

# ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE TRELIÇAS ELETROSOLDADAS INCORPORADAS EM VIGAS DE CONCRETO ARMADO NA FLEXÃO

Jéssica Bauer (1), Alexandre Vargas (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense  
(1)*jessica-cleazar@hotmail.com*, (2)*avargas@unesc.net*

## RESUMO

O presente artigo tem por objetivo avaliar a influência de treliças eletrosoldadas de diferentes alturas, incorporadas em vigas de concreto armado submetidas à flexão, quanto à capacidade portante e os deslocamentos verticais. Para a realização do estudo foram confeccionadas 12 vigas de concreto armado com seção transversal de 15 x 25 cm, e comprimento de 190 cm, divididas em quatro grupos de três: Grupo VR (referência), com armadura convencional sem treliça incorporada, grupo V8, com treliça de 8 cm incorporada, grupo V12, com treliça de 12 cm incorporada, e o grupo V16, com treliça de 16 cm incorporada. Todas as amostras foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos. Como resultado, observou-se que na ruptura houve um acréscimo nas cargas médias das vigas dos grupos V8, V12 e V16, em relação às vigas do grupo VR, de 134,96 %, 116,84 % e 88,37 %, respectivamente. Verificou-se também que para a mesma carga que ocasionou o deslocamento limite nas vigas do grupo VR, ocorreu uma redução média de 75,55 % no deslocamento vertical do grupo V8, 72,22 % no grupo V12 e de 70,55 % no grupo V16. Pode-se concluir, com o auxílio da análise estatística ANOVA e do teste de Tukey realizados, que as vigas que tiveram treliças incorporadas apresentaram um melhor desempenho do que as vigas do grupo referência. Contudo, ao analisar os resultados obtidos apenas pelos grupos que tiveram a treliça adicionada (V8, V12 e V16), pode-se concluir que a altura da mesma não influenciou estatisticamente nos resultados.

*Palavras-Chave: Treliça eletrosoldada. Vigas de concreto armado. Vigas com treliça.*

## 1. INTRODUÇÃO

As estruturas devem ser projetadas de modo a assegurar as condições de segurança e utilização, sem a ocorrência de manifestações patológicas que eventualmente possam comprometer sua função. Devem também atender aos requisitos mínimos de qualidade estabelecidos por normas técnicas assegurando assim, além da resistência, a durabilidade e o desempenho em serviço dos elementos projetados (SILVA, 2016). Com o desenvolvimento das construções, as edificações deixaram de ser robustas utilizando-se cada vez mais, estruturas

esbeltas. No entanto, este fato implicou no surgimento de novos problemas nas construções, uma vez que, com a redução das dimensões dos elementos, houve uma maior incidência de fissuração das estruturas, devido à redução de sua rigidez e consequentemente um aumento dos seus deslocamentos (GUARDA, 2005). As vigas tendem a deformar-se naturalmente perante a ação de cargas permanentes e acidentais, peso próprio e mesmo sob efeito da retração e da fluência do concreto. De acordo com Guarda (2005) essas deformações quando excessivas vão além de efeitos na sua própria funcionalidade e estética, afetando também outros elementos, causando problemas como o rompimento de paredes de vedação, trincas em alvenarias, o mau funcionamento de portas e janelas, entre outros. O controle das deformações é realizado através da NBR 6118:2014 por meio dos deslocamentos limites, que são definidos como valores práticos empregados para verificação em serviço do estado-limite de deformações excessivas da estrutura. A Norma ainda divide a avaliação dos deslocamentos em quatro grupos: aceitabilidade sensorial, efeitos específicos, efeitos em elementos não estruturais e efeitos em elementos estruturais. Para a verificação do deslocamento vertical, usualmente é considerado a aceitabilidade sensorial, que segundo a NBR 6118:2014 é “o limite caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável”, sendo esse limite diretamente associado ao conforto dos usuários. A Tabela 01 apresenta os deslocamentos limites para uma viga bi apoiada em função de seu vão efetivo (l).

Tabela 01: Limites para deslocamentos.

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

Fonte: NBR 6118:2014.

Segundo Guarda (2005) diversos fatores exercem influência, em maior ou menor escala, sobre a ordem de grandeza dos deslocamentos. Como descreve o ACI

435.2R, sigla inglesa para Instituto Americano de Concreto (1966, apud Guarda 2005, p.7)

Podem ser citados, dentre outros: o tipo, a grandeza e o histórico do carregamento; o vão e as condições de apoio do elemento estrutural; as propriedades geométricas de sua seção transversal; as propriedades dos materiais utilizados; a fissuração, a retração e a fluência do concreto; as taxas de armadura de tração e de compressão e o processo de execução da estrutura.

De acordo com a NBR 6118:2014, o módulo de elasticidade e a taxa de armadura à tração são alguns exemplos de fatores que colaboram diretamente para a variação nos deslocamentos. O uso de treliças eletrosoldadas incorporadas a elementos estruturais vem se tornando um recurso interessante diante da necessidade de vencer vãos maiores e com limitações de altura frequentemente impostas (SILVA, 2013). De acordo com o estudo de Mattos (2016), que avaliou a influência da incorporação de uma treliça no interior de vigas de concreto armado, o uso da treliça resultou em um ganho de rigidez, e consequentemente um aumento na capacidade portante das vigas com treliça em comparação com vigas com armadura convencional.

Neste contexto, este trabalho tem como objetivo analisar experimentalmente a influência de treliças eletrosoldadas com diferentes alturas, incorporadas em vigas usuais de concreto armado, nos resultados dos deslocamentos verticais imediatos e na capacidade portante desses elementos estruturais, dando continuidade à pesquisa de MATTOS (2017).

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

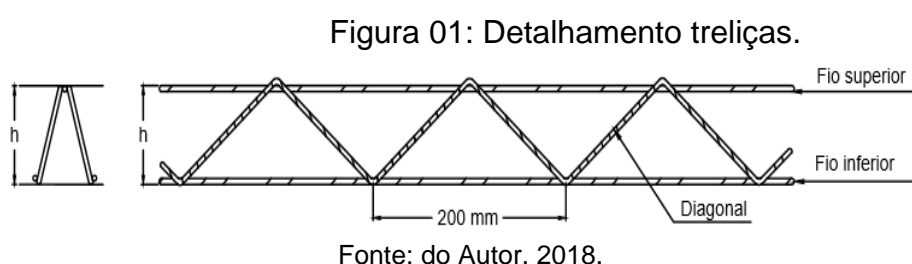
Para o desenvolvimento do trabalho foram moldadas 12 vigas com seção transversal de (15 x 25) cm e comprimento de 190 cm. A produção das vigas foi realizada no canteiro de obras de uma construtora local.

As vigas foram divididas em 04 grupos, sendo a nomenclatura utilizada para cada grupo descrita a seguir.

- Grupo VR: três vigas (VR-1, VR-2 e VR-3) com armadura convencional, utilizado como grupo de referência;
- Grupo V8: três vigas (V8-1, V8-2 e V8-3) com treliça de 8 cm de altura incorporada;

- Grupo V12: três vigas (V12-1, V12-2 e V12-3) com treliça de 12 cm de altura incorporada;
- Grupo V16: três vigas (V16-1, V16-2 e V16-3) com treliça de 16 cm de altura incorporada.

As treliças utilizadas nas vigas dos grupos V8, V12 e V16 são do tipo eletrosoldadas, todas em aço CA-60. A Figura 01 ilustra o detalhamento das treliças utilizadas.



O cobrimento do aço adotado foi de 2,5 cm indicado para classe de agressividade I, definida pela NBR 6118:2014. Visando respeitar este cobrimento, o comprimento fixado para as treliças foi de 185 cm.

Na Tabela 02 estão descritas as características das treliças utilizadas no estudo.

Tabela 02: Propriedades das treliças utilizadas em cada grupo.

Grupo	Trellis			
	Altura (cm)	Ø Superior (mm)	Ø Diagonal (mm)	Ø Inferior (mm)
V8	8	6,0	4,2	4,2
V12	12	6,0	4,2	5,0
V16	16	7,0	4,2	5,0

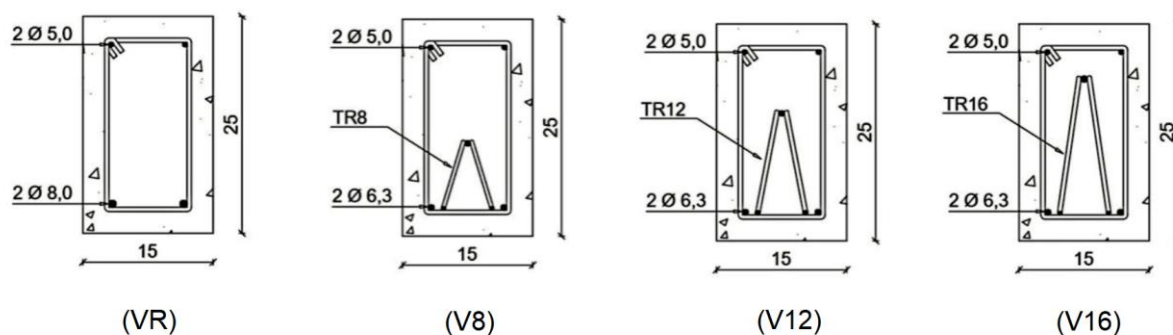
Fonte: do Autor, 2018.

Todos os elementos confeccionados foram dimensionados com área de aço de combate à flexão de acordo com a NBR 6118:2014, objetivando a maior proximidade entre as áreas de aço de cada grupo estudado.

Em todas as 12 vigas foram utilizados estribos de Ø 5,0 mm a cada 10 cm e porta estribos de Ø 5,0 mm, ambos em CA-60. As vigas do grupo VR tiveram como armadura de combate a flexão 2 barras de Ø 8,0 mm, totalizando uma área de aço de 1,0 cm<sup>2</sup>. As vigas dos grupos com treliça têm como armadura de combate à

flexão as barras inferiores das treliças complementadas de modo a aproximar-se ao máximo da área de aço que foi adotada nas vigas de referência. Para as vigas dos grupos V8, V12 e V16 as áreas de aço adotadas foram de 0,90 cm<sup>2</sup>, 1,02 cm<sup>2</sup> e 1,02 cm<sup>2</sup>, respectivamente. A Figura 02 apresenta o detalhamento da seção transversal de cada grupo de vigas.

Figura 02: Detalhamento da armadura utilizada em cada grupo.



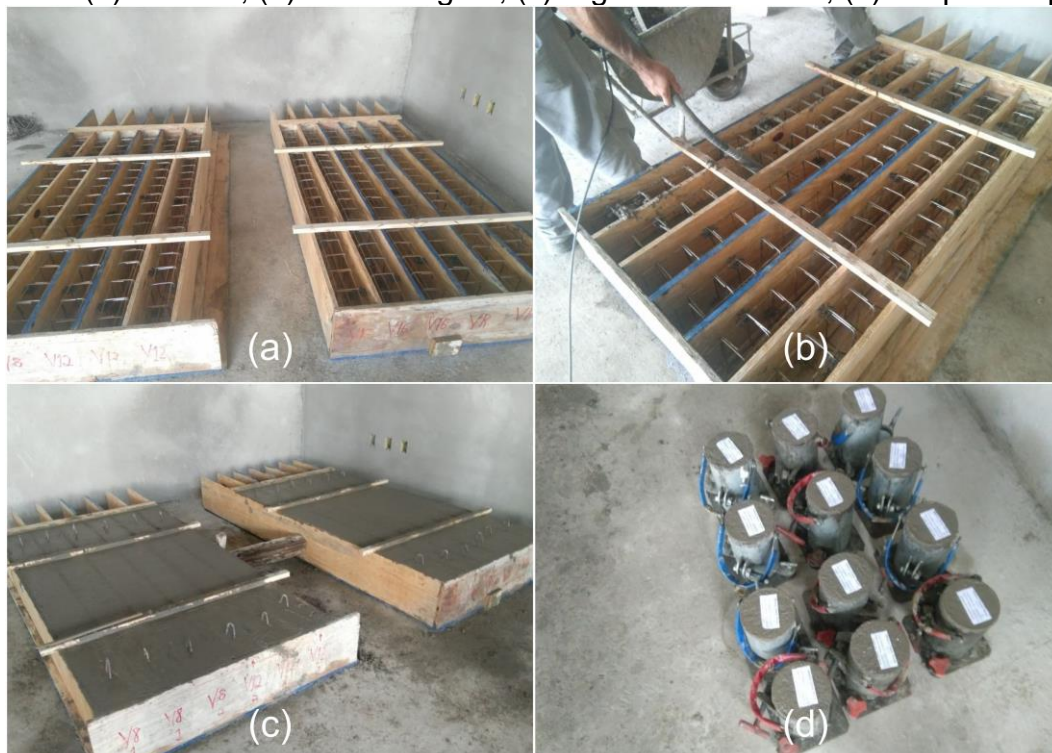
Fonte: do Autor, 2018.

O concreto utilizado para a execução das vigas e dos corpos de prova foi moldado in loco para uma resistência de 25 MPa. Na produção do concreto foi utilizada uma betoneira de 150 litros, com capacidade de concretar duas vigas por etapa, sendo necessário que se repetisse o processo 06 vezes. A fim de realizar o controle tecnológico do concreto foi verificada a trabalhabilidade através do ensaio de abatimento de tronco de cone (*slump-test*) antes de cada concretagem. Também foram moldados corpos de prova para cada concretagem, conforme especificações da NBR 5738:2015, e ensaiados para verificação da Resistência a Compressão Axial, de acordo com as orientações estabelecidas pela NBR 5739:2018, e do Módulo de Elasticidade, conforme a NBR 8522:2017.

Após a concretagem as vigas, as mesmas permaneceram no local, abrigadas, sendo desformadas e transportadas para o IParque aos 27 dias para a realização dos ensaios aos 28 dias. A Figura 03 apresenta o processo de moldagem das vigas e corpos de prova.



Figura 03: (a) Fôrmas; (b) Concretagem; (c) Vigas concretadas; (d) Corpos de prova.



Fonte: do Autor, 2018.

## 2.1. METODOLOGIA DO ENSAIO NAS VIGAS

A instrumentação utilizada no ensaio de flexão a quatro pontos teve como finalidade fornecer dados de carga aplicada versus deslocamento. Os equipamentos utilizados foram: Pórtico metálico, cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500 kN, dois transdutores de deslocamento (LVDTs) de 100 mm, além do equipamento de aquisição de Quantum X® que utiliza o software Catman Easy®, ambos da marca HBM®. Todas as vigas foram posicionadas e ensaiadas individualmente de maneira bi apoiada, com o carregamento sendo aplicado na vertical de cima para baixo, diretamente sobre um perfil metálico de modo a transferir para as vigas de concreto, duas cargas pontuais nos terços médios conforme apresentado na Figura 04.

Figura 04: Esquema do ensaio de flexão 4 pontos.



Fonte: do Autor, 2018.

O ensaio possibilitou a obtenção dos seguintes dados:

- Carga para gerar uma deformação de  $l/250$ ;
- Carga de ruptura da viga;
- Deslocamento no momento da ruptura.

Na Figura 05 estão dispostos os equipamentos utilizados para o ensaio de flexão a quatro pontos.

Figura 05: (a) Equipamento de aquisição de Quantum X®; (b) Célula de carga; (c) LVDT.



Fonte: do Autor, 2018.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

#### 3.1. CARACTERIZAÇÃO DO CONCRETO

Os ensaios realizados para a caracterização do concreto foram: Compressão Axial aos 07 e aos 28 dias, bem como ensaio de Módulo de Elasticidade aos 28 dias. Os resultados das propriedades mecânicas obtidos encontram-se na Tabela 03.

Tabela 03 - Controle tecnológico do concreto.

Amostra	Resistência à Compressão Axial (MPa) - 07 dias	Resistência à Compressão Axial (MPa) - 28 dias	Módulo de Elasticidade (GPa)
CP 1	19,80	35,20	30,60
CP 2	19,30	32,30	26,17
CP 3	18,50	37,90	27,08
CP 4	20,50	34,80	31,60
<b>Média</b>	<b>19,53</b>	<b>35,05</b>	<b>28,86</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>0,84</b>	<b>2,29</b>	<b>2,64</b>

Fonte: do Autor, 2018.

Como resultado do *slump-test* obteve-se um abatimento médio de 40 mm, caracterizando a consistência do concreto como medianamente plástica, de acordo com a NBR 6118:2014. Com relação a resistência à compressão axial, cuja média ficou em 35,05 MPa, obteve-se um valor superior a resistência estimada inicialmente de 25 MPa. O Módulo de elasticidade atingiu valor médio dentro do esperado, que para um concreto com resistência de 25 MPa é 28 GPa.

#### 3.2. ENSAIO DE FLEXÃO 4 PONTOS

##### 3.2.1. Carregamento no deslocamento limite (l/250) e na ruptura

Os valores de carga aplicados para atingir o deslocamento limite permitido pela NBR 6118:2014 que, neste caso, é de 7,20 mm, estão apresentados na Tabela 04, já os valores para a carga de ruptura, encontram-se na Tabela 05.



Tabela 04: Carregamento no instante I/250 (kN).

Amostra	Carga (kN)			
	VR	V8	V12	V16
1	27,80	45,58	59,88	46,72
2	28,36	60,00	50,11	49,00
3	24,65	56,67	49,59	47,96
<b>Média</b>	<b>26,94</b>	<b>54,08</b>	<b>53,19</b>	<b>47,89</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>2,00</b>	<b>7,55</b>	<b>5,80</b>	<b>1,14</b>

Fonte: do Autor, 2018.

Considerando a média dos valores pode-se observar que foi necessário um carregamento maior para que as vigas dos grupos V8, V12 e V16, em comparação com as vigas do grupo VR, atingissem o deslocamento limite. Este carregamento foi superior em 100,74 % no grupo V8, 97,44 % no grupo V12 e 77,76 % no grupo V16. Nota-se no entanto que, entre as vigas dos grupos V8, V12 e V16 o comportamento não apresentou diferenças significativas, sendo a média do grupo V8 apenas 1,67 % superior à média do grupo V12 e 12,92 % superior à média do grupo V16.

Tabela 05: Carregamento na ruptura (kN).

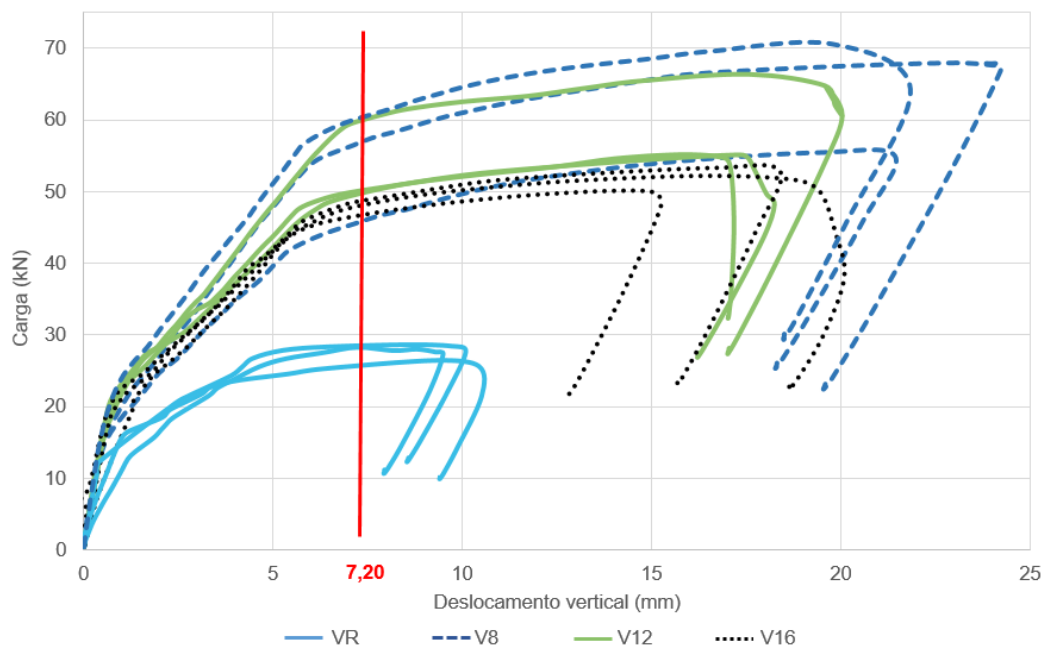
Amostra	Carga (kN)			
	VR	V8	V12	V16
1	29,01	55,62	66,74	50,27
2	28,46	70,85	55,17	53,39
3	25,34	68,09	55,14	52,32
<b>Média</b>	<b>27,60</b>	<b>64,85</b>	<b>59,02</b>	<b>51,99</b>
<b>Desvio Padrão</b>	<b>1,98</b>	<b>8,11</b>	<b>6,69</b>	<b>1,59</b>

Fonte: do Autor, 2018.

Na ruptura também houve um acréscimo nas cargas médias dos grupos V8, V12 e V16 em comparação com a carga média do grupo VR. O maior ganho de capacidade portante é observado nas vigas do grupo V8, sendo 134,96 % superior a carga média suportada pelas vigas do grupo VR. As cargas médias dos grupos V12 e V16 são, respectivamente, 116,84 % e 88,37 % superiores que a carga média do grupo VR. Ao se analisar apenas as vigas que tiveram treliças incorporadas, percebe-se que as vigas do grupo V8 tiveram uma carga média de ruptura 9,88 % superior à carga média de ruptura do grupo V12 e 24,74 % a do grupo V16.

O comportamento das amostras pode ser observado na Figura 06, que apresenta o deslocamento vertical em relação à carga aplicada nas vigas.

Figura 06: Curva carga x deslocamento.



Fonte: do Autor, 2018.

### 3.2.2. Deslocamento vertical para um carregamento de 26,94 kN

Para a análise do deslocamento vertical, foi considerado a aplicação das mesmas cargas utilizadas para as vigas do grupo VR, nas vigas dos grupos V8, V12 e V16, no momento do deslocamento limite. Os resultados obtidos estão exibidos na Tabela 06.

Tabela 06: Deslocamentos para um carregamento de 26,94 kN.

Grupo Amostra	Deslocamento (mm)			
	VR	V8	V12	V16
1	7,20	2,68	1,82	2,20
2	7,20	1,69	2,09	2,27
3	7,20	1,64	1,36	1,88
<b>Média</b>	<b>7,20</b>	<b>2,00</b>	<b>1,76</b>	<b>2,12</b>
<b>Desvio Padrão</b>		<b>0,59</b>	<b>0,37</b>	<b>0,21</b>

Fonte: do Autor, 2018.

Pode-se constatar que para a carga média de 26,94 kN as vigas do grupo V12 apresentam a maior redução no deslocamento vertical, sendo este, em média, 75,55 % menor que o deslocamento encontrado nas vigas do grupo VR. As vigas dos grupos V8 e V16 também tiveram redução nos seus deslocamentos, em comparação com VR, de 72,22 % e 70,55 % respectivamente. Observa-se que a redução dos deslocamentos não é proporcional à altura da treliça, sendo a maior redução vista nas vigas do grupo V12, seguidas do grupo V8 e por último o grupo V16.

### 3.3. ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS RESULTADOS

Para avaliar a hipótese de diferenças significativas entre as médias foi realizada a análise de variância (ANOVA), complementada pelo teste Tukey como teste de comparação de médias. Em todos os testes utilizou o nível de significância de 5 % ( $\alpha = 0,05$ ). Na Tabela 07 estão os resultados das ANOVAS realizadas.

Tabela 07: Resultado das ANOVAS

	<b>F</b>		<b>Fcrítico</b>	<b>p</b>	
Cargas no instante do deslocamento limite	20,15	>	4,07	0,00044	✓
cargas no instante da ruptura	27,50	>	4,07	0,00015	✓
Deslocamento para uma carga de 26,94 kN	157,93	>	4,07	1,86E-07	✓

Fonte: do Autor, 2018.

Em todas as análises obteve-se como resultado um valor para F superior ao valor do Fcrítico, e um valor de p inferior a  $\alpha$  (0,05). Sendo assim, rejeita-se a hipótese de que as amostras são estatisticamente iguais, tornando-se necessária a utilização do método de Tukey para a identificação de quais amostras diferem entre si. Os resultados do teste estão demonstrados na Tabela 08.

Tabela 08: Teste de Tukey.

<b>Grupo</b>	<b>Carregamento em l/250 (kN)</b>	<b>Carregamento na ruptura (kN)</b>	<b>Deslocamento (mm) com um carregamento de 26,94 kN</b>
VR	26,94 a	27,60 a	7,20 a
V8	54,08 b	64,85 b	2,00 b
V12	53,19 b	59,02 b	1,76 b
V16	47,89 b	51,99 b	2,12 b

Médias seguidas pela mesma letra não diferem entre si ao nível de significância de 5% pelo teste Tukey.

Fonte: do Autor, 2018.

Como resultado, o teste de Tukey apontou diferença estatisticamente significativa ao comparar-se o carregamento no deslocamento limite nas vigas dos grupos V8, V12 e V16 em relação ao carregamento no deslocamento limite nas vigas do grupo VR. Entretanto não há diferença estatisticamente significativa entre os carregamentos das vigas dos grupos V8, V12 e V16.

Observa-se o mesmo comportamento para o carregamento na ruptura, onde as médias dos grupos V8, V12 e V16 não diferem estatisticamente entre si, divergindo apenas das vigas do grupo VR. Também aqui, observa-se que a altura da treliça não produziu resultados com diferença significativa nos deslocamentos.

#### 4. CONCLUSÕES

A partir da análise dos resultados obtidos, pode-se concluir que:

- As vigas que tiveram treliças incorporadas apresentaram um ganho na capacidade portante tanto na ruptura quanto no deslocamento limite;
- O maior incremento de carga é observado nas vigas do grupo V8, em comparação com as vigas do grupo VR, sendo este acréscimo de 134,96 %;
- Com a utilização da mesma carga para todos os grupos de vigas, obteve-se uma redução dos deslocamentos nas vigas dos grupos V8, V12 e V16, em comparação as vigas dos grupos VR, de 75,55 %, 72,22 % e 70,55 % respectivamente;
- Considerando a mesma seção transversal, pode-se constatar um ganho de rigidez nas vigas com a treliça incorporada, porém constatou-se estatisticamente que a altura da treliça não influencia nos resultados;

Como sugestões para trabalhos futuros recomenda-se:

- Estudar a influência da altura da viga no incremento de carga alcançado com o uso de treliças;
- Avaliar se a resistência do concreto influi nos deslocamentos verticais.



## 5. REFERÊNCIAS

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 5739: Concreto – Ensaio de Compressão de corpos-de-prova cilíndricos**. Rio de Janeiro, 2018.

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

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão**. Rio de Janeiro, 2017.

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.

GUARDA, Mônica Cristina Cardoso da. **Cálculo de deslocamentos em pavimentos de edifícios de concreto armado**. 2005. 253 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/18/18134/tde-06042016-103726/pt-br.php>>. Acesso em: 29 ago. 2017.

MATTOS, Lais. **ANÁLISE EXPERIMENTAL DA INFLUÊNCIA DE UMA TRELIÇA ELETROSOLDADA INCORPORADA EM VIGA DE CONCRETO ARMADO NOS DESLOCAMENTOS VERTICAIS**. 2017. 12 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, Criciúma, 2017

SILVA, Aloísio Sthéfano Corrêa. **ANÁLISE DE VIGAS DE CONCRETO ARMADO REFORÇADAS À FLEXÃO E AO CISALHAMENTO COM FIBRAS DE CARBONO: ABORDAGEM TEÓRICA E COMPUTACIONAL**. 2016. 220 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia de Estruturas, Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2016. Disponível em: <[https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/21389/1/DISSERTAÇÃO\\_MESTRADO\\_ALOÍSIO\\_STHÉFANO\\_REVISADA.pdf](https://repositorio.ufba.br/ri/bitstream/ri/21389/1/DISSERTAÇÃO_MESTRADO_ALOÍSIO_STHÉFANO_REVISADA.pdf)>. Acesso em: 23 ago. 2017.

SILVA, Augusto Ottoni Bueno da. **TRELIÇA TUBULAR MISTA COM MÚLTIPLOS PAINÉIS VIERENDEEL**. 2013. 339 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia Civil, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2013. Disponível em: <[https://slide.mx/download/trelia-tubular-mista-com-multiplos-paineis-vierendeel-2013\\_5a1f7273f581715e7d9bfdfb\\_pdf](https://slide.mx/download/trelia-tubular-mista-com-multiplos-paineis-vierendeel-2013_5a1f7273f581715e7d9bfdfb_pdf)>. Acesso em: 20 mar. 2018.