



Análise experimental da influência de treliças eletrosoldadas incorporadas em vigas de concreto armado na flexão

Jéssica Bauer¹

Alexandre Vargas²

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo avaliar experimentalmente, 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. 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. Cada grupo manteve a mesma armadura de flexão alterando apenas a treliça adicionada, sendo: Grupo VR (referência), com armadura convencional sem treliça incorporada; Grupo V8, com treliça de 8 cm de altura incorporada, grupo V12, com treliça de 12 cm de altura incorporada, e o grupo V16, com treliça de 16 cm de altura incorporada. Todas as amostras foram submetidas ao ensaio de flexão a quatro pontos. Como resultado, observou-se que na ruptura houve um acréscimo significativo nas cargas das vigas dos grupos V8, V12 e V16, em relação as vigas do grupo de referência VR, com percentuais 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 auxílio de análise estatística por meio da ANOVA e teste de Tukey, que a presença da treliça na viga aumentou significativamente sua capacidade portante e reduziu, também com valores significativos, a flecha. No entanto pode-se, também concluir, que a altura da treliça não influenciou nos resultados na comparação entre as vigas que tiveram esse elemento adicionado.

Palavras-Chave: Treliça eletrosoldada, vigas de concreto armado, vigas com treliça.

Experimental analysis of the influence of electrowelded trusses embedded in reinforced concrete beams in bending

Abstract: The present work aims to evaluate experimentally, the influence of electrowelded trusses of different heights, incorporated in reinforced concrete beams submitted to flexion, as to the load capacity and vertical displacements. Twelve reinforced concrete beams with a cross section of 15 x 25 cm and a length of 190 cm were made, divided into four groups of three. Each group maintained the same flexural reinforcement, changing only the added truss, being: Group VR (reference), with conventional reinforcement without incorporated truss;

¹ Engenheira Civil, Universidade do Extremo Sul Catarinense, jessica-clezer@hotmail.com.

² Mestre, Universidade do Extremo Sul Catarinense, avargas@unesc.net.



Group V8, with 8 cm high truss built in, Group V12, with 12 cm high truss built in, and Group V16, with 16 cm high truss built in. All samples were subjected to the four point flexion test. As a result, it was observed that in the rupture there was a significant increase in the loads of the beams of the groups V8, V12 and V16, in relation to the beams of the reference group VR, with percentages of 134.96%, 116.84% and 88, 37%, respectively. It was also found that for the same load that caused the limit displacement in the beams of the VR group, there was an average reduction of 75.55% in the vertical displacement of the V8 group, 72.22% in the V12 group and 70.55% in the group V16. It can be concluded, with the aid of statistical analysis through ANOVA and Tukey's test, that the presence of the truss in the beam significantly increased its bearing capacity and reduced, also with significant values, the arrow. However, it can also be concluded that the height of the truss did not influence the results in the comparison between the beams that had this element added.

Keywords: Electrowelded truss, reinforced concrete beams, truss beams.

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 conseqüentemente 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 Norma Brasileira 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 é caracterizado por vibrações indesejáveis ou efeito visual desagradável”. Ou seja, esta aceitabilidade está diretamente associada ao conforto dos usuários que são baseados nos efeitos visuais desconfortáveis e a vibrações excessivas. A Tabela 1 apresenta os deslocamentos limites para uma viga bi apoiada em função de seu vão efetivo.

Tabela 1: Limites para deslocamentos (Fonte: NBR 6118:2014).

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

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, 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. As treliças eletrosoldadas quando incorporadas à vigas de concreto armado com armadura convencional, poderiam reforçar a taxa de armadura e um eventual aumento da sua rigidez, aumentando assim, em teoria, seu momento de inércia e conseqüentemente diminuindo os deslocamentos verticais. Nesse contexto, esse trabalho tem como objetivo,

analisar experimentalmente, a influência de treliças eletrosoldadas com diferentes alturas, incorporadas em vigas usuais de concreto armado, no resultado dos deslocamentos verticais imediatos e na capacidade portante desses elementos estruturais, dando continuidade à pesquisa de Mattos (2017).

Materiais e métodos

Para o desenvolvimento do trabalho foram moldadas doze 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 doze vigas foram divididas em quatro grupos de três, sendo a nomenclatura utilizada para cada grupo descrita a seguir.

- a) Grupo VR: três vigas (VR-1, VR-2 e VR-3) com armadura convencional, utilizado como grupo de referência;
- b) Grupo V8: três vigas (V8-1, V8-2 e V8-3) com treliça de 8 cm de altura incorporada;
- c) Grupo V12: três vigas (V12-1, V12-2 e V12-3) com treliça de 12 cm de altura incorporada;
- d) 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 mostra o detalhamento das treliças utilizadas.

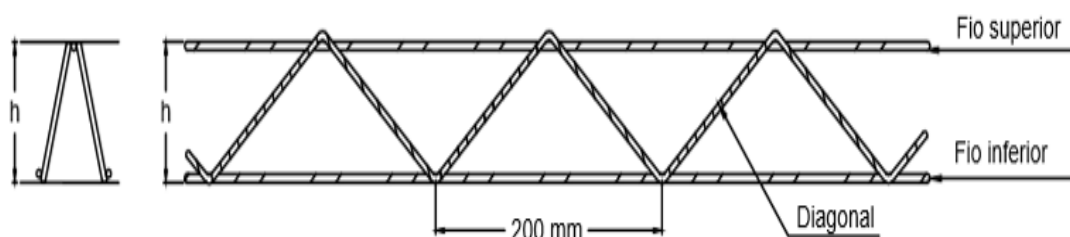


Figura 1. Detalhamento treliças.

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 2: Propriedades das treliças utilizadas em cada grupo.

Grupo	Treliça			
	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

Todos os elementos confeccionados foram dimensionados com área de aço de armadura de flexão de acordo com a NBR 6118:2014, visando a maior proximidade entre as áreas de aço de cada grupo estudado. Todas as doze vigas possuem estribos de Ø 5,0 mm a cada 10 cm e porta estribos de Ø 5,0 mm, aço CA-60. As vigas do grupo VR têm como armadura de combate a flexão 2 barras de Ø 8,0 mm, totalizando uma área de aço de 1,0 cm². As vigas dos grupos V8, V12 e V16 têm como armadura de combate a 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 0,92 cm², 1,02 cm² e 1,02 cm², respectivamente.

A Figura 2 apresenta o detalhamento da seção transversal de cada grupo de vigas.

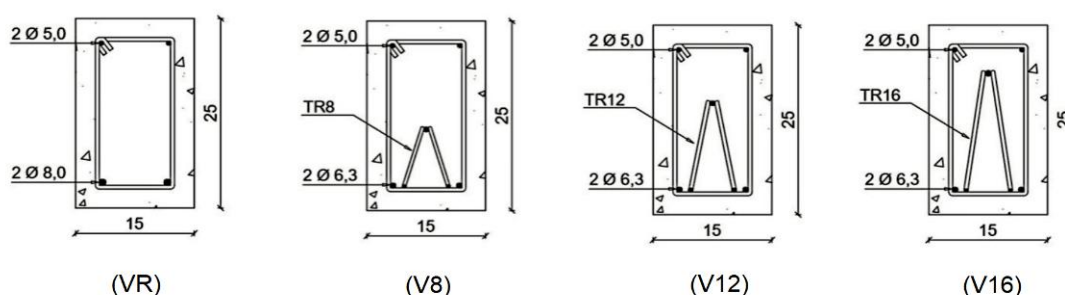


Figura 2: Detalhamento da armadura utilizada em cada grupo.

O concreto utilizado para a execução das vigas e dos corpos de prova foi moldado in loco, com um traço próprio da construtora para uma resistência de 25 MPa. Na produção do concreto foi utilizada uma betoneira de 150 litros, com capacidade de concretar 2 vigas por etapa, sendo então necessário que se repetisse o processo seis vezes. A fim de realizar o

controle tecnológico do concreto foi verificada a trabalhabilidade através do ensaio de abatimento de cone (slump teste) antes de cada concretagem. Também foram moldados corpos de prova para cada concretagem, conforme especificações da NBR 5738:2015, e ensaiados para a verificação da resistência a compressão axial, de acordo com as orientações estabelecidas pela NBR 5739:2007, e do módulo de elasticidade, conforme a NBR 8522:2008. Após a concretagem, as vigas permaneceram no local, abrigadas e submetidas ao processo de cura, sendo desformadas e transportadas para o IParque após 28 dias para a realização os ensaios. A Figura 3 apresenta o processo de moldagem das vigas e corpos de prova.



Figura 3: (a) Fôrmas; (b) Concretagem; (c) Vigas concretadas; (d) Corpos de prova.

Na idade de vinte e oito dias realizou-se o ensaio de resistência à flexão de quatro pontos. A instrumentação utilizada tem por objetivo fornecer dados de carga aplicada e deslocamento. Os equipamentos utilizados foram: Pórtico metálico montado sobre uma laje de reação, cilindro hidráulico da marca ENERPAC com capacidade de carga de 500 kN, transdutor de deslocamento (LVDT) 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. O carregamento foi aplicado na vertical de cima para baixo, diretamente sobre um perfil metálico com rigidez

apropriada a transferir para as vigas de concreto, duas cargas pontuais nos terços médios, conforme apresentado na Figura 4.



Figura 01: Esquema do ensaio de flexão 4 pontos.

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 5 são apresentados os equipamentos utilizados para o ensaio de flexão a quatro pontos.

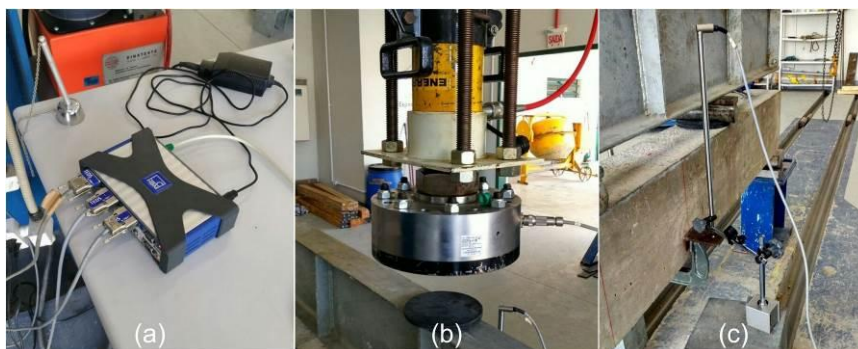


Figura 5: (a) equipamento de aquisição de Quantum X@; (b)Célula de carga; (c) LVDT.

Resultados e discussões

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 3.

Tabela 01 - 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
Média	19,53	35,05	28,86
Desvio Padrão	0,84	2,29	2,64

Como resultado do slump-test obteve-se um abatimento médio de 4 cm, caracterizando a consistência do concreto como medianamente plástica, de acordo com a ABNT NBR 6118:2014. Com relação a resistência à compressão axial, cuja média geral 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.

Com relação ao ensaio de flexão 4 pontos, no carregamento no deslocamento máximo (L/250) e na ruptura, os valores de carga aplicados para atingir o deslocamento máximo permitido pela NBR 6118:2014 que, neste caso, é de 7,20 mm, estão apresentados na Tabela 4, já os valores para a carga de ruptura, encontram-se na Tabela 5.

Tabela 4: Carregamento no instante L/250 (kN).

Grupo Amostra	VR (kN)	V8 (kN)	V12 (kN)	V16 (kN)
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
Média	26,94	54,08	53,19	47,89
Desvio Padrão	1,64	6,16	4,73	0,93

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 5: Carregamento na ruptura (kN).

Grupo Amostra	VR (kN)	V8 (kN)	V12 (kN)	V16 (kN)
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
Média	27,60	64,85	59,02	51,99
Desvio Padrão	1,62	6,63	5,46	1,29

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 6, que apresenta o deslocamento vertical em relação à carga aplicada nas vigas.

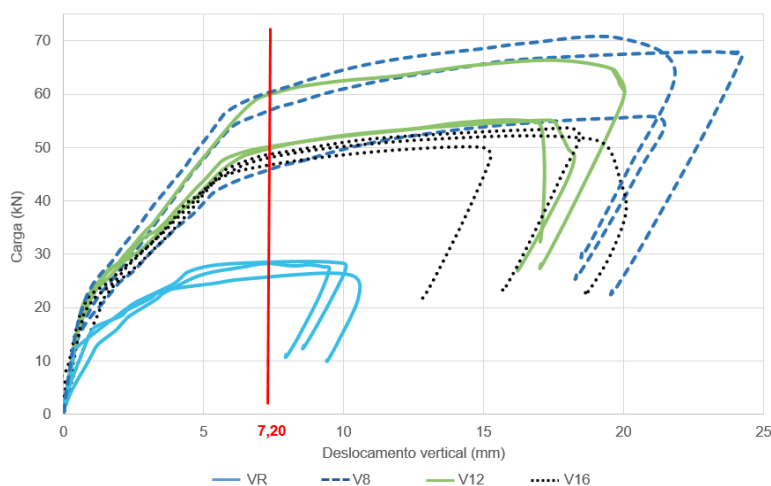


Figura 6: Curva carga x deslocamento.

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 6.

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

Carga (kN)	Deslocamento (mm)			
	VR	V8	V12	V16
27,80	7,20	2,68	1,82	2,20
28,36	7,20	1,69	2,09	2,27
24,65	7,20	1,64	1,36	1,88
Média	26,94	7,20	2,00	1,76

Verifica-se 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. Também aqui, observa-se que a altura da treliça não produziu resultados com diferença significativa.

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 7: Resultado das ANOVAS

	F		Fcrítico	p	
Cargas no instante da flecha limite	20,15	>	4,07	0,00044	✓
Cargas no instante da ruptura	27,50	>	4,07	0,00015	✓
Flechas para carga de 26,94 kN	157,93	>	4,07	1,86E-07	✓

Em todas as análises obteve-se como resultado um valor para F superior ao valor do Fcrítico, e um valor de p inferior a α (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 8.

Tabela 8: Teste de Tukey.

Grupo	Carregamento em L/250 (kN)	Carregamento na ruptura (kN)	Deslocamento (mm) com um carregamento de 26,94 kN
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. Sendo assim, o teste 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 as vigas dos grupos V8, V12 e V16.

Observa-se que o comportamento para o carregamento na ruptura permanece o mesmo que a análise para o carregamento no deslocamento limite, onde as médias dos grupos V8, V12 e V16 não diferem estatisticamente entre si, divergindo apenas das vigas do grupo VR.

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 %; considerando a mesma seção transversal, pode-se constatar um ganho de rigidez nas vigas com a treliça eletrosoldada incorporada, porém constatou-se estatisticamente que não há diferença significativa entre as alturas das treliças utilizadas; com a utilização da mesma carga para todos os grupos de vigas, obteve-se uma redução da flecha nas vigas dos grupos V8, V12 e V16, em comparação as vigas dos grupos VR, de 75,55 %, 72,22 % e 70,55 % respectivamente.



Sugestão para trabalhos futuros: reproduzir esse trabalho para diferentes alturas de vigas e treliças.

Referências bibliográficas

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, 2007.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6118**: Projeto de estruturas de concreto: procedimentos. Rio de Janeiro, 2008.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8522**: Concreto – Determinação do módulo estático de elasticidade à compressão. Rio de Janeiro, 2014.

CARVALHO, R. C.; FIGUEIREDO F. J. R. **Cálculo e detalhamento de estruturas usuais de concreto armado: segundo a NBR 6118:2014**. 4. ed. São Carlos, SP: EdUFSCar, 2014. 415 p.

GUARDA, M. C. C. **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.

MATTOS, L. **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, A. S. C. **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.