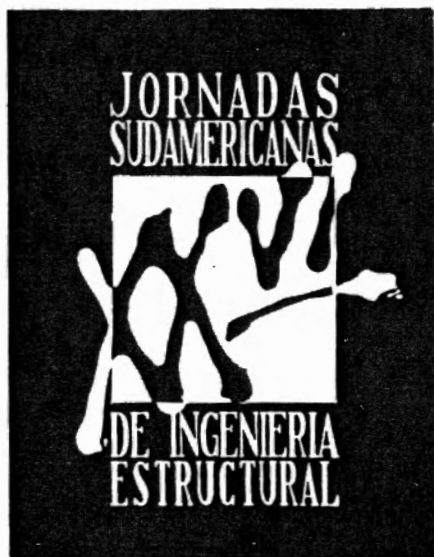




- * **ASAMBLEA ANUAL DEL COMITE
LATINOAMERICANO DE ESTRUCTURAS
(CLAES)**
- * **ASAMBLEA DE LA ASOCIACION
SUDAMERICANA DE INGENIEROS
ESTRUCTURALES
(ASAIE)**

**15 al 19 de Noviembre de 1993
Montevideo - Uruguay**

**DEPARTAMENTO DE ESTRUTURAS
ESCOLA DE ENGENHARIA DE SAO CARLOS**

M E M O R I A S

2
VOLUMEN



15 al 19 de Noviembre de 1983
Montevideo - Uruguay

ESTUDO EXPERIMENTAL DO COMPORTAMENTO DE "LIGAÇÕES COMBINADAS" DE AÇO - LIGAÇÕES REBITES-SOLDA ELÉTRICA, PARAFUSOS-REBITES E PARAFUSOS-SOLDA ELÉTRICA

Roberto M. Gonçalves

Walter A. Nimir

Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo

SUMÁRIO

Apresentam-se, neste trabalho, os resultados experimentais de "ligações combinadas" em estruturas de aço, caracterizando o comportamento de ligações compostas por solda-rebitos, solda-parafusos e rebites-parafusos. Foram ensaiados dezoito modelos compreendendo vários tipos de combinações dos elementos de ligação.

1- INTRODUÇÃO

As ligações em estruturas metálicas são de extrema importância pois são responsáveis pela transmissão das deformações pelos elementos de uma estrutura.

Nas estruturas de aço, construídas atualmente, é comum a utilização de mais de um elemento de ligação, como por exemplo solda elétrica associada a parafusos. Estas denominam-se ligações combinadas, caracterizadas pela atuação simultânea de pelo menos dois tipos diferentes de elementos de ligação. Esta combinação é utilizada com um comportamento bem definido, evitando-se associar elementos diferentes para a mesma solicitação.

Como exemplo pode-se citar uma ligação viga-coluna articulada, onde a cantoneira de alma está soldada à viga e ligada à coluna através de parafusos. A força cortante será transferida da viga para a cantoneira, através da solda elétrica e da cantoneira para a coluna através dos

0860935

parafusos.

Há toda uma metodologia de cálculo, para estes exemplos de ligações combinadas, na qual cada elemento de ligação (solda e parafusos) tem um comportamento independente e bem definido.

A utilização de ligações combinadas para reforço ou aumento de capacidade resistente de uma estrutura, tem uma outra conotação. Nestes casos os elementos da ligação passam a compartilhar as mesmas deformações. Por exemplo, no caso do reforço de uma ligação rebitada — comum nas pontes ferroviárias do Brasil — com parafusos de alta resistência ou solda elétrica, os elementos de ligação são solicitados de maneira simultânea.

A atuação simultânea de rebites, solda elétrica e parafusos tem como principal problema a compatibilização das deformações relativas de cada um destes elementos de ligação. A análise do comportamento destes elementos de ligação passa a ser importante, principalmente nos casos de reforços de ligações, em particular das pontes.

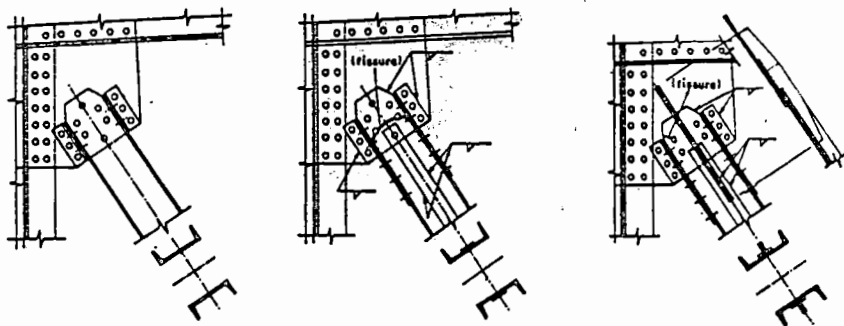
Os trabalhos existentes no mundo sobre este tipo de ligação são em número reduzido e na sua grande maioria consistem no estudo de nós com rebites e solda elétrica ou parafusos, restritos a resultados de modelos de pequenas dimensões.

A utilização de ligações combinadas na recuperação ou aumento da capacidade de pontes deve ser acompanhada do estudo da fadiga destas ligações, um fator adicional a ser considerado.

É possível afirmar que as pontes rebitadas, devido à redundância estrutural deste tipo de elemento de ligação, quase não apresentam problemas relacionados à fadiga exceto quando são submetidas a ciclos de ações extremamente severos, sobrecargas excessivas em relação a capacidade resistente ou detalhes que favoreçam a concentração de tensões. Este último aspecto é raro tendo em vista o grande avanço tecnológico obtido neste tipo de ponte entre as décadas de 20 a 50, época da construção da maioria destas pontes.

As normas americanas (ASTHO - Standard Specification for Highway Bridges e AREA - American Railway Engineering Association) admitem a utilização de ligações combinadas, porém no caso de utilização de solda elétrica, estas deverão ter capacidade para toda a solicitação, independente da capacidade dos rebites. Esta recomendação deve-se a possibilidade de ocorrência da fadiga.

A figura 1 ilustra um nó rebitado reforçado com solda elétrica onde ocorreu a fadiga da ligação.



Nó Original

Reforço Tipo 1

Reforço Tipo 2

Figura 1- Fadiga em um nó de ponte reforçado com solda

Outro aspecto importante a ser considerado na utilização da solda elétrica em reforços de pontes é a soldabilidade do aço estrutural, muitas pontes antigas foram fabricadas com aços de baixa soldabilidade ou mesmo em ferro fundido. Poucos trabalhos tem abordado esta questão, algumas observações podem ser feitas.

No caso do ferro fundido e do aço pudlado a questão primordial consiste no fato de que, na soldagem, ocorre frequentemente a inclusão de escória. Estas soldas com inclusões possibilitam a concentração de tensões que favorecem a ocorrência da fadiga e também da corrosão.

As pontes fabricadas com o aço ASTM A-7, quando soldadas, apresentam o problema de fissuras na região da solda e exigem, como pré condição para a soldagem, um pré aquecimento (200 a 315°C) mantido durante até duas horas após a soldagem.

Este pré aquecimento é difícil de ser executado em obras de recuperação de pontes o que praticamente inviabiliza a utilização de ligações combinadas de solda elétrica e rebites em pontes executadas com o aço ASTM A-7.

2- COMPORTAMENTO DAS LIGAÇÕES COMBINADAS

A combinação de diferentes elementos de ligação compartilhando a mesma solicitação consiste, inicialmente, na análise das deformações de cada um destes elementos.

A figura 2 ilustra, esquematicamente, o comportamento dos rebites, parafusos de alta resistência por contato e por atrito, e solda elétrica.

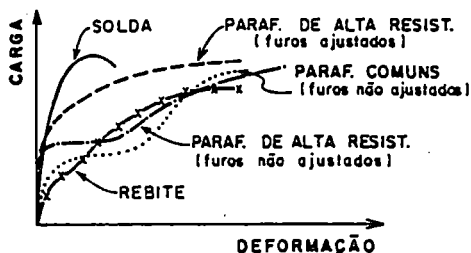


Figura 2- Comportamento de ligações (solda, rebite e parafusos)

A análise da figura 2 permite concluir que o comportamento de cada elemento de ligação está diretamente relacionado com o "deslizamento" ou não dos elementos da ligação.

As ligações rebitadas e as parafusadas por contato apresentam deslocamentos maiores, pois a transferência das deformações exige o contato rebite com as chapas sendo mais flexível que a ligação soldada e a usada por atrito.

A utilização da combinação de elementos de ligação compartilhando as deformações deve, necessariamente, considerar esta "flexibilidade" relativa, ou seja, recomenda-se combinações de solda elétrica e parafusos de resistência ajustados, bem como rebites e parafusos solicitados por atrito.

Cabe ressaltar que no reforço de uma estrutura, o elemento de ligação presente deverá ter capacidade para resistir as tensões das ações que já existem na estrutura. O elemento de reforço irá compartilhar as tensões das ações que venham a ocorrer.

MODELOS ENSAIADOS E METODOLOGIA DE ENSAIO

Foram ensaiados modelos compostos de perfis tipo U, I e chapas, para diferentes tipos de ligação sendo que a figura 3 ilustra as características gerais dos modelos ensaiados.

As dimensões dos modelos foram obtidas em função das limitações de altura, largura e capacidade da máquina universal de ensaios MTS modelo 815 sistema hidráulico servo controlado, capacidade de 2700kN à compressão.

Os ensaios foram realizados com três etapas de carregamento e descarregamento (aproximadamente um quarto da força teórica de ruptura) seguido ao escorvamento do modelo e após isto, foi aplicado uma força crescente até a ruptura. As medições dos deslocamentos foram realizadas

automaticamente pela máquina universal de ensaio, com a força aplicada lentamente, caracterizando um ensaio estático.

A Tabela 2 resume as características dos elementos de ligação para os dezoito modelos ensaiados.

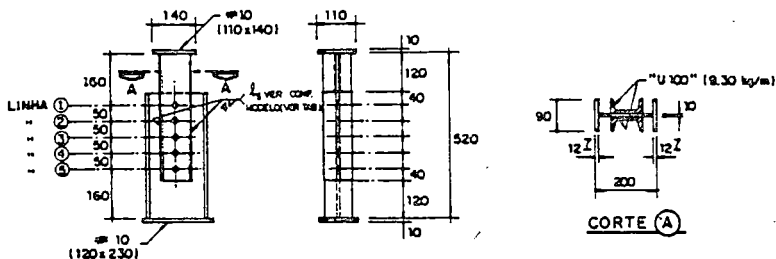


Figura 3 - Esquema e dimensões dos modelos ensaiados

Foram utilizados rebites de diâmetro nominal 12,5mm e diâmetro do furo 14mm, aço SAE 1010; parafusos ASTM A325 diâmetro nominal de 12,5mm; solda elétrica com altura nominal de 4mm e eletrodos E60 ($f_w = 415\text{MPa}$).

Os ensaios de caracterização dos aços dos perfis, rebites e parafusos foram realizados a partir de três corpos de prova cilíndricos, ensaiados à tração, com medições do alongamento e das forças correspondentes ao escoamento e ruptura.

4- RESULTADOS DOS ENSAIOS E COMENTÁRIOS GERAIS

A Tabela 1 ilustra os resultados obtidos para a caracterização dos materiais onde observa-se valores bem acima dos normalizados. Este fato tem sido observado em outros trabalhos desenvolvidos no Laboratório de Estruturas da EESC-USP.

TABELA 1 - VALORES MÉDIOS DE TENSÃO DE ESCOAMENTO E RUPTURA

	Valores Medidos		Valores Normalizados	
	$\bar{F}_y$ (MPa)	$\bar{F}_u$ (MPa)	f_y (MPa)	f_u (MPa)
Perfil U	359	428	250	400
Perfil I	328	496	250	400
Rebite	338	446	183	330
Parafuso	870	1030	635	825

A Tabela 2 ilustra as características dos modelos ensaiados, os valores teóricos obtidos considerando a tensões normalizadas e as tensões

médias obtidas nos ensaios de caracterização dos aços, bem como os valores da força de ruptura dos modelos ensaiados.

Os valores nominais da resistência foram obtidos através dos preceitos da normalização clássica para dimensionamento de rebites, solda e parafusos sem nenhum tipo de fator de minoração de resistência.

Os modelos de 1 a 6 foram utilizados como referência para os demais ensaios, pois utilizam um único tipo de elemento de ligação.

TABELA 2 - CARACTERÍSTICAS DOS MODELOS E RESULTADOS

RESISTÊNCIA NOMINAL DOS MODELOS DE LIGAÇÕES REBITADAS E MISTAS

MODELO	REBITE d=14mm SAE-1010 (Nro)	SOLDA E _s = 4mm E-60XX L _s	PARAFUSO d=12,5mm A-325 (Nro)	RESISTÊNCIA NOMINAL (kg)			FORÇA MEDIDA RUPTURA (kg)		
				REBITE	SOLDA	PARAF.	MODELO 1	MODELO 2	MODELO 3
I	5	--	--	381 (511)*	--	--	570 ⁽¹⁾	576 ⁽³⁾	550 ⁽³⁾
II	--	L _s = 16cm	--	--	364 (551)*	--	890 ⁽¹⁾	--	--
	--	L _s = 11cm	--	--	264 (412)*	--	--	522 ⁽²⁾	--
III	--	--	Linhas (2-4)	--	--	313 (390)*	320 ⁽³⁾	385 ⁽³⁾	--
IV	--	--	Linhas (1-5)	--	--	313 (390)*	380 ⁽³⁾	412 ⁽³⁾	--
V	5	L _s = 11cm	--	381	364	--	850 ⁽¹⁾	856 ⁽¹⁾	--
VI	3 (2-3-4)	--	--	228 (306)*	--	--	370 ⁽³⁾	--	--
VII	3 (2-3-4)	L _s = 11cm	--	228	264	--	620 ⁽¹⁾	--	--
VIII	3 (2-3-4)	--	Linhas (1-5)	228	--	313	660 ⁽³⁾	--	--
IX	3 (1-3-5)	--	--	228 (306)*	--	--	383 ⁽³⁾	--	--
X	3 (1-3-5)	L _s = 11cm	--	228	264	--	780 ⁽¹⁾	--	--
XI	3 (1-3-5)	--	Linhas (2-4)	228	--	313	620 ⁽³⁾	--	--

Nota: Os valores de resistência nominal entre parêntesis corresponde aos obtidos com as tensões médias dos ensaios de corpos de prova dos materiais e elementos de ligações.

(*) Tipos de Ruínas observadas

(1) Escoamento dos Perfis

(2) Ruptura da Solda

(3) Ruptura por Cisalhamento (Rebites ou Parafusos)

Os gráficos 1 a 6 ilustram o comportamento força aplicada - deslocamento para os modelos ensaiados.

Observa-se, no Gráfico 1, a concordância dos resultados dos três modelos ensaiados e também a ausência de deslocamentos iniciais (perfeito preenchimento dos furos durante a rebitagem).

Gráfico 1

REBITES

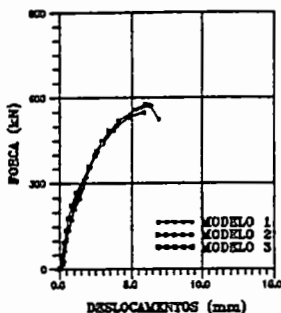


Gráfico 2

REBITE(1-3-5)

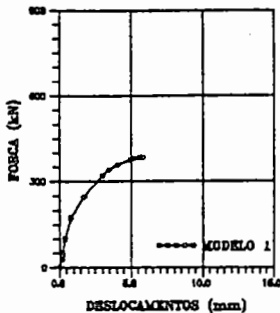


Gráfico 3

REBITE(2-3-4)

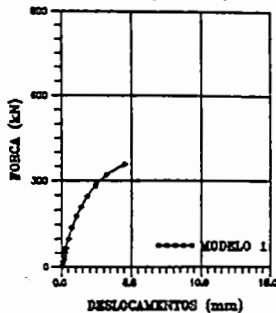


Gráfico 4

PARAFUSOS (1-5)

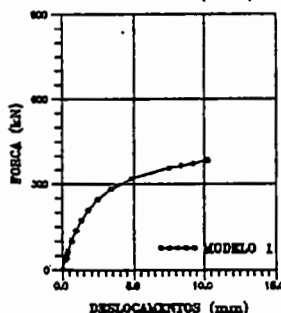


Gráfico 5

PARAFUSOS (2-4)

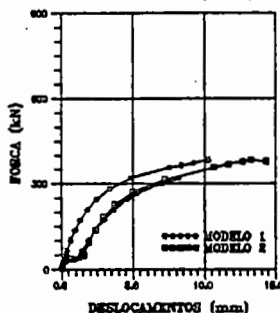
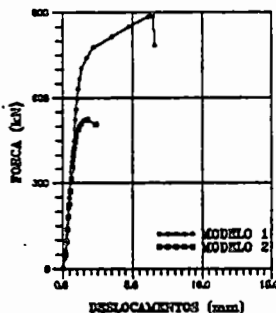


Gráfico 6

SOLDA ELETRICA



O comportamento dos três rebites, apresentados nos Gráficos 2 e 3, indica que a posição dos mesmos não teve influência sobre o comportamento de força aplicada-deslocamento. Nos Gráficos 4 e 5, observa-se um comportamento distinto força aplicada-deslocamento, no primeiro há o deslizamento dos perfis até o contato dos parafusos e os perfis, no segundo este não aparece (carregamento aplicado após o escorvamento).

O comportamento da solda elétrica pode ser observado no Gráfico 6 sendo que no modelo 1 ($l_s=16\text{cm}$) ocorreu a plastificação do perfil, o deslocamento indica este fato; no segundo modelo ($l_s=11\text{cm}$) ocorreu a ruptura de solda. Salienta-se a concordância dos modelos no aspecto força aplicada-deslocamento.

Como já comentado, o comportamento da ligação combinada esta diretamente relacionado com a existência ou não do deslocamento de cada um dos elementos utilizados nas ligações.

Os Gráficos 7 a 9 ilustram a composição da solda e rebites onde estão plotados o comportamento força aplicada-deslocamento isoladamente para a

solda e os rebites, bem como o modelo ensaiado com ambos, rebitado e reforçado com a solda.

Gráfico 7

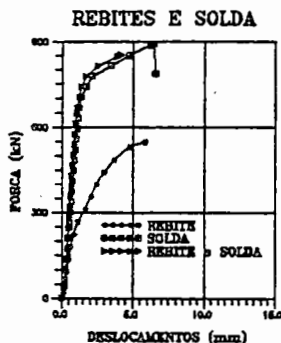


Gráfico 8

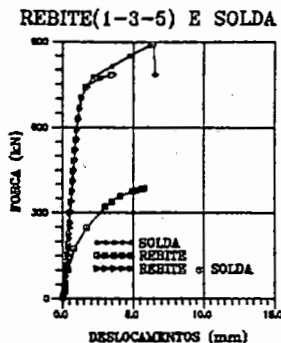
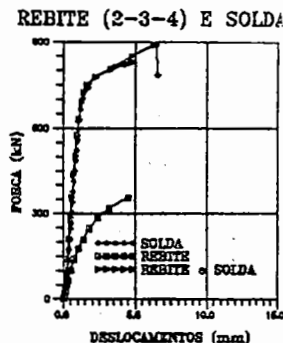


Gráfico 9



A análise dos gráficos acima permite concluir que a solda elétrica é quem determina o comportamento da ligação, não permitindo nenhum deslocamento, o que por si só permite concluir que será esta quem determinará a capacidade última da ligação.

Cabe ressaltar que, a solda foi executada manualmente o que já confere uma certa variabilidade no comportamento força aplicada - deslocamento, porém os resultados foram satisfatório do ponto de vista de consistência. A ressalva decorre do fato que a capacidade resistente última, foi muito superior a inicialmente prevista, ultrapassando a tensão de escoamento do material.

Gráfico 10

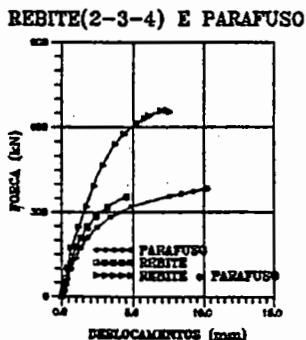
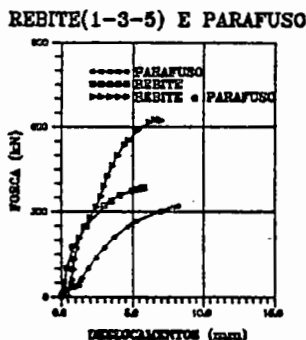


Gráfico 11



Os Gráficos 10 e 11 ilustram o comportamento das ligações de rebites e parafusos onde estão plotados os resultados: o modelo só com rebites, parafusos e a composição de ambos.

Na ligação rebitada com parafusos observa-se que o "deslizamento" praticamente não ocorreu até a força aplicada correspondente a capacidade da ligação rebitada (250KN). A partir daí ocorreu uma mudança (alteração na inclinação) no comportamento força aplicada-deslocamento característica de um "deslizamento". É possível afirmar que a partir deste ponto os parafusos passam a ser efetivamente solicitados.

Cabe também salientar que o fato da ligação parafusada (por contato) apresenta deslocamentos superiores as rebitadas. Na composição de ambos, com a resistência dos parafusos sendo superior a dos rebites, este aspecto deixa de ser relevante se os furos forem ajustados.

Não foi estudado o caso de ligações rebitadas associadas a parafusos de alta resistência trabalhando por atrito.

5- CONCLUSÕES

Este trabalho experimental foi conduzido no sentido de melhor compreender o comportamento de ligações combinados, cientes de que o número de modelos ensaiados e as condições de ensaio (somente ação estática) não permitem, a partir dos resultados obtidos, estabelecer critérios ou sugestões para o dimensionamento.

As observações obtidas a partir do ensaios e dos dados coletados na bibliografia permitem as seguintes conclusões:

- O reforço ou recuperação de ligações deve considerar o comportamento do elemento de ligação existente, ou seja, reforço de ligações rebitadas deverá ser feito primordialmente com rebites ou parafusos (considerar os problemas advindos da vibração no caso do reforço de pontes com ligações parafusadas);

- O reforço de uma ligação com solda elétrica deverá ser calculada para que esta tenha capacidade de resistir a todas as ações (inclusive as considerações de fadiga);

- Não se recomenda o reforço soldado para pontes com aços ASTM A-7;
- Deve-se analisar o comportamento de toda a estrutura quando esta recebe um reforço localizado, principalmente quando utiliza-se solda elétrica (há enrijecimento localizado);

- O resultados obtidos nos ensaios são importantes para a análise do comportamento dos elementos de ligação, porém são necessários outros estudos nos quais os modelos tenham dimensões próximas das reais e sejam também

etidos a ações de tração, compressão e flexão , com carregamentos icos.

DECIMENTOS

Os autores agradecem ao Departamento de Geotecnia da EESC-USP pela ização da máquina universal de ensaio e à FAPESP Fundação de Amparo à uisa do Estado de São Paulo pelo apoio financeiro.

IOGRAFIA

TO. Standard specifications for highway bridges: with 1977-1981 nterim specifications. American Association of State Highway and ransportation Officials.

ICAN RAILWAY ENGINEERING ASSOCIATION. Steel structures -Chapter 15. n: Manual for railway engineering. AREA, 1986.

ICAN WELDING SOCIETY. Specifications for welded highway and railway idges. 7th. ed. New York, AWS, 1966. (AWS D2.0-66)

ER, J.W. ; YEN, B.T. ; WANG, D. Fatigue strenght of riveted bridge embers. Journal of Structural Engineering. ASCE, 116 (11) : 768-2981, Nov. 1990.

ALVES, R.M. et alii. Inspecção em ponte de estrutura metálica destinada a suporte de tubulações de derivados de petróleo da Petrobrás. São Carlos, EESC, 1987. (Relatório de prestação de serviços).

ALVES, R.M. Alguns aspectos relativos à inspecção e recuperação de pontes de aço — Ênfase em pontes ferroviárias — São Carlos, 1992, ese (Doutorado) — Escola de Engenharia de São Carlos, 309p.

C, G.L. ; FISHER, J.W. ; STRUIK, J.H.A. Guide to design criteria for lited and riveted joints. 2nd.ed. New York, John Wiley & Sons, 1987. 53p.

RAGEN, W. & GRAPNEL, S.L. Reinforcing structures under load: a review ne literature until January 1, 1943. The Welding Journal, Research pplement, 23 (2): 65s-92s, Feb. 1944.



15 al 19 de Noviembre de 1993
Montevideo - Uruguay

FLAMBAGEM LATERAL DE VIGAS DE MADEIRA

Ângela do Valle

Aluna do Curso de Mestrado em Engenharia da Escola Politécnica da USP - Área de Estruturas

Pedro Afonso de Oliveira Almeida

Professor Doutor da Escola Politécnica da USP

Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações

Laboratório de Estruturas e Materiais Estruturais

Péricles Brasiliense Fusco

Professor Titular da Escola Politécnica da USP

Chefe do Departamento de Engenharia de Estruturas e Fundações

SUMÁRIO

Neste trabalho são analisados os critérios de dimensionamento de vigas de madeira, submetidas à instabilidade lateral, utilizados pela Norma Brasileira - NBR 7190/82 e pelo EUROCODE Nº 5. São comparados os critérios prescritos pela Norma Brasileira de Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira-NBR 7190/82, que se baseia no Método das Tensões Admissíveis, e os critérios do EUROCODE Nº 5, que são formulados a partir dos princípios do Método dos Estados Limites.

1. INTRODUÇÃO

O objetivo deste trabalho é a avaliação dos critérios empregados, pelas normas brasileira e européia, na verificação do estado limite de Flambagem Lateral de Vigas de madeira. É importante salientar que, enquanto a norma NBR 7190/82 - Cálculo e Execução de Estruturas de Madeira utiliza o Critério de Regime Elástico, baseando-se no Método das Tensões Admissíveis, o EUROCODE Nº 5 possui formulação baseada no Método dos Estados Limites, em Regime de Ruptura. Este aspecto é importante a ser considerado na análise e comparação de resultados.

Uma viga esbelta, sob a ação de cargas de flexão no plano de maior rigidez à flexão, pode perder a estabilidade pela ação