

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA CAPACIDADE PORTANTE DE VIGOTAS TRELIÇADAS E PROTENDIDAS UTILIZADAS EM LAJES PRÉ FABRICADAS USUAIS

Filipe Uggioni Pisoni (1); Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense
(1) filipepisoni@hotmail.com; (2) avargas@nesc.net

RESUMO

Dúvidas referentes à escolha do qual sistema construtivo utilizar são cada vez mais frequentes no ramo da engenharia. Dentre elas, podemos citar a escolha da vigota a ser utilizada em lajes pré-moldadas, as quais pode-se ser de concreto armado convencional, protendidas ou treliçadas. O presente trabalho consiste em realizar um estudo comparativo entre vigotas protendidas e treliçadas (com armadura adicional) de 3,00 e 5,00 metros. Para isso, inicialmente foram realizados ensaios pilotos com o objetivo de obter a capacidade portante das vigotas protendidas permitindo desta maneira, ser calculado a armadura extra das treliçadas. Posteriormente, foram submetidas a ensaio de flexão em 4 pontos, 3 vigotas de cada tipo e tamanho, gerando resultados de carga portante na ruptura e no momento de máximo deslocamento ($L/250$) permitido pela NBR 6118:2014. No instante da flecha máxima, as vigotas de 3,00 metros treliçadas apresentaram acréscimo na carga de 11,15% em relação as protendidas e as de 5,00 metros uma redução de 0,38%. Já na ruptura, as treliçadas de 3,00 metros obtiveram aumento na carga de 90,61% enquanto as de 5,00 metros chegaram a 101,13%.

Palavras-Chave: Vigotas treliçadas. Vigotas protendidas. Resistência à flexão.

1 INTRODUÇÃO

No ramo da construção civil como em qualquer outro, é necessário estar sempre inovando para acompanhar o mercado, tanto pela necessidade, como para adequar-se as novas tecnologias que surgem a cada dia. As lajes, por exemplo, podem ser executadas de diferentes formas, dentre as quais pode-se destacar as lajes maciças, lajes mistas e as lajes pré-moldadas. Segundo Bonini (2013, p. 23), “A seleção do tipo mais adequado depende de muitas variáveis, pois além da estrutura resistir aos esforços à ela aplicados, ela deve ser adequada a obra em que for utilizada.”

As lajes ditas pré-moldadas são, na verdade, parcialmente pré-moldadas, pois apesar de seus elementos, vigota e tavela, serem fabricados fora do local à ser utilizado, a sua montagem e concretagem é feita in loco. As vigotas, por exemplo, podem ser classificadas em três tipos: de concreto armado convencional; concreto protendido e treliçadas. Carvalho e Figueiredo Filho (2013, p.64) destacam que “os elementos pré-moldados, nas fases de montagem e concretagem, são os elementos resistentes do sistema e têm capacidade para suportar, além do seu peso próprio, a ação das tabelas, do concreto da capa e de uma pequena carga acidental.”

A vigota forma um conjunto de concreto e aço, onde a união destes dois elementos é realizada com o intuito de que a mesma resista aos esforços de compressão e tração. A protensão feita na fabricação destas vigotas tem o objetivo de melhorar ainda mais essa capacidade. Conforme Pfeil (1988, p.27), “sendo o concreto um material de propriedade tão diferente a compressão e a tração, o seu comportamento pode ser melhorado aplicando-se uma *compressão prévia* (protensão) nas regiões onde as solicitações produzem tensões de tração.” Já nas vigotas treliçadas, uma forma de aumentar a resistência à tração, por exemplo, é adicionar armadura extra. Droppa (1999, p.14) afirma que “as vigotas treliçadas podem ser fabricadas com diferentes quantidades de aço, sendo denominados de armadura adicional que é introduzida na base do concreto pré-moldado da vigota treliçada, com valores especificados pelo projetista.”

Nesse contexto, o presente trabalho tem como objetivo avaliar, através de ensaios de flexão à quatro pontos, a capacidade portante de vigotas treliçadas e protendidas, com os mesmos vãos e cargas atuantes, traçando um paralelo entre elas à partir dos resultados de cargas quando atingir a flecha máxima e a ruptura.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

No presente trabalho foram realizados ensaios de flexão à quatro pontos em 14 vigotas. Desse total, 8 são do tipo protendidas produzidas e disponibilizadas por uma empresa de São José - SC, e outras 6 do tipo treliçadas, projetadas e executadas pelo autor no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas, localizado no Iparque – UNESC

Todos os ensaios de flexão a quatro pontos foram realizados no LEE – Laboratório Experimental de Estruturas, onde foi utilizado o sistema de aquisição de dados

Quantum X®, que utiliza o *software* Catman Easy® da marca HBM®. Ligados a ele, estavam transdutores de deslocamento de 100mm (LVDT) além de uma célula de carga que foi acoplada em um cilindro hidráulico com capacidade de 500 kN sob o pórtico metálico, conforme apresentado na Figura 1.

Figura 1 – Aparato para o ensaio de flexão em 4 pontos

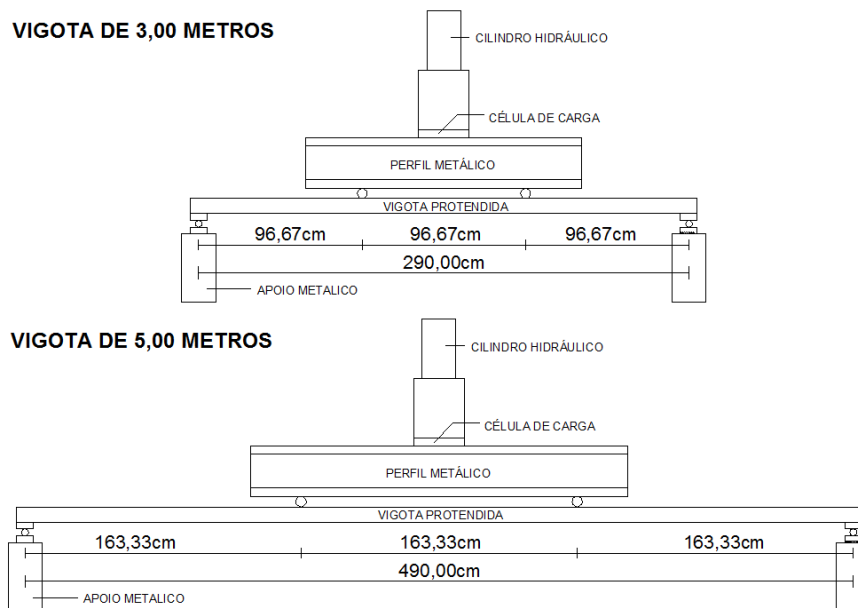


Fonte: Autor, 2016

2.1 ENSAIO PILOTO

Antes da definição final do planejamento experimental da pesquisa, foram submetidas ao ensaio de flexão em quatro pontos, 2 vigotas protendidas, uma de 3,00 metros e outra de 5,00 metros. O objetivo foi de avaliar os resultados de carregamento obtidos na flecha máxima estabelecida pela NBR 6118:2014 e na ruptura, para dimensionar a armadura extra a ser adicionada nas vigotas treliçadas que serão produzidas teoricamente, com a mesma capacidade portante. Para a realização do ensaio, as vigotas foram bi apoiadas, com as cargas aplicadas exatamente a 1/3 de cada uma de suas extremidades, transferidas de uma carga central aplicada por cilindro hidráulico. Após as vigas estarem no local, iniciou-se o carregamento e a medição do deslocamento, até que as mesmas chegassem à ruptura. Os resultados obtidos serviram para, posteriormente, planejar e executar as vigotas treliçadas. A Figura 2 ilustra o esquema utilizado para os ensaios.

Figura 2: Esquema de ensaio das vigotas

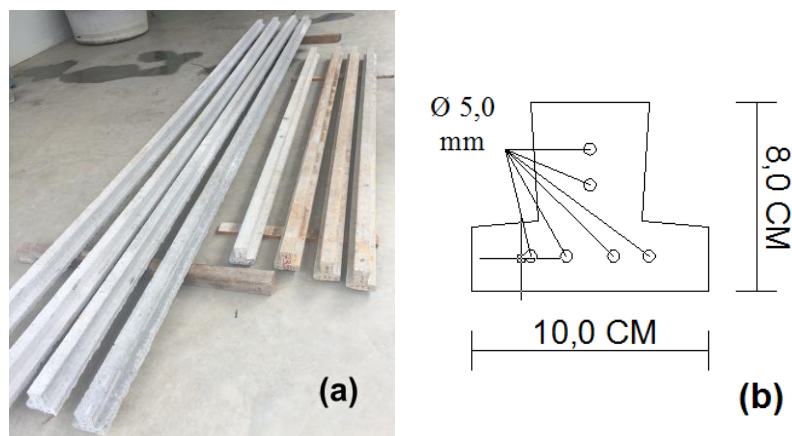


Fonte: Autor, 2016

2.2 VIGOTAS PROTENDIDAS

As vigotas protendidas utilizadas no trabalho foram fabricadas em São José - SC com concreto fck40, equivalente a 40 MPa de resistência a compressão. A Figura 3 apresenta o aspecto das vigotas protendidas, bem como o detalhe da seção transversal.

Figura 3 – Vigotas protendidas (a); Seção transversal das vigotas (b)



Fonte: Autor, 2016

Foram utilizadas quatro unidades com 3,00 metros de comprimento e quatro com 5,00 metros. Algumas de suas principais características, segundo o fornecedor, são: a redução do escoramento e do prazo de conclusão da obra, menor consumo de concreto no capeamento e menor consumo de armadura complementar. Destas vigotas, duas foram ensaiadas por ocasião do ensaio piloto e as demais foram ensaiadas posteriormente gerando resultados já para o estudo comparativo. O procedimento utilizado para todas as vigotas nos ensaios de flexão foi o mesmo adotado no ensaio piloto.

2.3 VIGOTAS TRELIÇADAS

A partir dos resultados obtidos através do ensaio piloto nas vigotas protendidas de 3,00 e 5,00 metros iniciou-se o planejamento e execução das vigotas treliçadas, sendo possível calcular a armadura extra necessária para que atingissem a mesma capacidade portante das primeiras. Estas vigotas foram construídas pelo autor, no laboratório de estruturas localizado no Iparque.

Para a produção das vigotas treliçadas foram utilizadas fôrmas feitas de tabuas de pinus, armaduras de aço CA50, cimento CII 32Z, areia lavada (seca), pedra brita nº 0 – pedrisco (seco) e aditivo. As fôrmas foram produzidas com tabuas de pinus e suas dimensões ficaram com 10 cm de largura por 10cm de altura com 3,00 metros e 5,00 metros de comprimento, respectivamente. Foram produzidas pelo autor no pátio da empresa Pizzoni Materiais de Construção e transportadas até o Iparque juntamente com a armadura e o restante dos materiais para a produção do concreto (areia, brita e cimento) com o auxílio de um caminhão da própria empresa. A armadura utilizada nas vigotas de 5,00 metros foi composta por uma treliça TR08644, com banzo superior de \varnothing 6,3 mm e diagonais e banzos inferiores de \varnothing 4,2 mm juntamente com uma barra de aço \varnothing 12,5 mm como armadura extra, calculada a partir dos ensaios pilotos. Já a armadura das vigotas de 3,00 metros foi composta também pela treliça e mais 3 barras de aço \varnothing 10,0mm como armadura extra. É importante salientar, que apenas os banzos inferiores (2 \varnothing 4,2 mm) foram considerados como área de aço de combate à flexão e para o cálculo da armadura extra, não sendo considerado o efeito da treliça no dimensionamento.

Com as cargas de ruptura encontradas no ensaio piloto, foi possível encontrar o momento fletor máximo ($M_{m\acute{a}x}$) de ambas as vigotas e, à partir daí encontrar a área

de aço (As) necessária das mesmas. Para encontrar o M_{\max} foi utilizado o software Ftool e as áreas de aço extras foram dimensionadas utilizando as teorias da flexão, sendo encontrado o “x” através da equação (1) e posteriormente a “As” através da equação (2). A Figura 4 resume os resultados obtidos para a confecção das vigotas.

$$M_d = 0,68 \cdot f_c d \cdot b_w \cdot x \cdot (d - 0,4x) \quad \text{equação (1)}$$

$$A_s = M_d / (d - 0,4x) \cdot f_y d \quad \text{equação (2)}$$

Figura 4: Dados para projeto e execução das vigotas treliçadas

| Vigota (m) | Carga de Ruptura (kN) | Cargas pontuais (kN) | M_{\max} (kNm) | A_s (cm ²) | As adicional |
|------------|-----------------------|----------------------|------------------|--------------------------|--------------|
| 3,00 | 9,3927 | 4,9964 | 5,30 | 2,53 | 3 Ø 10.0 |
| 5,00 | 2,3679 | 1,5339 | 3,40 | 1,42 | 1 Ø 12.5 |

Fonte: Autor, 2016

A montagem e colocação da armadura nas fôrmas foram efetuadas no próprio local da concretagem (Iparque). Primeiramente foram colocadas as armaduras extras e posteriormente a treliça, respeitando os espaçamentos inferiores e laterais. Para garantir tais espaçamentos, foram utilizados espaçadores tipo cadeirinha de 15 mm. Vale ressaltar que antes de ser colocada a armadura, no interior das fôrmas, foi utilizado óleo como desmoldante para posteriormente facilitar a desforma. A Figura 5 ilustra essa etapa.

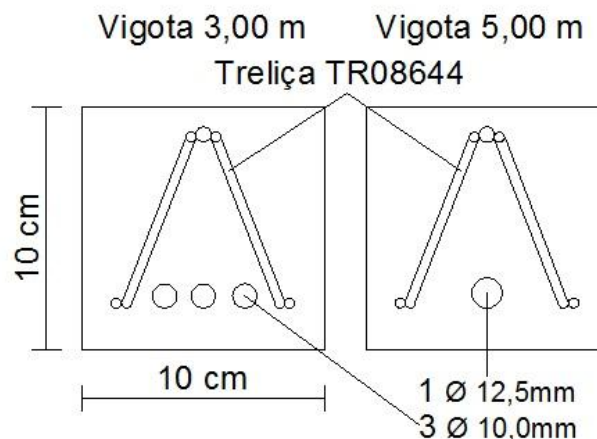
Figura 5: Fôrmas prontas (a); Armadura posicionada (b)



Fonte: Autor, 2016

O traço utilizado na produção do concreto foi de 1:4,5 (1:2,3:2,2) tendo uma relação $A/C = 0,42$ e $\alpha = 60\%$ com o objetivo de obter 40 Mpa de resistência a compressão para equiparar ao concreto utilizado nas vigotas protendidas. Para a produção do concreto foi utilizada uma betoneira de 400 litros. Como a mesma não suporta a quantidade toda uma única vez, o concreto foi produzido em duas etapas, com 50% do volume total por vez. Depois de concretadas, as vigotas passaram pelo processo de cura do concreto sendo molhadas apenas nos dois primeiros dias. Posteriormente, permaneceram dentro do laboratório de estruturas e sobre alguns apoios, evitando assim, tanto a evaporação precoce, como o fornecimento de água ao concreto conservando a umidade necessária para as reações de hidratação, como especifica Carvalho e Figueiredo Filho (2013). Após 28 dias da concretagem as vigotas foram submetidas ao ensaio de flexão em 4 pontos, realizado no mesmo local onde as mesmas estavam armazenadas. A Figura 6 ilustra a seção transversal das vigotas treliçadas.

Figura 6: Seção transversal das vigotas treliçadas



Fonte: Autor, 2016

2.3.1 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Paralelo a concretagem das vigotas treliçadas, foram moldados 8 corpos de prova cilíndricos (4 da primeira betoneira e 4 da segunda), para que posteriormente fosse realizado o ensaio de compressão axial, segundo a NBR 5739:2007, aos 28 dias, averiguando se a resistência obtida do concreto corresponde a resistência desejada. Na Figura 7 pode-se observar os copos de prova moldados.

Figura 7: Corpos de prova moldados para Ensaio de Compressão Axial



Fonte: Autor, 2016

3 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para diferenciar as vigotas treliçadas das protendidas, foram adotadas as nomenclaturas conforme pode-se observar na tabela da Figura 8.

Figura 8: Nomenclaturas utilizadas

| Nomenclaturas | |
|---------------|------------------------------------|
| Vt3 | Vigotas treliçadas de 3,00 metros |
| Vt5 | Vigotas treliçadas de 5,00 metros |
| Vp3 | Vigotas protendidas de 3,00 metros |
| Vp5 | Vigotas protendidas de 5,00 metros |

Fonte: Autor, 2016.

3.1 ENSAIO PILOTO

Após a realização dos ensaios de flexão em quatro pontos nas duas vigotas protendidas, obteve-se a carga máxima que cada uma das vigotas resistiu, no momento do máximo deslocamento e na ruptura. A vigota de 3,00 metros rompeu a uma carga de 9,3927 kN a qual somada ao peso da viga metálica utilizada para transferência da carga para os terços, e da banca utilizada e dividida entre os dois pontos resultou em duas cargas pontuais de 4,9964 kN localizadas à 1,02 metros de cada extremidade. A vigota de 5,00 metros, por sua vez rompeu com uma carga

muito inferior: 2,3679 kN. Esta carga somada aos pesos adicionais e dividida entre os dois pontos, resultou em duas cargas pontuais de 1,5339 kN localizadas à 1,68 metros de cada extremidade. Através das cargas de ruptura encontradas, foi possível encontrar o momento fletor máximo ($M_{\text{máx}}$) resistidos pelas vigotas e, daí encontrar a área de aço (A_s) necessária de combate à flexão, conforme descrito no item 2.3.

3.2 VIGOTAS PROTENDIDAS

O ensaio realizado nas vigotas protendidas foi o mesmo realizado no ensaio piloto, o qual foi descrito anteriormente no item 2.1 e os resultados estão descritos nos próximos itens.

3.2.1 RESULTADOS DAS VIGOTAS NO DESLOCAMENTO MÁXIMO (L/250)

Na tabela da Figura 9 podem ser observados os valores para o carregamento máximo atingido pelas vigas no momento de máximo deslocamento. As vigotas protendidas de 3,00 metros (Vp3) obtiveram um valor médio de carga de 2,24 kN à um terço de cada extremidade, enquanto as vigotas protendidas de 5,00 metros (Vp5) obtiveram um valor médio de apenas 0,86 kN no mesmo local, representando 38,39% do valor das primeiras. Ambas as vigotas chegaram à ruptura por flexão no seu terço central, local de máximo momento nas mesmas.

Figura 9: Carregamento no deslocamento máximo das vigotas protendidas

| Vigotas | Carga Máx. (kN) | Deslocamento (L/250)(mm) |
|---------------------|-----------------|--------------------------|
| Vp3 1 | 2,305 | 11,60 |
| Vp3 2 | 2,2569 | |
| Vp3 3 | 2,1589 | |
| Média (D.P.) | 2,2403 (0,0745) | |
| Vp5 1 | 0,9271 | 19,60 |
| Vp5 2 | 0,8585 | |
| Vp5 3 | 0,8042 | |
| Média (D.P.) | 0,8633 (0,0616) | |

Fonte: Autor, 2016

3.2.2 RESULTADOS DAS VIGOTAS NA RUPTURA

Na tabela da Figura 10, estão listados os valores de carregamento máximo para as vigotas protendidas chegarem à ruptura juntamente com o deslocamento nesse instante. As vigotas protendidas de 3,00 metros (Vp3) obtiveram valores médios de carga 4,16 kN localizados a um terço de cada extremidade e deslocamento de 53,32 mm no centro da mesma. Já as vigotas protendidas de 5,00 metros (Vp5) obtiveram valor médio de 1,47 kN de carga (35,34% do primeiro). Nas vigotas Vp5, o deslocamento não foi possível ser obtido, pois o mesmo ultrapassou os 100 mm, limite do LVDT.

Figura 10: Carregamento das vigotas protendidas na ruptura

| Vigotas | Carga Máx. (kN) | Deslocamento Máx (mm) |
|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Vp3 1 | 4,156 | 52,97 |
| Vp3 2 | 4,4311 | 58,12 |
| Vp3 3 | 3,9038 | 48,88 |
| Média (D.P.) | 4,1636 (0,2637) | 53,32 (4,63) |
| Vp5 1 | 1,5692 | > 100,00 |
| Vp5 2 | 1,5703 | > 100,00 |
| Vp5 3 | 1,2804 | > 100,00 |
| Média (D.P.) | 1,4733 (0,1670) | - |

Fonte: Autor, 2016

Na Figura 11, estão demonstradas as vigotas protendidas após o ensaio de flexão, onde pode-se observar que o rompimento ocorreu devido a compressão na face superior das mesmas.

Figura 11: Aspecto das vigotas protendidas de 3,00 e 5,00 metros após o ensaio.



Fonte: Autor, 2016

3.3 VIGOTAS TRELIÇADAS

3.3.1 RESULTADOS DAS VIGOTAS NO DESLOCAMENTO MÁXIMO (L/250)

As vigotas treliçadas de 3,00 metros (Vt3) apresentaram uma média de carga de 2,49 kN à um terço de cada extremidade no momento em que atingiram o momento de máximo deslocamento (11,60mm), enquanto as vigotas de 5,00 metros (Vt5) obtiveram um valor de apenas 34,53% referente as citadas anteriormente, resistindo a um carregamento médio de 0,86 kN na flecha máxima (19,60mm), também aplicadas a um terço de cada extremidade.

Figura 12: Carregamento das vigotas treliçadas no deslocamento máximo

| Vigotas | Carga Máx. (kN) | Deslocamento (L/250)(mm) |
|---------------------|------------------------|--------------------------|
| Vt3 1 | 2,5117 | |
| Vt3 2 | 2,4232 | 11,60 |
| Vt3 3 | 2,5356 | |
| Média (D.P.) | 2,4902 (0,0592) | |
| Vt5 1 | 0,8652 | |
| Vt5 2 | 0,8667 | 19,60 |
| Vt5 3 | 0,8482 | |
| Média (D.P.) | 0,8600 (0,0103) | |

Fonte: Autor, 2016

3.3.2 RESULTADOS DAS VIGOTAS NA RUPTURA

As vigotas treliçadas resistiram a cargas acima do esperado antes de romperem. As vigotas de 3,00 metros (Vt3), por exemplo, resistiram a um carregamento médio de 7,94 kN com deslocamento de 61,52mm, enquanto as vigotas de 5,00 metros (Vt5) resistiram em média a 3,06 kN (38,54% em relação as Vt3). O deslocamento nas Vt5 não foi possível ser obtido pelo mesmo motivo já especificado no item 3.2.2, ultrapassaram o limite do LVDT que é 100 mm. Na Figura 13 estão especificados todos os valores obtidos durante os ensaios e na Figura 14 são apresentadas as vigotas treliçadas após o ensaio, onde observa-se que as de 3,00 metros apresentaram aspectos de rompimento por compressão na face superior. As vigotas de 5,00 metros, por sua vez, apresentaram apenas fissuras em sua face inferior (face tracionada), o que indica que a vigota rompeu por tração.

Figura 13: Carregamento máximo na ruptura das vigotas treliçadas.

| Vigotas | Carga Máx. (kN) | Deslocamento Máx (mm) |
|---------------------|------------------------|-----------------------|
| Vt3 1 | 7,5229 | 58,25 |
| Vt3 2 | 8,1500 | 63,79 |
| Vt3 3 | 8,1354 | 62,53 |
| Média (D.P.) | 7,9361 (0,3579) | 61,52 (2,90) |
| Vt5 1 | 2,8059 | > 100,00 |
| Vt5 2 | 3,0265 | > 100,00 |
| Vt5 3 | 3,0572 | > 100,00 |
| Média (D.P.) | 2,9632 (0,1371) | - |

Fonte: Autor, 2016

Figura 14: Aspecto das vigotas treliçadas de 3,00 e 5,00 metros após o ensaio



Fonte: Autor, 2016

3.3.3 ENSAIO DE COMPRESSÃO AXIAL

Os resultados do ensaio de compressão alcançaram resultados que confirmaram a resistência à compressão de cálculo. Na figura 15 pode-se encontrar estes dados detalhadamente:

Figura 15: Tabela de resultado de compressão axial dos corpos de prova

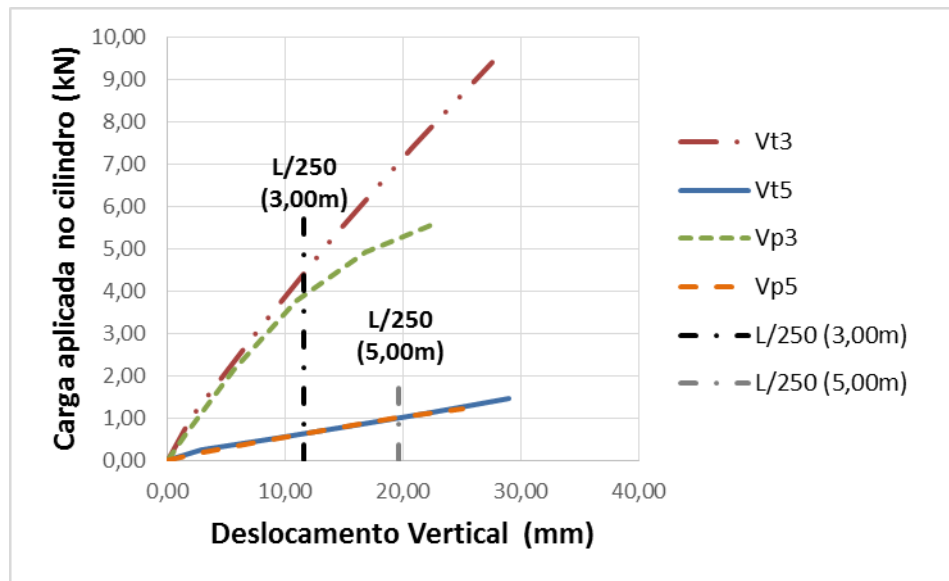
| Betoneira 01 (28 dias) | Resistencia à compressão (MPa) | Betoneira 02 (28 dias) | Resistência à compressão (MPa) |
|-----------------------------------|---|-----------------------------------|---|
| CP 01 | 38,6 | CP 01 | 42,8 |
| CP 02 | 41,9 | CP 02 | 42,7 |
| CP 03 | 41,7 | CP 03 | 41,5 |
| CP 04 | 41,5 | CP 04 | 41,4 |
| Média | 40,93 | Média | 42,1 |
| Desvio Padrão | 1,59 | Desvio Padrão | 0,75 |

Fonte: autor, 2016

3.4 COMPARATIVO NA RUPTURA E NO DESLOCAMENTO MÁXIMO

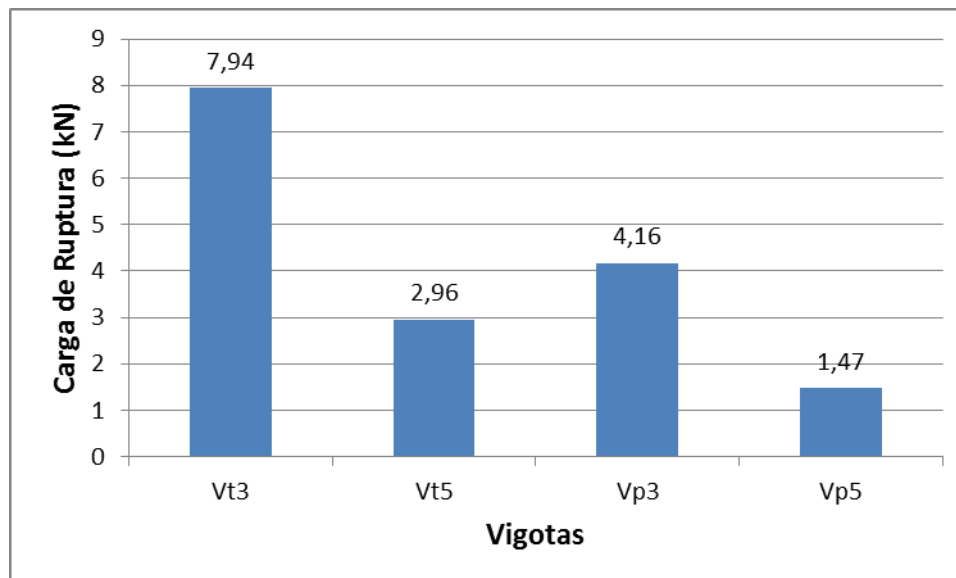
Através dos resultados obtidos, expostos nos itens 3.2 e 3.3, pode-se observar que em relação ao deslocamento máximo, as vigotas treliçadas de 3,00 metros (Vt3) obtiveram um acréscimo de 11,15% em relação às protendidas (Vp3). Já para as vigotas de 5,00 metros, as treliçadas (Vt5) tiveram uma redução de apenas 0,38% em relação às protendidas (Vp5), conforme pode-se visualizar na figura 16. No momento da ruptura, as vigotas treliçadas de 3,00 metros (Vt3), obtiveram um aumento de resistência de 90,61% em relação as protendidas (Vp3), enquanto as treliçadas de 5,00 metros (Vt5), obtiveram um acréscimo de 101,13% em relação as protendidas (Vp5). As cargas de ruptura podem ser observadas na figura 17.

Figura 16: Gráfico de cargas aplicadas no deslocamento máximo



Fonte: Autor, 2016

Figura 17: Gráfico de cargas resistentes no momento da ruptura



Fonte: Autor, 2016

Apesar do grande aumento de resistência das Vt3 em relação as Vp3, o deslocamento obtido no momento da ruptura teve um acréscimo de apenas 15,38% de uma em relação à outra. Nas vigotas de 5,00 metros, por sua vez, não foi possível obter o deslocamento no momento da ruptura. É importante destacar que todas as vigotas treliçadas foram produzidas com armadura extra.

4 CONCLUSÕES

Através da análise dos resultados obtidos no presente trabalho, pode-se concluir que:

- As vigotas treliçadas obtiveram um aumento significativo de resistência de carga na ruptura. Enquanto as vigotas de 3,00 metros obtiveram um aumento de 90,61%, as de 5,00 metros registraram uma média de 101,13% de acréscimo, não sendo possível estabelecer relação entre elas;
- No momento da ruptura, apesar do grande aumento de resistência das vigotas treliçadas em relação as protendidas, o deslocamento registrou um aumento de apenas 15,38%, não sendo possível estabelecer, somente com estes resultados, uma relação entre acréscimo de carga e aumento do deslocamento;
- O dimensionamento da armadura extra nas vigotas treliçadas mostrou-se deficiente sem a consideração do efeito da treliça, sendo que as cargas, tanto no momento da flecha máxima quanto na ruptura atingiram valores muito superiores, uma vez que a treliça eletrosoldada tem uma influência considerável na resistência da vigota;
- Tanto as vigotas protendidas quanto as treliçadas de 5,00 metros, obtiveram deslocamento acima de 100 mm, não sendo possível sua medição através do LVDT;
- No momento de máximo deslocamento permitido pela NBR 6118:2014, as vigotas treliçadas de 3,00 metros obtiveram acima em 11,15% em relação as protendidas, enquanto as vigotas treliçadas de 5,00 obtiveram redução em relação as protendidas de 0,38%;

Para futuros trabalhos, sugere-se:

- Repetir o trabalho apresentado executando as vigotas treliçadas considerando o efeito da treliça e redimensionando a armadura adicional;
- Comparar capacidade portante em vigotas treliçadas e protendidas, analisando-as em conjunto com elementos de enchimento e capa de compressão;

- Elaborar planilhas orçamentárias, para averiguar qual o modelo mais vantajoso economicamente.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14859-1:Laje pré-fabricada – Requisitos. Parte 1: Lajes unidirecionais.** Rio de Janeiro, 2014.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaios de compressão de corpos-de-prova cilíndricos.** Rio de Janeiro, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118: Projeto de estruturas de concreto.** Rio de Janeiro, 2014.

BONINI, Stefane do Nascimento. **Lajes mistas de Steel deck:** estudo comparativo com lajes maciças de concreto armado quanto ao dimensionamento estrutural. 2013. 109 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO, Jasson Rodrigues. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2003.** 3 ed. São Carlos: Editora da Universidade Federal de São Carlos, 2013. 367p.

DROPPA, Alonso. **Análise estrutural de lajes formadas por elementos pré-moldados tipo vigota com armação treliçada.** 1999. 177f. Dissertação (Mestrado Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

METHA, Povindar Kumar e MONTEIRO, Paulo J. M., **Concreto: Microestrutura, Propriedades e Materiais.** São Paulo: IBRACON ed., 2008. 658p.

PFEIL, Walter. **Concreto Protendido, 1: introdução.** 2 ed. rev. – Rio de Janeiro: LTC – Livros Técnicos e Científicos Editora Ltda., 1988. 204p.