,91	0,80	0,53

FONTE: Próprio autor (2015).



FIGURA 13: Carga  $V_u$  e modo de ruptura da viga VT – 01.  
FONTE: Próprio autor (2015).



Figura 14: Carga  $V_u$  e modo de ruptura da viga VT – 02.  
FONTE: Próprio autor (2015).



Figura 15: Carga  $V_u$  e modo de ruptura da viga VT – 03.  
FONTE: Próprio autor (2015).

#### 4.5 EXEMPLO DE APLICAÇÃO

A Figura 16 mostra a seqüência de um reforço estrutural preventivo realizado na cidade de Tucuruí – PA, onde diversas lajes de uma edificação foram reforçadas com a introdução de vigas para diminuir seus vãos e evitar o surgimento de esforços e flechas excessivas quando em serviço, uma vez que foram detectados erros de projeto e constatada a baixa resistência à compressão do concreto aplicado na estrutura. Na figura é possível observar algumas lajes a serem reforçadas, conectores de cisalhamento para viga de reforço ancorados na laje existente, as armaduras longitudinais da viga de reforço transpassando as vigas existentes, o aspecto final da superfície inferior das lajes reforçadas juntamente com um detalhe mostrando os sulcos que receberam barras de aço perpendiculares às vigas de reforço para combater momentos fletores negativos que surgiram na laje devido à introdução de um novo apoio (viga de reforço). Os conectores utilizados foram de 12,5 mm espaçados de 300 mm no sentido longitudinal à maior dimensão da viga de reforço e 100 mm no sentido transversal. Observa-se também que a superfície das vigas existentes foi escarificada para melhorar a aderência com o novo concreto. Ainda nesta ligação viga-viga, a aderência das barras longitudinais da viga de reforço nas paredes dos furos da viga existente foi garantida com a utilização de adesivo estrutural.



FIGURA 16: Aplicação da técnica de reforço de laje com vigas adicionais. FONTE: Próprio autor (2015).

## 5. CONCLUSÕES

Os resultados experimentais mostraram que as vigas T romperam por cisalhamento nas nervuras sem atingir o carregamento previsto para escamento de suas armaduras longitudinais de tração. As estimativas normativas para a resistência ao cisalhamento foram conservadoras quando consideraram apenas as nervuras das vigas, mas foram precisas quando as mesas foram consideradas. Quando levaram em conta os conectores nas nervuras, sem ou com a consideração das mesas, os resultados tenderam a superestimar as resistências ao cisalhamento, indicando que os ganhos de resistência advindos dos conectores não foram proporcionais ao aumento de suas seções transversais e podem ter sido limitados à ancoragem inadequada ou insuficiente. De modo geral, o comportamento das ligações foi satisfatório, pois os conectores trabalharam adequadamente até a ruína das vigas. Assim, conclui-se que a metodologia apresentada no programa experimental mostrou-se viável para solidarizar mesas e nervuras de vigas T não monolíticas, mas também indica a necessidade de

mais experimentos que forneçam bases para o dimensionamento mais preciso dos conectores e de seus espaçamentos visando a otimização estrutural. Quanto à aplicação prática da técnica de reforço em uma edificação, os resultados teóricos foram satisfatórios e uma avaliação no local será realizada quando a estrutura entrar em serviço.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CLÍMACO, J. C. T. S. **Estrutura de Concreto Armado: fundamentos de projeto, dimensionamento e verificação** – 2ª ed. Revisada. Editora Universidade de Brasília: Finatec, Brasília, 2008.
- MEHTA, P. K. **Concreto: estrutura, propriedades e materiais**. São Paulo, 1994.
- OLIVEIRA, D. R. C. **Fundamentos do projeto de estruturas de concreto armado**. Notas de aula da disciplina Tópicos especiais em Estruturas de concreto armado, Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil. Belém: UFPA, 2003.
- FUSCO, P. B. **Estruturas de concreto - Vol. 1 – Fundamentos do Projeto Estrutural**. Editora McGraw Hill do Brasil Ltda, São Paulo, 1976.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5739: Concreto – Ensaio de Compressão de Corpos-de-prova Cilíndricos – Métodos de ensaio.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR-5738: Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos-de-prova.** Rio de Janeiro, 2003.

CEB-FIP 90 COMITÉ INTERNACIONAL DU BETÓN. **Model Code 1990: Final Draft, Buletin D’information.** Lausanne, 1993.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR ISO 6892: Materiais metálicos – Ensaio de tração à temperatura ambiente.** Rio de Janeiro, 2002.

BRANCO, V. H. L. **Resistência ao cisalhamento de vigas “T” de concreto armado: Verificação das longarinas da ponte sobre o rio Sororó.** Dissertação de mestrado. Departamento de Engenharia Civil, Programa de pós-graduação em engenharia civil – PPGEC, Universidade Federal do Pará. Belém – PA, 2011.