

ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE UMA TRELIÇA ELETROSOLDADA INCORPORADA EM VIGA DE CONCRETO ARMADO NOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS

Lais Mattos (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1)laismattos34@gmail.com , (2)avargas@unesc.net

RESUMO

As treliças eletrosoldadas são utilizadas, com maior frequência, como armação de vigotas de lajes pré-moldadas treliçadas. A sua forma e processo de produção, supostamente conferem à esses elementos estruturais, rigidez superior quando comparados as lajes pré-moldadas convencionais. Esse ganho de rigidez poderia ser aproveitado em outros elementos estruturais, objetivando reduzir os deslocamentos verticais ou um ganho de capacidade portante, sem alteração das suas dimensões. Neste contexto, este trabalho objetiva avaliar experimentalmente, a influência da incorporação de uma treliça eletrosoldada em vigas de concreto armado no quesito deformações verticais. Foram moldadas seis vigas, divididas em dois grupos: um com armadura passiva tradicional e o segundo com a inserção de uma treliça eletrosoldada no interior da peça. Todas as amostras tiveram as mesmas dimensões, e áreas de aço de combate à flexão equivalentes. Todas as amostras foram submetidas a ensaios de flexão 4 pontos. Como resultado obteve-se um acréscimo médio de carga nas vigas com a treliça incorporada de 8,36 % no instante em que ocorreu a flecha limite e de 28,11 % no momento da ruptura. Para a mesma carga que ocasionou a flecha limite nas vigas sem treliça, ocorreu uma redução média de 11,57 % na flecha das vigas com treliça incorporada.

Palavras-Chave: Treliza eletrosoldada. Deslocamentos. Vigas com treliza.

1. INTRODUÇÃO

A durabilidade das estruturas de concreto armado está sujeita a cooperação de todos os envolvidos nos processos de projeto, construção e utilização. Como as vigas são elementos lineares em que a flexão é preponderante, seu bom funcionamento está diretamente associado ao dimensionamento correto, levando em consideração, dentre outros parâmetros, os valores de deslocamentos limites (flechas), estabelecidos pela Associação Brasileira de normas Técnicas (ABNT) na NBR 6118,

citado no item 13.3: “Deslocamentos limites são valores práticos utilizados para verificação em serviço do estado limite de deformações excessivas da estrutura” (ABNT, 2014).

No dimensionamento de uma estrutura de concreto armado, a norma NBR 6118 (ABNT, 2014) propõe a análise dos efeitos das ações na estrutura a fim de verificar a atuação dos estados limites últimos. Segundo Carvalho et al. (2014), esta análise estabelece além da distribuição dos esforços, as deformações e os deslocamentos verticais de uma estrutura. Estes deslocamentos pressupõem vigas, com vão “ l ” apoiado sobre dois apoios (nas extremidades) imóveis.

Para a verificação do deslocamento vertical, usualmente é considerado a aceitabilidade sensorial, conforme valores apresentados na Tabela 01.

Tabela 01: Limite para deslocamentos considerando a aceitabilidade sensorial.

Tipo de efeito	Razão da limitação	Exemplo	Deslocamento a desconsiderar	Deslocamento limite
aceitabilidade sensorial	Visual	Deslocamentos visíveis em elementos estruturais	Total	$l/250$
	Outro	Vibrações sentidas no piso	Devido a cargas acidentais	$l/350$

Fonte: NBR 6118, 2014

No cálculo da flecha imediata, a norma NBR 6118:2014, propõe o método empírico de Branson para a determinação da rigidez equivalente. Neste cálculo simplificado, utiliza-se uma única inércia, tanto para os trechos fissurados quanto para os não fissurados da viga, visando chegar em um resultado mais próximo do que realmente acontece no momento de utilização (CARVALHO; FIGUEREDO, 2014).

Com a conclusão do estudo de Branson, pode-se confirmar então que, as deformações verticais de um elemento, estão diretamente relacionadas à rigidez do mesmo.

Em paralelo a estes conceitos, autores como Di Pietro (1993) e Carvalho et al. (2005), apresentam pesquisas direcionadas à grande utilização de treliças eletrosoldadas para fabricação de vigotas pré-moldadas. A partir destes estudos, surgiu o interesse em unir uma treliça eletrosoldada utilizada em vigotas de lajes pré-moldadas, e uma viga de concreto armado.

Com isso, o objetivo principal deste trabalho é analisar por meio de ensaios de flexão 4 pontos, a influência de uma treliça eletrosoldada incorporada em vigas de concreto armado, no resultado da flecha imediata limite, comparando-as com vigas de mesma seção transversal e com área aço equivalente na região tracionada.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 CARACTERÍSTICAS DOS MATERIAIS UTILIZADOS NO ESTUDO

Para este experimento foram fabricadas seis vigas em concreto armado com seções transversais de 15x20 cm e comprimento de 190 cm cada. Destas seis vigas, três foram moldadas com armadura convencional, e três com uma treliça incorporada no seu interior. Para cada grupo de vigas foi criado uma nomenclatura objetivando facilitar a identificação. A tabela 02 apresenta a nomenclatura das vigas utilizadas.

Tabela 02: Nomenclatura dos dois grupos das vigas utilizadas.

Vigas VCs (VC1; VC2 e VC3) Vigas com armadura convencional.

Vigas VTs (VT1; VT2 e VT3) Vigas com a treliça incorporada.

Fonte: Do Autor, 2017

As armaduras utilizadas em cada uma das seis amostras foram: estribos de 5.0 mm a cada 10 cm, e duas barras de 5.0 mm como porta estribos na face superior das vigas, ambos fabricados em aço CA-60. O cobrimento do aço adotado foi de 2,5 cm, que corresponde à classe de agressividade ambiental I, determinado pela NBR 6118:2014. O concreto utilizado foi usinado do tipo C25.

Como armadura de flexão das três vigas VCs, foram adotadas 2 barras de 8.0 mm em aço CA-50, e para as outras três vigas (VTs), foram utilizadas 2 barras de 6.3 mm em aço CA-50, mais uma treliça eletrosoldada como apresentado na Figura 01.

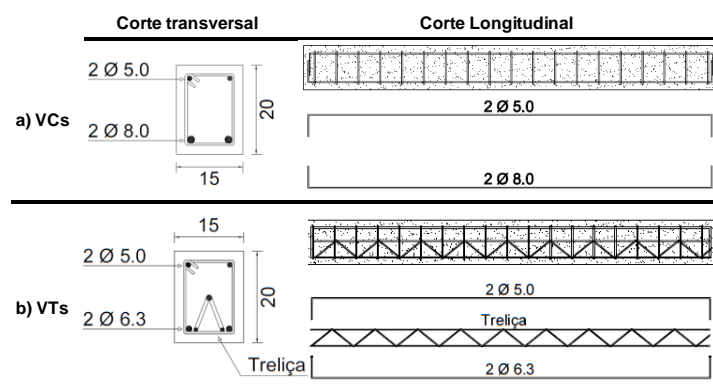
Figura 01: a) Detalhe da armadura das vigas VTs; b) Detalhe da armadura das vigas VCs.



Fonte: Do Autor, 2017

Deste modo, a área de aço usada para combater o esforço de flexão foi de $1,0 \text{ cm}^2$ para as vigas VCs e de $0,92 \text{ cm}^2$ para as vigas VTs, objetivando a maior proximidade nos valores das áreas de aço nos dois grupos. Em todas as barras de aço utilizadas, foi adotado uma ancoragem por ganchos de 10 cm. A figura 02 mostra o esquema das armaduras das vigas VCs e VTs.

Figura 02: a) Vigas com armadura convencional (VCs); b) Vigas com a treliça incorporada (VTs).

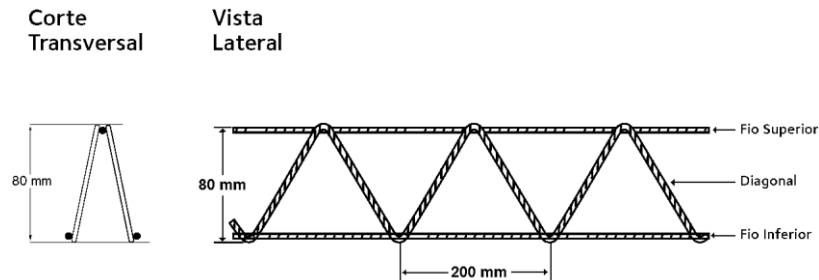


Fonte: Do autor, 2017

As treliças utilizadas nas vigas VTs foram do tipo eletrosoldadas, da marca ArcelorMittal, do modelo TB 8L em aço CA-60. As treliças deste modelo atendem os requisitos da NBR 14862:2002, os fios inferiores e da diagonal possuem diâmetro de 4.2 mm e o fio superior, diâmetro de 6.0 mm. A distância entre os eixos dos nós é de 200 mm e a distância entre as superfícies inferior e superior é de 80 mm.

Cada treliça teve seu comprimento definido em 185 cm para atender ao requisito de cobertura do aço de 2,5 cm. A Figura 03 detalha a treliça TB 8L.

Figura 03: Detalhamento da treliça TB 8L da ArcelorMittal.

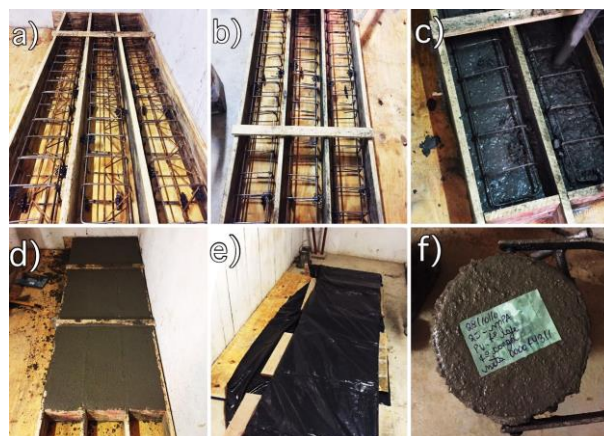


Fonte: ArcelorMittal, 2008

2.2 MONTAGEM DAS VIGAS

Todas as etapas da montagem e concretagem das vigas foram executadas em um espaço cedido por uma empresa de construção civil, localizada na cidade de Criciúma (SC), onde também foram moldados os corpos de prova para análise das propriedades mecânicas do concreto, conforme pode ser observado na Figura 04. Os corpos de prova foram modelados e curados conforme a norma de procedimento para modelagem e cura de corpos de prova NBR 5738:2015.

Figura 04: a) Forma de madeira com armaduras das vigas VTs; b) Forma de madeira com armaduras das vigas VCs; c) Concretagem das vigas com utilização de vibrador; d) VTs concretadas; e) Processo de cura das vigas; f) Corpo de prova moldado.



Fonte: Do autor, 2017

2.3. ENSAIO DE FLEXÃO 4 PONTOS

Todas as amostras foram submetidas ao ensaio de flexão 4 pontos no Laboratório Experimental de Estruturas – LEE da Universidade do Extremo Sul Catarinense (UNESC), localizado no IParque, Parque Científico e Tecnológico. As vigas foram posicionadas sob um pórtico metálico, onde, por meio de uma viga metálica e dois roletes, foi transferido uma carga proveniente do cilindro hidráulico. Os valores das cargas foram obtidos da célula de carga instalada na base do cilindro. A Figura 05 mostra o ensaio de flexão 4 pontos efetivamente.

Figura 05: Realização do ensaio de flexão 4 pontos.



Fonte: Do Autor, 2017

Para a leitura da flecha, foram utilizados 02 transdutores indutivos de deslocamento (LVDT - do inglês *Linear Variable Differential Transformer* ou Transformador Diferencial Variável Linear) de 100 mm, inseridos no centro do vão da viga. Estes equipamentos foram ligados ao sistema de aquisição de dados Quantum X® que utiliza o *software* Catman Easy®, ambos da marca HBM®. A Figura 06 apresenta os equipamentos utilizados no ensaio: a) Célula de carga hidráulica; b) LVDT instalado na viga; c) Sistema de aquisição de dados.

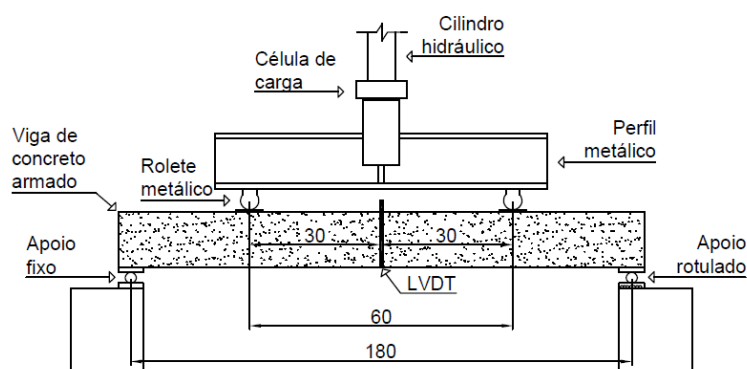
Figura 06: Equipamentos utilizados no ensaio.



Fonte: Do Autor, 2017.

As desformas e os ensaios foram efetuados 29 dias após a concretagem das vigas. Abaixo, a figura 07 representa o esquema utilizado no ensaio, indicando os pontos de aplicação das cargas a 30 cm do centro da viga, e o vão teórico de 180 cm.

Figura 07: Esquema do ensaio de flexão 4 pontos.



Fonte: Do Autor, 2017.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 RESISTÊNCIA DO CONCRETO À COMPRESSÃO

Foi realizado o controle tecnológico do concreto e o resultado da resistência característica à compressão média foi de 27,02 Mpa.

3.2 ENSAIO DE FLEXÃO 4 PONTOS

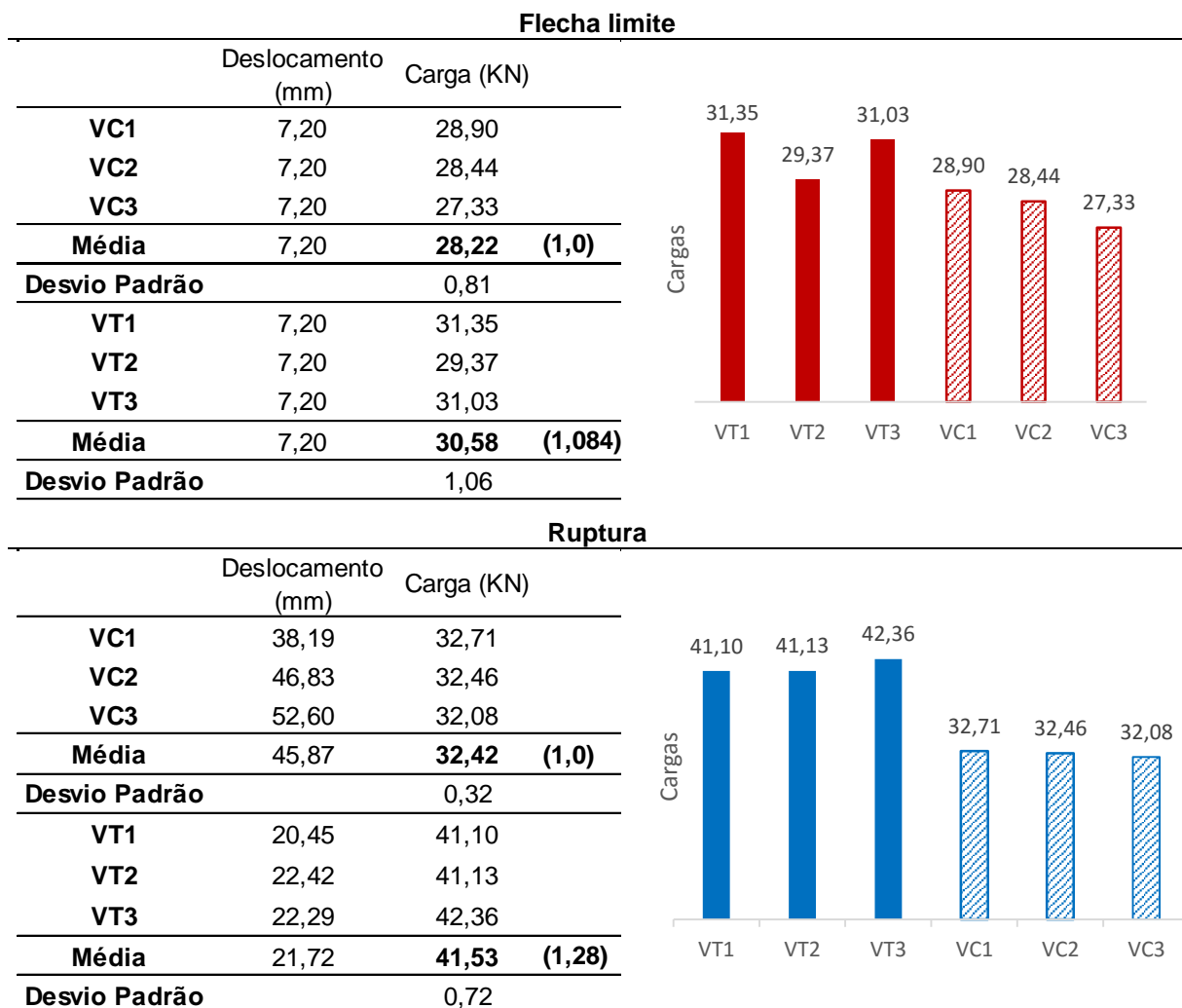
A partir dos ensaios das seis vigas, foram coletados os resultados referentes às cargas no instante em que ocorreu a flecha limite, ou flecha imediata, estabelecida pela NBR 6118:2014, e também a carga no momento da ruptura de cada viga. O valor da flecha

limite para as vigas deste experimento, segundo o cálculo estabelecido pela NBR 6118:2014 e utilizando o vão teórico de 180 cm, foi de $180/250 = 7,20$ mm.

Para atingir o valor exato de cada carga nos dois momentos analisados, foi realizada a interpolação entre os valores obtidos no sistema de aquisição de dados. Estes valores correspondem às cargas aplicadas pelo cilindro hidráulico. A Tabela 03 apresenta os valores das cargas aplicadas no instante em que ocorre a flecha limite, além dos deslocamentos e cargas no instante da ruptura de cada viga.

Verificou-se que no instante da flecha calculada de 7,2 mm, a média das cargas para as VTs foi de 30,58 kN, o que representa um acréscimo de 8,36 %, em comparação com a média de 28,22 kN das cargas das vigas VCs.

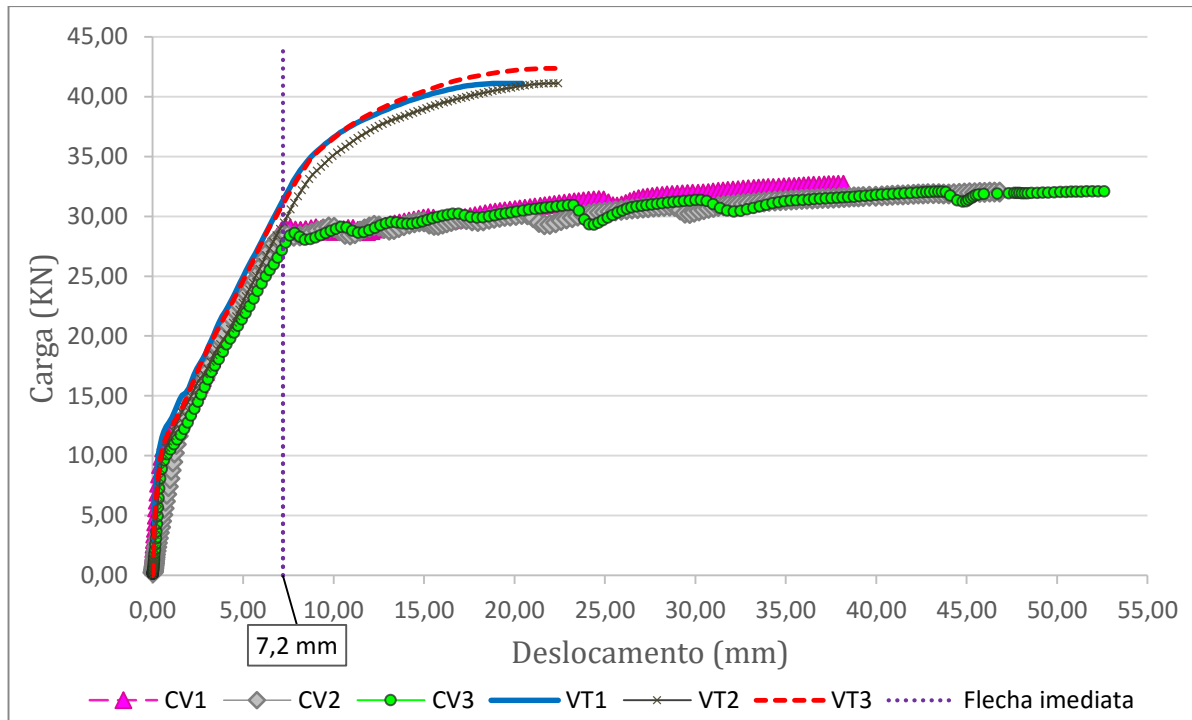
Tabela 03: Tabela com os resultados obtidos nos ensaios de flexão 4 pontos para flecha limite e ruptura, e gráfico representando os valores das tabelas.



Fonte: Do Autor, 2017.

A Figura 08 apresenta os deslocamentos verticais de cada viga no decorrer dos ensaios.

Figura 08: Gráfico Carga X Deslocamento para vigas VCs e VTs.



Fonte: Do Autor, 2017.

Considerando a aplicação das mesmas cargas utilizadas para as vigas VCs, nas vigas VTs, no momento da flecha limite, o deslocamento médio encontrado foi de 6,37 mm (valores interpolados) apontando para uma redução na flecha de 11,57 %.

Os resultados das flechas obtidas nas vigas VTs, utilizando as cargas das flechas limites das vigas VCs estão compiladas na tabela 04.

Tabela 04: Comparativo das flechas nas vigas VTs para as mesmas cargas nas vigas VCs.

vigas VCs		vigas VTs	
carga (kN)	flecha (mm)	carga (kN)	flecha (mm)
28,90	7,20	28,90	7,02
28,44	7,20	28,44	6,24
27,30	7,20	27,30	5,84
média	28,21	7,20	6,37

Fonte: Do Autor, 2017.

3.3 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS DO ENSAIO DE FLEXÃO 4 PONTOS

Foi também utilizado para este trabalho, o método estatístico de análise de variância (ANOVA) para avaliar se houve uma variação significativa entre os resultados apresentados dentro de cada grupo de amostras.

Considerando que todas as amostras apresentaram população menor que 30, usou-se o modelo de distribuição T.

Neste método, o valor do **F** calculado deve ser maior que o valor do **F crítico** para que os valores apresentados nas amostras sejam considerados estatisticamente diferentes.

O valor de **p** indica a porcentagem de chance da amostra estar errada ou certa. Para este estudo, adotou-se um valor para p menor que 0,05, significando que a análise possui 95 % de chances de acerto e 5 % de chances de erro.

Na tabela 05, estão os resultados das ANOVAS construídas para cada instante analisado neste experimento: para os comparativos das cargas nos momentos da flecha limite e da ruptura dos dois grupos de vigas, onde é possível observar que houve diferença significativa entre os valores das amostras. Já para o comparativo do deslocamento para a mesma carga de 28,21 KN, embora tenha-se apresentado uma diferença de 11,57 % nos deslocamentos entre os dois grupos de vigas, a Anova confirmou que o resultado das amostras não teve diferença significativa.

Tabela 05: Resultado das ANOVAS

	ANOVA				
	Fcalculado		Fcrítico		p
Cargas no instante da flecha limite	9,381	>	7,709	0,038	✓
Cargas no instante da ruptura	403,474	>	7,709	0,00004	✓
Flechas para carga de 28,21kN	5,785	<	7,709	0,074	✗

Fonte: Do Autor, 2017.

4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados, para o número de amostras ensaiadas e para as limitações dessa pesquisa pode-se concluir que:

- A incorporação da treliça no interior da viga se mostra eficiente para um incremento de carga considerando a mesma deformação.
- As vigas VTs apresentam um aumento de 8,36 % na carga, no momento da flecha de cálculo, comparando-se com as vigas do grupo VCs. No momento da ruptura esse aumento de carga é de 28,11 %.
- Considerando a mesma seção transversal, pode-se constatar um ganho de rigidez nas vigas com a treliça eletrosoldada incorporada.
- Com a utilização da mesma carga de 28,21 Mpa nos dois grupos de vigas, obteve-se um deslocamento vertical 11,57 % menor no grupo de vigas VTs, valor que não se mostra estatisticamente significativo. Concluindo que a treliça incorporada não tem significância para este quesito.

5. SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Em relação a trabalhos futuros, sugere-se refazer o mesmo trabalho realizado, utilizando treliças com maior altura e maior número de amostras tentando estabelecer uma relação entre a altura desse elemento e a redução na flecha.

6. REFERÊNCIAS

ARCELORMITTAL, Catálogo Arcelormittal. Disponível em:
www.longos.arcelormittal.com.br Acessado em 25/11/16.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 14862:2002 Armaduras treliçadas eletrosoldadas - Requisitos**. Rio de Janeiro, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7480:2008 Aço destinado a armaduras para estruturas de concreto armado — Especificação**. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5738:2015 Concreto – Procedimento para moldagem e cura de corpos de prova**. Rio de Janeiro, 2015.

BASTOS, Paulo Sérgio dos Santos. **Dimensionamento de vigas de concreto armado à força cortante**. Apostila da disciplina Estruturas de Concreto II do curso de Engenharia Civil da Faculdade de Engenharia da Universidade Estadual Paulista, Campus de Bauru, 2015.

CARVALHO, Roberto Chust; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014. 415 p.

CARVALHO, Roberto Chust; PARSEKIAN, Guilherme Aris; FIGUEIREDO FILHO, Jasson Rodrigues de; MACIEL, Andrey Monteiro. **Estado da Arte do Cálculo das Lajes Pré-fabricadas com Vigotas de Concreto**. Encontro Nacional de Pesquisa-Projeto-Produção em concreto pré-moldado. São Carlos, 2005.

DI PIETRO, J. E. **Projeto, execução e produção de lajes com vigotas pré-moldadas de concreto**. Dissertação de Mestrado. Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1993.

DOS SANTOS, Altevir Castro; PIANA, Roberto Cesar. **Análise numérica e experimental de vigotas pré-moldadas em concreto armado para emprego em lajes nervuradas**. Maringá, PR, 2010.

FUSCO, Péricles Brasiliense. **Estruturas de Concreto: solicitações tangenciais**. São Paulo: Pini, 2008. 328 p.