



SET
01
09
02

XXX JORNADAS SUL-AMERICANAS DE ENGENHARIA ESTRUTURAL

27 a 31 de Maio de 2002

Brasília, DF, Brasil

ANAIS COM OS ARTIGOS COMPLETOS

Editores: Guilherme Sales S. de A. Melo
Luciano Mendes Bezerra

Programa de Pós Graduação em Estruturas e Construção Civil
Departamento de Engenharia Civil e Ambiental
Universidade de Brasília – UnB

Associação Sulamericana de Engenharia Estrutural



27 a 31 de Maio de 2002 – Universidade de Brasília – UnB
Brasília, DF – Brasil

Jornadas Sul-Americanas de Engenharia Estrutural

Estudo do comportamento do parafuso torx em peças de madeira.

Ricardo Rizzo Correia¹ e Antonio Alves Dias²

C824e

¹ Aluno de Mestrado, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,
Departamento de Engenharia de Estruturas, São Carlos, SP, Brasil;

e-mail: correiar@sc.usp.br

² Professor Assistente, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos,
Departamento de Engenharia de Estruturas, e-mail: dias@sc.usp.br

RESUMO

O objetivo deste trabalho é verificar o desempenho de ligações que utilizam um modelo de parafuso torx auto-atarraxante, solicitado por esforços de tração axial. É avaliada a resistência da ligação dos parafusos fixados na direção paralela ou perpendicular em relação às fibras da madeira, a resistência da ligação em função do número de parafusos, a resistência da ligação em função do espaçamento entre os parafusos e a resistência da ligação com a variação da densidade para a mesma espécie de madeira. A espécie de madeira utilizada como base desta pesquisa foi o Pinus Taeda (*Pinus Taeda L.*). Este estudo oferecerá informações para futuros critérios de dimensionamento utilizando este tipo de parafuso, considerando a inexistência destes critérios na norma brasileira “NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira”.

Palavras-chave: Ligações, Parafuso auto-atarraxante.

SYSNO	1261988
PROD	-001982
ACERVO EESC	



Introdução

A madeira é um material que está disponível naturalmente em variadas dimensões, porém geralmente inviáveis para utilização imediata, devendo ser cortado em vigas, pranchas e tábuas, permitindo assim a padronização das dimensões, e facilitando o transporte e a comercialização.

A industrialização da madeira como material estrutural ocorreu quando se utilizaram diversos tipos de materiais para fazer as ligações, tais como: pregos, parafusos, parafusos auto-atarraxante, grampos e cavilhas. Cada tipo ligação requer um projeto adequado, levando em consideração as cargas atuantes na estrutura, as propriedades da madeira, o sentido das fibras e a umidade da madeira.

Embora seja invejável a disponibilidade de madeiras nativas e de reflorestamento no país, a sua utilização tem sido muito limitada. Uma das causas deste problema é referente às ligações entre peças estruturais e é neste contexto que se insere este trabalho.

Com a colaboração do professor Ernst Gehri da escola Eidgenössische Technische Hochschule Zürich da Suíça, está sendo desenvolvido no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeiras do Departamento de Engenharia de Estruturas, estudo do desempenho de uma forma alternativa de ligação, utilizando parafusos auto-atarraxantes.

O arranjo da ligação é de maneira que os parafusos estejam solicitados por esforços de tração ou compressão, diferente das ligações convencionalmente utilizadas, nas quais os parafusos atuam como pinos, estando solicitados por cisalhamento.

Foram utilizados parafusos auto-atarraxantes do tipo torx fabricados pela empresa Suíça SFS AG. Estes parafusos possuem como principal característica uma grande variação do comprimento para um mesmo diâmetro. Vale destacar que é possível encontrar fabricantes no Brasil que produzem parafusos semelhantes.

Esta configuração de ligação, utilizando este modelo de parafuso, futuramente pode apresentar vantagem com relação aos outros tipos de ligações atualmente empregados. Observa-se o desenvolvimento de pesquisas relacionadas a este tipo de ligação em outros países.

A facilidade de execução das ligações utilizando este tipo de parafuso, com o auxílio de gabaritos e máquinas para atarraxar, possibilitarão a industrialização das estruturas de madeira, com a produção seriada de treliças, reduzindo em muito o tempo de montagem e, conseqüentemente, obtendo-se uma maior produtividade na execução de estruturas e reduzindo seu custo final.

Além disto, este tipo de ligação é mais eficiente quando se utilizam as peças dispostas com o seu eixo de maior inércia contido no plano da treliça, conforme mostrado na figura 1, pois isto possibilita uma maior área para colocação dos parafusos. Como as peças da treliça, notadamente o banzo inferior, apresentam maiores comprimentos de flambagem em relação ao plano normal ao da treliça, esta disposição das peças favorece a estabilidade dos mesmos, pois se tem maior inércia segundo o eixo com maior comprimento de flambagem. Com isto, pode-se aumentar a distância entre os pontos da treliça que estão contraventados lateralmente.



Figura 1- Detalhe da ligação de um nó típico de treliça em madeira.



Existem vários modelos de parafusos auto-atarraxantes, que são diferenciados pelo seu comprimento, diâmetro, forma da cabeça, entre outras diferenças. A seguir, serão apresentados os parafusos auto-atarraxantes usualmente utilizados em estruturas de madeiras, enunciando suas características e as diferenças existentes entre os diversos tipos.

Parafuso de fenda para madeira (wood screw)

Segundo as informações obtidas no WOOD Handbook do FOREST PRODUCTS LABORATORY [1], os parafusos de fenda para madeira são usualmente produzidos em aço, bronze, níquel, cromo, cádmio e ligas metálicas. Seu comprimento varia de 6,35 a 152,4 mm. Estes parafusos possuem um sistema de padronagem ou gauge, que consiste na variação do comprimento do parafuso para um mesmo diâmetro. Isto é indicado utilizando-se uma numeração que varia de 0 para os menores comprimentos de parafusos a 24 para os maiores comprimentos.

Os parafusos de fenda para madeira (wood screw) possuem rosca em cerca de $\frac{2}{3}$ do seu comprimento. Estes parafusos são classificados de acordo com a finalidade de uso, material de fabricação e a forma da cabeça.

Os parafusos de fenda para madeira do modelo “tapping screw” diferenciam-se por possuírem rosca ao longo de todo seu comprimento. Este modelo de parafuso apresenta a vantagem de ter maior resistência à tração.

Os parafusos de fenda para madeira são utilizados para fixar peças pouco espessas ou peças submetidas a pequenos esforços. Os tipos comuns destes parafusos são freqüentemente encontrados com cabeça plana, oval e redonda. O modelo de parafuso que possui cabeça plana é utilizado onde se deseja um acabamento nivelado com a superfície. O modelo de parafuso que possui cabeça oval é indicado para acabamentos aparentes enquanto o modelo de parafuso que possui cabeça redonda é utilizado para acabamento escareado. Cada modelo de parafuso pode ser observado na figura 2.

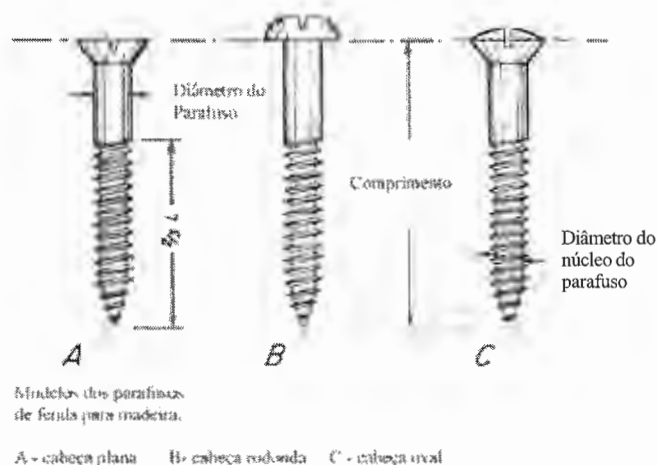


Figura 2- Modelos de parafusos de fenda para madeira. FONTE: FOREST PRODUCTS LABORATORY [1].



Parafuso auto-atarraxante (Lag screw)

Segundo as informações obtidas no WOOD Handbook do FOREST PRODUCTS LABORATORY [1], o parafuso auto-atarraxante (lag screw) também é conhecido como parafuso sextavado com rosca soberba. Este tipo de parafuso está disponível em diâmetros variando de 5,08 a 25,4 mm e comprimento variando de 25,4 a 406,4 mm. O aço utilizado para a fabricação destes parafusos possui tensão escoamento em torno de 310 MPa e máxima tensão de ruptura igual a 530 MPa. Na figura 3, pode-se observar um parafuso sextavado com rosca soberba.



Figura 3 – Parafuso sextavado com rosca soberba.

Este modelo de parafuso é geralmente utilizado para fixar peças mais robustas e submetidas a grandes esforços. No presente trabalho será avaliado um modelo específico de parafuso auto-atarraxante, o parafuso torx auto-atarraxante, que está mostrado na figura 4.



Figura 4 – Parafusos torx auto-atarraxante.

O parafuso torx auto-atarraxante é diferente dos demais modelos de parafusos lag screw. Este tipo de parafuso é fabricado com aço de alta resistência, possuindo rosca ao longo de todo o seu comprimento, o que garante uma maior eficiência nas ligações. Sua cabeça possui fenda tipo Torx apropriada para utilização de parafusadeira. Uma característica importante deste parafuso é a disponibilidade de diversos comprimentos para um mesmo diâmetro, facilitando seu uso na fixação de qualquer peça de uma estrutura de madeira.

Apesar do estudo deste tipo de ligação não ser recente, a maioria das pesquisas realizadas em outros países utilizaram tipos específicos de parafusos auto-atarraxantes. Para o parafuso do tipo torx auto-atarraxante, as pesquisas são insuficientes para garantir informações adequadas e seguras para a utilização deste tipo de parafuso em ligações de estruturas.

De acordo com as bibliografias pesquisadas, pode-se enumerar os seguintes fatores que influenciam na resistência das ligações constituídas por parafusos auto-atarraxante: densidade e umidade da madeira, diâmetro do parafuso, comprimento de rosca inserido na madeira, pré-furação adotada, direção das fibras da madeira.

A densidade da madeira é muito importante em ligações que utilizem parafusos auto-atarraxantes, pois quanto maior a densidade, maior a resistência obtida na ligação. Para a fixação dos parafusos em relação às fibras, muitas das bibliografias consultadas indicam que a resistência à tração utilizando-se parafusos auto-atarraxantes inserido no sentido paralelo às fibras é 75% da resistência obtida com os parafusos fixos perpendiculares às fibras. Na norma australiana TIMBER STRUCTURES - PART 1: DESIGN METHODS da STANDARDS ASSOCIATION OF



AUSTRALIA [2] recomenda-se que para parafusos fixo paralelo às fibras se utilize o correspondente a 60% dos valores da resistência tabelados para os parafusos fixos perpendiculares.

O comprimento de rosca inserido na madeira é outro fator que tem muita influência na resistência da ligação. Quanto maior o comprimento maior será a resistência à tração. Mas as ligações com parafusos auto-atarraxantes têm um limite no comprimento de rosca inserido na madeira que varia entre 7 a 9 vezes o diâmetro do parafuso em madeira de alta densidade e entre 10 a 12 vezes o diâmetro do parafuso para madeiras de baixa densidade. Para comprimentos de rosca maiores que os especificados acima, não ocorrerá a ruptura da ligação, mas sim a ruptura do parafuso.

Analisando-se a bibliografia consultada para o caso do parafuso auto-atarraxante, verifica-se que existe uma variação com relação ao diâmetro de pré-furação a ser adotado, especificamente para a região com rosca estão situados em torno de 70% do diâmetro do parafuso. Já a pré-furação adotada na região sem rosca é igual ao diâmetro do parafuso. Uma observação importante é que o WOOD Handbook do FOREST PRODUCTS LABORATORY [1] possui um padrão diferente com relação à pré-furação entre os parafusos auto-atarraxantes e os parafusos de fenda para madeira. Para este último a pré-furação leva em consideração aproximadamente 80% do diâmetro do núcleo do parafuso.

Um procedimento indicado para realizar a montagem das ligações é a lubrificação da superfície do parafuso, isto tem por objetivo facilitar a inserção do parafuso, especialmente no caso de madeira de alta densidade, independente do diâmetro e comprimento do parafuso auto-atarraxante a ser utilizado. Este procedimento não tem influência nos resultados obtidos na resistência à tração segundo BREYER, D. E. [3]. Outro cuidado necessário é atarraxar perfeitamente os parafusos, pois caso se faça de maneira errônea isto causará valores menores de resistência na ligação.

Materiais e métodos

Foi utilizada a espécie *Pinus Taeda* (*Pinus Taeda* L.). As informações referentes a esta espécie esta apresentada na tabela 1 e foram obtidas do Anexo E da "NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira" [4].

Tabela 1- Valores médios das características mecânicas das madeiras

Espécies	$\rho_{ap(12\%)}$ (kg/m ³)	f_{c0} (MPa)	f_{t0} (MPa)	f_{t90} (MPa)	F_v (MPa)	E_{c0} (MPa)
Pinus Taeda	645	44,4	82,8	2,8	7,7	13304
$\rho_{ap(12\%)}$ = massa específica aparente a 12% de umidade f_{c0} = resistência à compressão paralela às fibras f_{t0} = resistência à tração paralela às fibras f_{t90} = resistência à tração normal às fibras F_v = resistência ao cisalhamento E_{c0} = módulo de elasticidade longitudinal obtido no ensaio de compressão paralela às fibras						



Neste trabalho utilizaram-se parafusos torx auto-atarraxantes produzidos em aço de alta resistência do modelo FB-SK-T30, fabricado pela empresa Suíça SFS AG. As dimensões disponíveis são (diâmetro e comprimento):

- 7,5 X 132 mm,
- 7,5 X 152 mm,
- 7,5 X 182 mm,
- 7,5 x 212 mm.

Método de ensaios

Os ensaios foram realizados utilizando-se uma máquina universal da marca Amsler, com capacidade de 250 kN. A obtenção dos dados nos ensaios foi feita por meio da leitura da força aplicada pela máquina universal.

São adotados procedimentos para obtenção das seguintes propriedades da madeira: resistência à compressão paralela às fibras, densidade e umidade. Os ensaios para verificação das propriedades da madeira serão feitos de acordo com os procedimentos previstos na norma brasileira “NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira” [4].

Este procedimento visa relacionar os resultados obtidos das propriedades da madeira, com os resultados das resistências das ligações.

Base de fixação dos parafusos

Faz parte dos corpos-de-prova um elemento de ligação entre os parafusos e a máquina universal de ensaios Amsler. Este elemento de ligação consiste em uma chapa de aço carbono SAE 1040, que possui as seguintes características mecânicas segundo CHIAVERINI, V. [5]: tensão de escoamento de $f_y = 350$ MPa, limite de resistência à tração $f_u = 590$ MPa.

Existem dois elementos de ligação: o primeiro consiste em um cilindro metálico para fixação de 1 parafuso, o outro consiste em uma chapa metálica que possui um total de 16 furos para fixação dos parafusos, o que garante uma infinidade de combinações no número de parafusos a serem utilizados em ensaios de ligações. O espaçamento mínimo entre os parafusos corresponde 15 mm entre eixos de simetria. Estes elementos de ligações podem ser observados na figura 5 e 6:

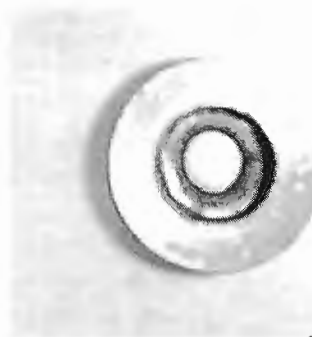


Figura 5 – Base de fixação para 1 parafuso.



Figura 6 – Base de fixação dos parafusos para ensaios.

Montagem dos corpos-de-prova

Os corpos-de-prova com os parafusos submetidos à tração paralela às fibras possuem dimensões nominais de 6 x 15 x 45 cm, desta forma é possível realizar três ensaios consecutivos utilizando 4, 8 e 16 parafusos e analisar a variação da resistência do grupo de parafusos para um mesmo corpo-de-prova. Como se pode verificar na figura 7.

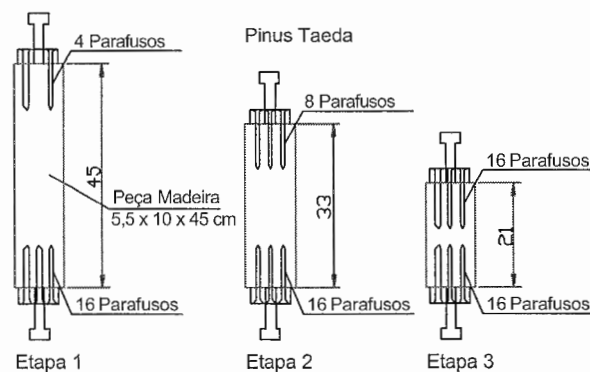


Figura 7 - Seqüência de montagem dos corpos-de-prova com os parafusos dispostos paralelamente às fibras.

Os corpos-de-prova com os parafusos submetidos à tração perpendicular às fibras apresentam montagem semelhante ao corpo-de-prova submetido à tração paralela, mas possuem dimensões nominais de 6 x 8 x 30 cm. Como é mostrado na figura 8.

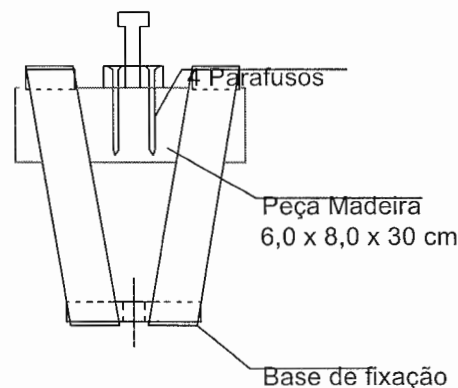


Figura 8 - Montagem dos corpos-de-prova com os parafusos dispostos perpendicularmente às fibras.



Após o corte do corpo-de-prova nas dimensões especificadas, é feita a pré-furação com diâmetro de 5,5 mm, que equivale ao diâmetro do núcleo do parafuso e corresponde a 0,73 do diâmetro do parafuso.

Feito isto, os parafusos serão fixos utilizando-se as bases de fixação mais uma cobre-junta de madeira feita exclusivamente para manter uma profundidade de rosca pré-determinada igual a 80 mm no corpo-de-prova. Este comprimento de rosca foi adotado para induzir o modo de ruptura na madeira e não a ruptura do parafuso, o que poderia ocorrer caso utiliza-se um comprimento maior de rosca.

Forma de aplicação do carregamento

Os procedimentos adotados para determinação da resistência das ligações mecânicas, serão os procedimentos previstos na norma brasileira “NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira” [4].

Assim, para toda variação que ocorrer no posicionamento de fixação do parafuso com relação às fibras ou na quantidade de parafusos utilizados, haverá a necessidade de realizar um ensaio para estimar a carga de ruptura. Obtida a carga de ruptura da ligação, à seqüência de ensaios de tração será feita aplicando-se o carregamento em dois ciclos de carga e descarga, de acordo com o procedimento especificado no anexo C da norma brasileira “NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira” [4] e apresentado na figura 9. Os ensaios terão uma duração de 5 a 8 minutos, a partir do início do carregamento.

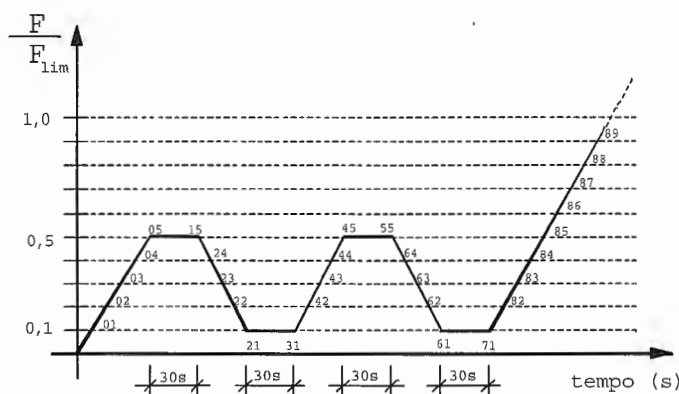


Figura 9 - Diagrama de carregamento.

Extração dos corpos-de-prova

A madeira que será utilizada na fabricação dos corpos-de-prova será extraída aleatoriamente do lote, seguindo todas as recomendações da norma brasileira “NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira” [4]. Para uma seqüência de ensaios, uma viga de madeira fornecerá os corpos-de-prova para os ensaios de tração paralela e perpendicular às fibras, mas isso representará somente uma amostragem. Para cada seqüência de ensaio, por exemplo, são necessários 5 corpos-de-prova para realização do ensaio de tração com 4 parafusos fixos paralelos às fibras. Desta forma será necessária a utilização de 5 vigas para extração dos corpos-de-prova referente ao lote de madeira em estudo. A madeira deverá estar com umidade em torno de 12%.

**Resultados Obtidos**

Os valores da resistência à tração das ligações estão apresentados nas tabelas 2 a 13.

Tabela 2 - Ensaio utilizando 4 parafusos dispostos paralelos às fibras.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
1	0,45	9,4	4,821	45,10
2	0,55	9,9	5,164	63,50
3	0,43	11,5	5,269	47,00
4	0,45	9,5	5,317	47,50
5	0,45	10,2	4,516	49,20

Tabela 3 - Ensaio utilizando 8 parafusos dispostos paralelos às fibras.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
6	0,48	9,1	5,569	76,70
7	0,49	10,4	5,179	96,00
8	0,45	10,2	5,278	77,00
9	0,45	9,5	5,596	89,40
10	0,45	8,8	4,899	83,40

Tabela 4 - Ensaio utilizando 16 parafusos dispostos paralelos às fibras.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
11	0,40	9,2	5,395	139,00
12	0,50	9,0	5,743	159,00
13	0,46	8,3	5,196	151,00
14	0,45	8,5	4,355	127,50
15	0,46	8,5	5,387	157,50



Tabela 5 - Ensaio utilizando 4 parafusos dispostos perpendiculares às fibras.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	f _{c,0} (kN/cm ²)	
16	0,48	12,5	4,227	52,20
17	0,50	13,8	4,797	57,00
18	0,49	12,5	5,504	45,50
19	0,48	12,9	4,288	47,50
20	0,42	14,0	3,955	49,50

Tabela 6 - Ensaio utilizando 8 parafusos dispostos perpendiculares às fibras.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	f _{c,0} (kN/cm ²)	
21	0,44	13,0	4,808	66,00
22	0,57	12,3	4,593	76,60
23	0,49	12,5	5,504	68,70
24	0,47	13,2	3,413	57,30
25	0,42	13,5	3,883	47,50

Tabela 7 - Ensaio utilizando 4 parafusos dispostos paralelos às fibras - Densidade mínima.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	f _{c,0} (kN/cm ²)	
26	0,46	12,1	5,154	52,50
27	0,44	11,2	4,974	46,50
28	0,45	11,8	5,235	50,50
29	0,43	10,5	4,869	46,50
30	0,43	11,6	5,827	51,00



Tabela 8 - Ensaios utilizando 4 parafusos dispostos paralelos às fibras - Densidade máxima.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
31	0,49	10,1	4,859	51,80
32	0,56	10,4	4,870	49,50
33	0,54	11,3	4,869	54,70
34	0,50	10,1	5,412	45,50
35	0,50	11,2	4,699	43,30

Tabela 9 - Ensaios utilizando 4 parafusos dispostos perpendiculares às fibras - Densidade mínima.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
36	0,44	11,8	3,250	54,50
37	0,43	12,1	4,079	43,50
38	0,41	12,4	4,621	35,20
39	0,41	12,9	3,663	35,70
40	0,40	12,8	4,092	32,30

Tabela 10 - Ensaios utilizando 4 parafusos dispostos perpendiculares às fibras - Densidade máxima.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
41	0,51	11,5	4,374	51,30
42	0,45	11,4	3,924	42,30
43	0,45	11,1	4,545	43,00
44	0,47	11,5	4,449	54,60
45	0,48	12,6	4,586	37,20



Tabela 11 - Ensaio utilizando 4 parafusos dispostos paralelos às fibras - Espaçamento de 15 mm.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
46	0,44	9,8	5,107	41,50
47	0,48	10,8	4,800	51,40
48	0,49	8,7	4,454	54,20
49	0,46	8,5	4,776	42,50
50	0,48	9,2	4,678	50,40

Tabela 12 - Ensaio utilizando 4 parafusos dispostos paralelos às fibras - Espaçamento de 30 mm.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
51	0,41	10,9	5,062	44,50
52	0,48	8,1	5,548	41,00
53	0,51	9,7	4,701	44,20
54	0,48	8,6	5,032	43,50
55	0,42	9,0	4,865	45,60

Tabela 13 - Ensaio utilizando 4 parafusos dispostos paralelos às fibras - Espaçamento de 45 mm.

Nº. do corpo de prova	Propriedade da madeira			Resistência da ligação (kN)
	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	$f_{c,0}$ (kN/cm ²)	
56	0,50	10,0	4,242	51,00
57	0,47	9,4	4,694	46,20
58	0,49	9,9	5,118	51,00
59	0,49	7,1	4,852	43,00
60	0,54	9,6	5,028	56,00



Análise dos Resultados

A ruptura da ligação ocorreu da seguinte maneira: para os parafusos fixos paralelos às fibras, a ruptura foi caracterizada pelo deslizamento da rosca do parafuso com relação ao corpo-de-prova, sendo que, em alguns casos, a ruptura ocorreu por tração da madeira rompendo o corpo-de-prova. Outra forma do modo de ruptura observada foi caracterizada pelo rompimento do parafuso. Para os parafusos dispostos perpendiculares às fibras, a ruptura foi caracterizada pelo deslizamento da rosca do parafuso com relação ao corpo-de-prova juntamente com a ruptura por flexão, as figuras 10 a 13 apresentam os modos de ruptura enunciados.



Figura 10 - Ruptura caracterizada pelo deslizamento da rosca do parafuso.



Figura 11 - Ruptura do corpo-de-prova.



Figura 12 - Ruptura do parafuso.



Figura 13 - Ruptura caracterizada pelo deslizamento da rosca do parafuso e flexão do corpo-de-prova.

As tabelas 14, 15 e 16 mostram um resumo dos resultados apresentando os valores médios da densidade, umidade, da resistência da ligação e o desvio padrão para este último caso.

Tabela 14 - Resumo dos resultados para ligações com 4 parafusos.

Disposição dos parafusos	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Resistência da ligação (kN)	Desvio padrão (kN)
Paralelo às fibras	0,46	10,1	50,46	7,43
Perpendicular às fibras	0,47	13,1	50,34	4,47
Paralelo às fibras - densidade mínima	0,44	11,4	49,40	2,75
Paralelo às fibras - densidade máxima	0,51	10,6	48,96	4,62
Perpendicular às fibras - densidade mínima	0,41	12,4	40,22	8,99
Perpendicular às fibras - densidade máxima	0,47	11,6	45,68	7,10
Paralelo às fibras - Espaçamento 15 mm	0,47	9,4	48,00	5,66
Paralelo às fibras - espaçamento 30 mm	0,46	9,2	43,76	1,72
Paralelo às fibras - espaçamento 45 mm	0,50	9,2	49,44	5,00

Tabela 15 - Resumo dos resultados para ligações com 8 parafusos.

Disposição dos parafusos	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Resistência da ligação (kN)	Desvio padrão (kN)
Paralelo às fibras	0,46	9,6	84,50	8,28
Perpendicular às fibras	0,48	12,9	63,22	11,17

Tabela 16 - Resumo dos resultados para ligações com 16 parafusos.

Disposição dos parafusos	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Resistência da ligação (kN)	Desvio padrão (kN)
Paralelo às fibras	0,45	8,9	146,80	13,36



Observa-se que, apesar de haver uma certa variação nos valores da densidade, isto não influencia de maneira significativa os valores da resistência da ligação.

A diferença de resistência entre as ligações formadas por 4 parafusos, estando os mesmos fixos paralelos ou perpendiculares às fibras da madeira é muito pequena. Em algumas bibliografias consultadas, é utilizado como valor de cálculo para ligações com parafusos inseridos no sentido paralelo às fibras o equivalente a 75% do valor da resistência obtida para parafusos fixos perpendiculares às fibras. Isto é devido ao fato que pode ocorrer a perda de resistência da ligação causada por fendilhamento devido ao processo de secagem da madeira, na direção paralela às fibras.

No caso dos ensaios realizados verificando a resistência da ligação para corpos-de-prova com densidade mínima e densidade máxima, o menor valor da resistência, obtidos nas ligações com parafusos fixos perpendiculares às fibras é devido à presença de nós na madeira dos corpos-de-prova. Isto causou uma acentuação do modo de ruptura por flexão nestes casos.

Para os ensaios realizados variando os espaçamentos, os resultados permitem concluir que a variação do espaçamento entre os parafusos torx auto-atarraxantes não interferem na resistência da ligação, sendo que o mínimo espaçamento utilizado corresponde a duas vezes o diâmetro do parafuso.

Para os ensaios realizados com 8 parafusos fixos perpendiculares às fibras, a menor resistência obtida na ligação é causada pela prematura e mais acentuada ruptura devido à flexão do corpo-de-prova, quando comparado com os valores das resistências obtidos com os parafusos fixos paralelo às fibras.

Com o intuito de comparação entre os valores da resistência da ligação em função do número de parafusos. As tabelas 17 e 18 apresentam os valores médios da resistência por parafuso de todos os ensaios.

Tabela 17 - Resistência por parafuso fixos paralelo às fibras.

Número de parafusos	Obs.	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Resistência por parafuso (kN)
4	-	0,46	10,1	12,62
4	Densidade mínima	0,44	11,4	13,35
4	Densidade máxima	0,51	10,6	12,24
4	Espaçamento 15 mm	0,47	9,4	12,00
4	Espaçamento 30 mm	0,46	9,2	10,94
4	Espaçamento 45 mm	0,50	9,2	12,36
8	-	0,46	9,6	10,56
16	-	0,45	8,9	9,17

Tabela 18 - Resistência por parafuso fixos perpendiculares às fibras.

Número de parafusos	Obs.	Densidade (g/cm ³)	Umidade (%)	Resistência por parafuso (kN)
4	-	0,47	13,1	12,59
4	Densidade mínima	0,41	12,4	10,06
4	Densidade máxima	0,47	11,6	11,42
8	-	0,48	12,9	7,90

Ao comparar a resistência unitária dos parafusos em ligações que utilizam 4, 8 e 16 parafusos fixos paralelos às fibras, observa-se que a resistência unitária do parafuso nas ligações formadas por 16 parafusos é 13,16% menor que em ligações formadas por 8 parafusos, e esta última é 16,32% menor que em ligações formadas por 4 parafusos.



Comparando-se a resistência unitária dos parafusos em ligações que utilizam 4, 8 parafusos fixos perpendiculares às fibras, observa-se que a resistência unitária do parafuso nas ligações formadas por 8 parafusos é 37,25% menor que em ligações formadas por 4 parafusos. Assim fica caro o fato da resistência unitária do parafuso ser maior em um grupo com menor quantidade de parafusos.

Conclusões

A análise dos resultados demonstra a pouca variação na resistência à tração com parafusos fixos paralelos e perpendiculares às fibras em ligações constituídas por 4 parafusos. A resistência por parafuso é maior em um grupo com menor quantidade de parafusos, a variação do espaçamento entre os parafusos auto-atarraxantes não interfere na resistência da ligação e a densidade não influencia de maneira significativa os valores da resistência.

Com os valores obtidos neste trabalho é possível afirmar a viabilidade de utilização de parafusos submetidos a esforços de tração axiais em ligações de estruturas de madeira e a boa capacidade de carga da ligação.

Atualmente encontra-se em fase final a experimentação envolvendo as outras duas espécies de madeira, o Eucalipto Grandis (*Eucalyptus Grandis*) e a Cupiúba (*Goupia glabra*).

Desta forma será possível analisar qual a influência na resistência das ligações submetidas por esforços axiais de tração para os seguintes fatores: densidade, umidade, número de parafusos, disposição de fixação dos parafusos com relação às fibras da madeira.

Referências Bibliográficas

- [1] FOREST PRODUCTS LABORATORY (1999). Wood handbook: Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL-GTR-113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Products Laboratory. 463 p.
- [2] STANDARDS ASSOCIATION OF AUSTRALIA (1994). Timber structures - Part 1: Design Methods – Australian Standard. Australia.
- [3] BREYER, D. E. (1980). Design of wood structures. Cap. 12. ed. Mc Graw Hill Book Company.
- [4] ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. ABNT.
- [5] CHIAVERINI, V. (1984). Aços e ferros fundidos – características gerais, tratamento térmico, principais tipos. Associação Brasileira de Metais. 5^o- edição. São Paulo.