

RESISTÊNCIA AO CISALHAMENTO PARALELO ÀS FIBRAS DE MADEIRA MEDIANTE ESFORÇO INDUZIDO POR PUNÇIONAMENTO

RESISTANCE TO SHEAR PARALLEL TO WOOD FIBER BY STRESS-INDUCED PUNCTURING

Massayuki Mário Hara*

Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba – Paraná, Brasil
Departamento Acadêmico de Construção civil
massayuki@utfpr.edu.br

Adalberto Matoski

Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba – Paraná, Brasil
Departamento Acadêmico de Construção civil
adalberto@utfpr.edu.br

Cláudio Magajewski

Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba – Paraná, Brasil
Departamento Acadêmico de Construção civil
magajewski.utfpr@gmail.com

Juliana Machado Casali

Universidade Tecnológica do Paraná, Curitiba – Paraná, Brasil
Departamento Acadêmico de Construção civil
casali@utfpr.edu.br

Resumo

Esta pesquisa tem como objetivo propor um método para testar a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras da madeira e da comparação com outros métodos propostos. O Padrão brasileiro proposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997) que utiliza um espécime prismático retangular com um entalhe para evitar a rotação, o que causa a assimetria na aplicação da força que promove cisalhamento. Para eliminar essa assimetria, o procedimento proposto usa a tensão de cisalhamento obtida pelo puncionamento. Foi adaptada uma ferramenta do tipo macho e fêmea gerar o puncionamento. Depois de verificar a consistência do método, realizou uma série de testes com três tipos diferentes de madeira (Pinus sp., Itaúba e Cedro), que se distinguem pela sua resistência mecânica. Foram feitos ensaios de acordo com o método pelo Santos Neto (1999) e de acordo com a Norma Brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997), cujos resultados foram comparados com o método proposto - puncionamento. Os resultados destes testes mostraram que não há diferença significativa entre o ensaio feito de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) e o método proposto e que o método proposto por Santos Neto ficou com valores significativamente diferentes.

Palavras-chave: Madeira. Puncionamento. Cisalhamento.

Abstract

This research aims to propose a method to test the shear strength to the fibers of the wood and the comparison with other proposed methods. The Brazilian Standard proposed by the NBR 7190

(ABNT, 1997) that uses a rectangular prismatic specimen with a notch to prevent rotation, causing asymmetry in the application of force that promotes shear. To eliminate this asymmetry, the proposed procedure uses the shear stress obtained by puncturing. Was adapted a female and male tool to generate puncturing. After checking the consistency of the method, a series of tests were performed with three different types of wood (Pinus spp., Itaúba and cedar), which are distinguished by their mechanical strength. Tests were made according to the method by Neto Santos (1999) and in accordance with the NBR 7190 Brazilian (ABNT, 1997), and results were compared with the proposed method - puncturing. The results of these tests showed no significant difference between the test made in accordance with the NBR 7190 (ABNT, 1997) and the proposed method and the method proposed by Santos Neto was slightly different values.

Keywords: Wood. Puncturing. Shear.

1 Introdução

Estruturas de madeira são amplamente utilizadas em engenharia civil, principalmente pela disponibilidade da madeira, pela simplicidade na sua aplicação.

O bom desempenho da madeira como material de construção requer o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas. Existem muitas espécies disponíveis no mercado com diferentes propriedades, permitindo várias aplicações. A determinação das propriedades físicas e mecânicas para a aplicação em engenharia civil são normalizados pela NBR 7190 (ABNT, 1997) que estabelece os procedimentos para a realização dos ensaios.

A resistência ao cisalhamento paralelo às fibras merece atenção especial neste estudo, devido à importância de seus resultados para o dimensionamento de elementos estruturais em que o uso de valores inexatos podem causar danos materiais e outras consequências (EVANS; SENFT; GREEN, 2000).

No ensaio proposto pela norma, as forças de compressão atuam sobre o corpo de prova, a fim de determinar a resistência ao cisalhamento, numa dada seção. Os pesquisadores observaram que, durante este ensaio há distorções. Estas distorções têm sido estudadas e analisadas gerando propostas de novas metodologias a fim de diminuir possíveis desvios.

Assim, o principal objetivo desta pesquisa é propor um método de ensaio para determinar a resistência ao cisalhamento paralelo às fibras através do puncionamento do corpo de prova, e comparar os resultados dos testes com a norma NBR 7190 (ABNT, 1997). O segundo objetivo é também para comparar com o método proposto por Santos Neto (1999). Este trabalho é baseado em testes de puncionamento que já são utilizados e padronizados para materiais metálicos como citado em estudo de Acharya e Ray (2013).

2 Revisão da literatura

O interesse na determinação das propriedades mecânicas da madeira é justificada pelo fato de que na maioria das situações de sua utilização, as tensões devem ser conhecidas permitindo

assim dimensionamento correto dos vários elementos que compõem o conjunto estrutural como um todo.

Autores com LIY (1983) estudaram os novos métodos para o teste para a resistência ao corte da madeira . Estes autores demonstraram que o método adotado pela norma D143-09 (ASTM, 2009) semelhante ao método da norma brasileira, não alcançaram o cisalhamento puro.

Em outro artigo, Gupta e Sinha (2011) concluem que o método adotado pela norma D143-09 (ASTM, 2009) para esse tipo de ensaio produz concentrações que criam tensões de pico de cisalhamento. Concluíram também que este método induz um momento que leva a valores menores que o teste de cisalhamento puro .

Autores europeus como Yoshihara (2012) também estudaram a madeira cisalhamento comparando desta vez com a norma ISO 15310 (ISO, 1999). Os autores citados acima mostram preocupação com o teste de cisalhamento, e buscam os valores reais.

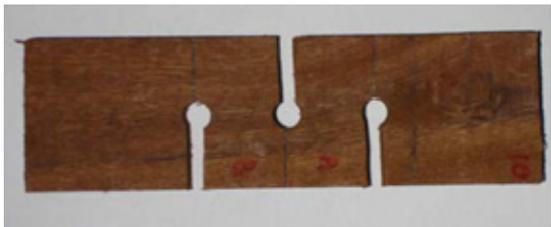
A propriedade de madeira (resistência ao cisalhamento paralelo às fibras) é de grande importância em madeira aplicada na fabricação de estruturas como tesouras para coberturas, por exemplo. O cisalhamento é a separação das fibras por uma tensão aplicada em paralela à elas.

A resistência ao cisalhamento da madeira é diretamente proporcional à sua densidade , mas depende principalmente da direção em que a tensão é aplicada em relação aos anéis de crescimento da madeira (geralmente a quebra é determinada no plano tangencial ou radial). No plano tangencial , existe uma grande influência da diferença inicial entre a madeira de lenho cedo e lenho tardio . No plano radial, há uma grande influência devido ao crescimento da madeira. Madeira com raios espaçados tem baixa resistência ao cisalhamento em comparação com anéis de crescimento mais estreitos. No plano tangencial existe uma forte influência do crescimento de árvores , ou a diferença de resistência entre as madeiras novas e velhas .

O teste de cisalhamento da madeira é problemático devido às concentrações de tensão , a sobreposição de tensões , especialmente a flexão e a tensão de compressão que no desenvolvimento da ruptura por cisalhamento podem gerar resultados questionáveis.

Como exemplo pode-se citar o método proposto por Santos Neto (1999), que propõe a modificação do corpo de prova (Figura 1). Nesta proposta, os corpos de prova de pequena espessura, 20mm, possuem tres aberturas, visando a obtenção da tensão exclusiva por cisalhamento.

Figura 1 – Corpo de prova proposto por Santo Neto

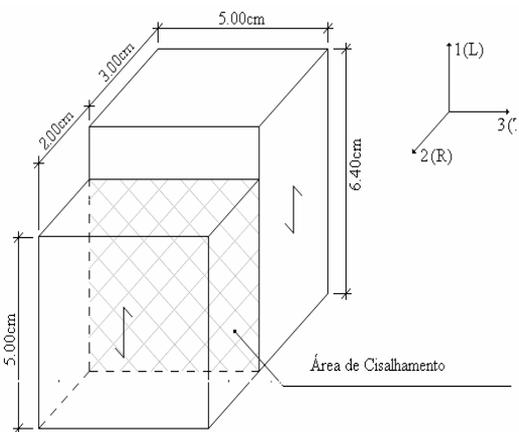


Fonte: Santos Neto (1999)

Para calcular a força de cisalhamento, a força aplicada é relacionada a área onde há o rompimento do corpo prova. Coker e Colemann (*apud* Mendes, 1984) observaram que todos os corpos de prova romperam na zona reduzida e que esse rompimento se deu somente por cisalhamento. Ele também notou que a ruptura na região enfraquecida do corpo de prova apresentados, não foi somente por cisalhamento puro, mas sim pela combinação de forças de cisalhamento e tração.

No modelo proposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997), a tensão é aplicada ao corpo de prova por meio de uma placa de metal chamado faca com espessura definida, que quando em contato com a amostra de teste, transferindo toda a tensão de compressão a ele. O corpo de prova é um prisma retangular, em uma forma cúbica (Figura 2). Observa-se que o corpo de prova é semelhante aos propostos pela norma D143-09 (ASTM, 2009).

Figura 2 – Corpo de prova utilizado pela norma brasileira



Fonte: NBR 7190 (1997)

A força de compressão aplicada à parte superior da amostra de ensaio é transferida para a placa de suporte, que fica no topo inferior do corpo de prova. A face da placa de suporte, coincide com o plano formado pelo lado interior da faca. Este modelo proporciona um plano de corte corpo de prova. O equipamento utilizado e apresentado na Figura 3.

Figura 3 – Equipamento utilizado para ensaios



Fonte: ABNT, 1997

Observa-se que o contato da faca com o corpo de prova requer uma área de contato com as dimensões que evitem a ruptura devido ao esmagamento à compressão da madeira. O centro de força, aplicável ao plano de corte da amostra de teste é equivalente à metade da espessura da lâmina. Da mesma forma, o mesmo ocorre na placa de suporte inferior, resultando em uma excentricidade entre as forças aplicadas para a extremidade superior do corpo de prova de valor igual à espessura da lâmina. Uma vez que têm uma força de ação e reação, paralela uma a outra e de sinal oposto, separadas por um braço, que neste caso é a excentricidade, há a geração de um momento criado pelas forças desse binário. Este momento é a causa da rotação que ocorre no ensaio de cisalhamento. Esta pode ser uma falha significativa, que pode gerar resultados questionáveis.

Analisando os processos utilizados na indústria metalúrgica para fazer furos em peças metálicas, verificou-se que o puncionamento é um método amplamente utilizado e econômico, utilizado em prensas mecânicas e máquinas automáticas. O processo consiste em um conjunto de peças de metal chamado macho e fêmea, geralmente com forma circular para furos cilíndricos, utilizados para o puncionamento.

O conjunto é montado de uma maneira que é permite a ação da punção, que pode ser penetrar em alguns milímetros ou perfurando o corpo de prova. O conjunto tem de ser montado de modo que o movimento da peça macho seja preciso ao longo de um eixo vertical.

Este processo resolve os principais problemas acima descritos, tais como a distância existente entre a região cisalhada e o esforço de compressão. A área de corte do corpo de prova tem uma relação linear com o raio da seção transversal do cilindro metálico. Esta característica permite que a ruptura do corpo de prova somente por cisalhamento.

Outro aspecto importante é a estabilidade do teste, pois a seção é simétrica em relação ao eixo longitudinal da peça. Com esta característica evita-se o momento fletor causado pela descentralização da força nos corpos de prova adotados pela norma.

As três espécies adotadas neste trabalho, são as mais vendidas no Brasil, onde o nome comum é Itaúba, Cedro e Pinus. A Itaúba é muito comum no estado do Pará e no Mato Grosso. A

madeira é pesada sua densidade é cerca de $0,8 \text{ g/cm}^3$, com alta resistência à compressão e baixa retração, alta resistência natural ao apodrecimento e ataque de insetos (ROBERT *et al.*, 2012).

O *Pinus sp* tem variedades distintas, como por exemplo, o *Pinus elliottii var.* Parte do grupo de espécies com faixa de pinheiros no Canadá e nos Estados Unidos. Existem muitas áreas cultivadas com esta espécie na América do Sul, especialmente no sul do Brasil conforme cita Garcia *et al.* (2012).

O Cedro (*Erismia uncinatum*) é relatado para ter boa resistência ao ataque de fungos causadores de cáries e insetos de madeira seca.

3 Metodologia

A figura 4 mostra o modelo do corpo de prova utilizado. Para iniciar o processo, foi utilizada uma amostra de teste com uma área igual ao modelo de teste de cisalhamento de NBR 7190 (ABNT, 1997), onde definiu-se o diâmetro do cilindro de compressão como 40 mm e uma abertura entre macho e fêmea de 1 mm, e utilizando 20 mm de espessura para a amostra de ensaio, conforme Hara (2011).

Figura 4 – Corpo de prova proposto



Fonte: Autoria própria (2012)

A área de compressão para o ensaio proposto é $1256,61 \text{ mm}^2$ ($40 \times 40 \times 3,14159 / 4$) e na área tosquiada é $2513,21 \text{ mm}^2$ ($3,14159 \times 40 \times 20$). Enquanto a área puncionada de amostra de teste da norma é de 2500 mm^2 ($50 \times 50 \text{ mm}$) (Figura 4).

Os parâmetros iniciais sugeridos permitem medições diretas para a comparação com os resultados gerados pelo método da NBR 7190 (ABNT, 1997). O método de perfuração proporciona algumas vantagens sobre os outros métodos como por exemplo: Fácil Preparação do corpo de prova; A disposição para o ensaio mais simples; O custo da ferramenta é mais acessível (cerca de 25 % em comparação com a ferramenta padronizada); Fácil reprodução do método .

Três tipos de madeiras de espécies foram escolhidas para este estudo: Pinus (*Pinus sp*) , cedro (*Erismia uncinatum*) e Itaúba (*Mezilaurus itauba*) . Foram adotados estes tipos seguindo o

mesmo padrão brasileiro descrito na NBR 7190 (ABNT, 1997), conforme especificado na tabela 1. A classificação madeira de Pinus é exótico coníferas. Para Cedro e Itaúba, a classificação de madeira são dicotiledôneas nativas.

Justifica a escolha destas espécies , porque eles são os únicos que aumentaram o comércio no Brasil, nos últimos 5 anos. O Pinus (*Pinus sp.*) é uma espécie exótica e é amplamente cultivada no sul do Brasil . O Cedar (*Erismia uncinatum*) e Itaúba (*Mezilaurus itauba*) são espécies nativas e além de seu uso interno também são exportadas.

Tabela 1 – Espécies de Madeira utilizadas conforme (NBR 7190/1997)

Nome comum	Nome científico	Classificação	Classificação da madeira
Pinus	<i>Pinus sp.</i>	C20	conífera
Cedro	<i>Erismia uncinatum</i>	C40	dicotiledônea
Itaúba	<i>Mezilaurus itauba</i>	C60	dicotiledônea

Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997)

3.1 Caracterização da madeira

Para a caracterização da madeira foram utilizados corpos de prova com dimensões de (75 x 100 mm), com uma espessura de 20 mm. As amostras de madeira foram selecionados com base em sua disponibilidade, com o objetivo de atender a orientação normas brasileiras. Para determinar a força de cisalhamento, as medidas dos lados das amostras de teste foram feitas com precisão mínima de 0,1 milímetros. O teste foi realizado com a carga crescente constante, com uma taxa de 2,5 MPa/min .

A densidade básica de madeira (ρ_{bas}) é a densidade obtida pela relação entre a massa seca da amostra pelo volume da amostra saturada. A densidade aparente (ρ_{ap}) é obtida tomando a amostra com 12 % de umidade . Seus valores foram determinados de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997).

3.2 Método proposto

O motivo da escolha do método de puncionamento é porque o método proposto tem por objetivo eliminar os efeitos indesejáveis causado pelo momento fletor e determinar o valor real da força de cisalhamento , seguindo a mesma linha de raciocínio de Liy (1983) e Gupta e Sinha (2011). O método proposto é uma adaptação do método utilizado por Acharya e Ray (2013) para materiais metálicos.

A secção transversal do punção é circular com um diâmetro de 40 mm , de modo que as amostras de ensaio deve cobrir o buraco criado pela área de ensaio e deixam uma área adicional suficiente para suportar o teste de compressão , levando em conta o princípio da execução evidente.

A dimensão adotada para o corpo de prova foi de (75 x 75 mm) (comprimento x largura) com uma espessura de 20 mm. A alteração da espessura de 20 mm corresponde a uma zona de cisalhamento de 2,513 mm², que é equivalente à área da NBR 7190 (ABNT, 1997), o que permite a comparação directa dos resultados. O acabamento da superfície do corpo de prova pode ser feito com lixa fina. A Figura 5 mostra o ensaio do método proposto.

Figura 5 – Método proposto



Fonte: Autoria própria (2012)

Após os ensaios, o teor de umidade das amostras foi determinado e os resultados do foram corrigidos. O objetivo é o de corrigir a resistência ao cisalhamento. A expressão (1) é definida pela norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997).

$$f_{12} = f_{w\%} \frac{1 + 3(U\% - 12)}{100}$$

onde:

f_{12} = resistência ao cisalhamento para a umidade padrão de 12 %;

$f_{w\%}$ = resistência ao cisalhamento de umidade no corpo de prova;

w = teor de umidade (%) da amostra de teste.

3.3 Equipamento

A realização dos ensaios foi feita através da máquina de teste universal, de modo a determinar as propriedades mecânicas do cisalhamento. A marca do equipamento é EMIC, modelo DL-10000, com uma capacidade máxima de 100 kN, equipado com 100 células de carga kN, controlada por um software específico que garanta a constante de velocidade / carga e da aquisição de dados de carga, bem como as deformações dos testes.

4 Resultados

A tabela 2 apresenta os resultados para o Pinus (*Pinus sp.*). O resultado massa específica média é 363,50 kg/m³ ea densidade aparente é 434,52 kg/m³.

Tabela 2 – Densidade aparente do *Pinus sp.*

Amostra	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
1	364,83	430,02
2	372,44	455,32
3	359,57	431,96
4	363,87	422,38
5	354,18	425,27
6	366,09	442,19
Media	363,50	434,52
Desvio padrão	6,18	12,26
Coefficiente de variação (%)	1,70	2,82

Fonte: Aatoria própria (2012)

Os resultados para os ensaios de densidade aparente e densidade para a madeira de cedro (*Erismia uncinatum*) são apresentados na tabela 3.

Tabela 3 - Densidade aparente do cedro

Amostra	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
1	488,13	533,46
2	493,04	546,22
3	485,53	572,57
4	496,63	571,71
5	510,60	589,02
6	482,34	570,06
Media	492,71	563,84
Desvio padrão	10,15	20,22
Coefficiente de variação (%)	2,06%	3,59

Fonte: Aatoria própria (2012)

A tabela 4 apresenta os resultados para Itaúba, a densidade média e a densidade aparente é a mais alta em comparação entre os três tipos de madeira, o que é um resultado esperado.

Os resultados encontrados na literatura para a densidade básica é de cerca de 800 kg/m³ e 960 kg/m³ para a densidade aparente. Obteve-se valores médios de 705,73 kg/m³ para gravidade específica e 795,79 kg/m³ para a densidade aparente nos testes realizados em Itaúba (*itauba*) de madeira. Há vários fatores que podem influenciar os resultados, mas os principais são a idade da árvore e da posição da amostra.

Observa-se a partir da Tabela 4 que o itaúba tem a maior densidade específica entre as espécies analisadas, sendo, assim, uma madeira mais dura que pode explicar os resultados mais elevados de resistência ao cisalhamento obtidos para ambos os testes padronizados e também o ensaio proposto.

Tabela 4 – Densidade aparente da Itaúba

Amostra	ρ_{bas} (kg/m ³)	ρ_{ap} (kg/m ³)
1	689,90	787,64
2	721,16	821,13
3	707,97	780,07
4	694,67	778,77
5	710,84	805,97
6	709,84	801,14
Media	705,73	795,79
Desvio padrão	11,48	16,60
Coefficiente de variação (%)	1,63	2,09

Fonte: Autoria própria (2012)

4.1 Resultados do ensaio de cisalhamento para o *Pinus sp.*

A Tabela 5 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento, para os três métodos, (o método proposto por Santos Neto (1999), o método de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997) e o método proposto para a espécie *Pinus sp.*

Tabela 5 - Resultados do cisalhamento paralelo às fibras para o *Pinus sp.*

Nº	NBR 7190 (ABNT, 1997)			SANTOS NETO (1999)			Puncionamento		
	Umidade	f_v	f_{v12}	Umidade	f_v	f_{v12}	Umidade	f_v	f_{v12}
	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
1	16,04	6,29	7,05	15,48	36,89	40,74	14,23	6,92	7,38
2	16,45	1,34	1,52	15,03	38,86	42,39	14,69	7,20	7,78
3	16,60	5,77	6,57	16,01	44,92	50,32	14,81	7,06	7,66
4	17,97	6,20	7,30	15,73	35,42	39,39	14,59	7,25	7,82
5	17,09	5,99	6,91	15,45	46,26	51,05	14,93	7,18	7,81
6	16,77	6,77	7,74	15,75	39,54	43,99	15,34	7,03	7,74
7	16,70	7,43	8,48	16,19	37,95	42,72	14,80	6,29	6,82
8	16,19	7,35	8,27	15,47	32,34	35,71	13,52	7,62	7,97
9	17,09	6,37	7,34	15,55	37,88	41,91	13,95	5,42	5,74
10	15,66	7,81	8,67	15,10	38,52	42,10	13,96	6,80	7,20
11	13,38	6,37	6,63	15,83	38,11	42,49	14,31	6,46	6,91
12	14,99	6,01	6,55	16,04	34,17	38,31	14,49	6,63	7,12
13	15,82	5,93	6,61	15,49	38,58	42,62	14,25	7,18	7,67
14	13,24	5,88	6,10	15,04	29,27	31,94	15,47	7,22	7,97
15	15,80	6,15	6,85	15,36	37,80	41,61	12,45	7,11	7,20

Fonte: Autoria própria (2012)

Os resultados dos testes propostos por Santos Neto (1999) obtiveram valores mais elevados que os valores obtidos através dos ensaios realizados de acordo com a NBR 7190 (ABNT, 1997)). A partir dos resultados obtidos na Tabela 6, foi calculada a média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação para o método da NBR 7190 (ABNT, 1997) brasileira padrão e para o método proposto.

Tabela 6 – Análise estatística comparando os resultados dos ensaios feitos pela NBR 7190/1997 e resultados obtidos pelo método proposto para o *Pinus sp.*

Parâmetros	NBR 7190 (ABNT, 1997)		Puncionamento	
	Dados brutos	Dados saneados	Dados brutos	Dados saneados
Média (MPa)	6,84	7,22	7,39	7,50
Desvio padrão (MPa)	1,66	0,79	0,59	0,39
Coefficiente de variação (%)	24,25	10,99	7,99	5,20
Variância (MPa)	2,76	0,63	0,35	0,15

Fonte: Autoria própria (2012)

O intervalo considerado no método da NBR 7190/1997 situa-se entre os valores de 3,52 e 10,16 MPa. Analisando os resultados dos ensaios de cisalhamento para a espécie *Pinus sp* pelo teste "t" de student, observa-se que p-valor foi 0,2804, então não rejeita-se a hipótese de que as médias são iguais, podendo concluir que não há nenhuma diferença significativa entre os resultados com um nível de confiança de 95 %.

4.2 Resultados do ensaio de cisalhamento para Cedro (*Erismia uncinatum*)

A Tabela 7 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento de cedro (*Erismia uncinatum*).

Obtidos os resultados, calculou-se a média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação para o método da NBR 7190 (ABNT, 1997) e método proposto (puncionamento), apresentados na Tabela 8.

Tabela 7 - Resultados do cisalhamento paralelo às fibras para o cedro (*Erismia uncinatum*)

Nº	NBR 7190 (ABNT, 1997)			SANTOS NETO (1999)			Puncionamento		
	Umidade (%)	f _v (MPa)	f _{v12} (MPa)	Umidade (%)	f _v (MPa)	f _{v12} (Mpa)	Umidade (%)	f _v (MPa)	f _{v12} (MPa)
1	19,54	7,66	9,40	17,55	38,21	44,57	17,55	7,44	8,68
2	19,56	8,75	10,73	16,84	43,91	50,28	16,84	4,21	4,82
3	20,06	8,58	10,65	16,69	36,60	41,75	16,69	5,56	6,35
4	19,59	6,45	7,92	17,11	24,79	28,60	17,11	6,07	7,00
5	19,85	7,82	9,67	17,73	47,69	55,89	17,73	6,39	7,49
6	19,81	7,51	9,28	19,25	22,67	27,60	19,25	6,76	8,23
7	19,33	7,49	9,14	19,95	30,77	38,11	19,95	5,87	7,27
8	19,85	8,34	10,31	20,49	30,15	37,83	20,49	6,34	7,96
9	20,87	7,93	10,04	18,03	26,24	30,98	18,03	7,57	8,94
10	20,16	8,35	10,39	16,91	34,67	39,78	16,91	4,85	5,57
11	21,68	7,22	9,31	19,78	29,89	36,87	17,50	6,07	7,07
12	20,32	1,24	1,55	20,39	35,62	44,58	18,07	5,85	6,92
13	19,24	7,80	9,49	20,33	39,50	49,36	18,10	5,90	6,98
14	19,36	1,37	1,68	19,58	33,84	41,53	17,25	6,45	7,47
15	21,24	7,38	9,43	17,91	31,38	36,95	16,95	6,32	7,26

Fonte: Autoria própria (2012)

Após a análise estatística dos resultados para a madeira de cedro (*Erismia uncinatum*), o valor de p encontrado no teste t de Student foi 0,11023, então não rejeita a hipótese de que as médias são iguais. Pode-se concluir que há uma diferença significativa entre os resultados dos testes com um nível de confiança de 95 %. Este aspecto mostra que o teste da norma brasileira pode ser

influenciado pelo corpo de prova assimetria. A Tabela 8 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento para o cedro.

Tabela 8 – Análise estatística comparando os resultados dos ensaios feitos pela NBR 7190 (1997) e resultados obtidos pelo método proposto para o cedro

Parâmetros	NBR 7190 (ABNT, 1997)		Puncionamento	
	Dados brutos	Dados saneados	Dados brutos	Dados saneados
Média (MPa)	8,60	9,67	7,20	7,37
Desvio padrão (MPa)	2,92	0,76	1,08	0,88
Coefficiente de variação (%)	33,97	7,86	14,96	12,00
Variância (MPa)	8,53	0,58	1,16	0,78

Fonte:

Autoria própria (2012)

4.3 Resultados do ensaio de cisalhamento para *Itaúba* (*Mezilaurus itauba*)

A Tabela 9 apresenta os resultados dos ensaios de cisalhamento para a espécie Itaúba (*itauba*). A partir dos resultados obtidos na Tabela 9, foi calculada a média, desvio padrão, variância e coeficiente de variação para o método da NBR 7190 (ABNT, 1997) e o método proposto (Tabela 10). Como observado nas Tabelas 5 e 7 mesmos resultados acontecem aqui. Os resultados dos ensaios de cisalhamento são muito próximos quando se compara o método proposto e os métodos da NBR 7190 (ABNT, 1997), mas esses resultados estão longe dos valores obtidos através do ensaio proposto por Santos Neto (1999).

Tabela 9 - Resultados do cisalhamento paralelo às fibras para o Itaúba

Nº	NBR 7190 (ABNT, 1997)			SANTOS NETO (1999)			Puncionamento		
	Umidade	f _v	f _{v12}	Umidade	f _v	f _{v12}	Umidade	f _v	f _{v12}
	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)	(%)	(MPa)	(MPa)
1	15,47	9,22	10,18	14,02	66,93	71,00	15,64	11,46	12,71
2	17,46	8,67	10,09	13,65	60,16	63,13	16,24	8,90	10,03
3	18,41	9,29	11,08	14,97	66,49	72,41	17,35	9,14	10,61
4	17,35	9,44	10,95	14,47	61,11	65,65	17,54	9,72	11,34
5	16,09	9,14	10,26	13,32	55,92	58,14	17,34	10,92	12,67
6	16,78	8,71	9,96	15,04	64,14	69,99	17,72	10,37	12,15
7	16,09	8,55	9,60	14,20	56,28	60,00	15,02	11,21	12,22
8	17,01	8,64	9,93	15,27	59,58	65,42	14,87	10,95	11,89
9	19,16	8,45	10,26	14,82	70,02	75,93	14,29	9,81	10,49
10	17,41	9,45	10,98	12,92	58,90	60,51	17,24	9,34	10,81
11	15,99	8,98	10,06	15,63	60,60	67,19	17,37	10,90	12,65
12	16,09	9,17	10,29	15,52	79,76	88,18	18,02	9,87	11,65
13	14,39	8,26	8,85	15,32	56,79	62,45	19,84	10,18	12,57
14	16,99	8,92	10,25	14,78	73,39	79,51	19,91	8,57	10,60
15	16,62	9,04	10,29	13,80	63,50	66,93	17,02	10,47	12,05

Fonte: Autoria própria (2012)

O intervalo considerado no método da NBR 7190 (ABNT, 1997) situa-se entre os valores de 9,09 e 11,31 MPa, e para o método proposto o intervalo de valores situa-se entre 9,79 e 13,47 MPa.

Tabela 10 - Análise estatística comparando os resultados dos ensaios feitos pela NBR 7190 (1997) e resultados obtidos pelo método proposto para a itaúba

Parâmetros	NBR 7190 (ABNT, 1997)		Puncionamento	
	Dados brutos	Dados saneados	Dados brutos	Dados saneados
Média (MPa)	10,20	10,30	11,63	11,63
Desvio padrão (MPa)	0,56	0,43	0,92	0,92
Coefficiente de variação (%)	5,44	4,14	7,88	7,88
Variancia (MPa)	0,31	0,18	0,84	0,84

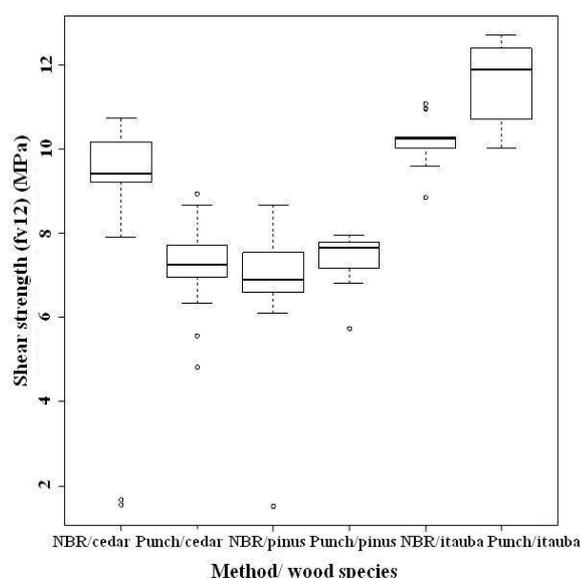
Fonte: Aatoria própria (2012)

No entanto, para a Itaúba (*itauba*) tipo de valor p amazônica origem encontrado neste teste foi quase nula, $p = 0,0007$, mostrando uma diferença significativa entre as médias, adotando o nível de confiança de 95%. Esta é a única espécie que mostrou uma diferença estatisticamente significativa para os resultados. Isso mostra que há de fato uma influência da assimetria observada nos espécimes da norma.

Por outro aspecto, a análise estatística para todos os resultados, independentemente da espécie, não apresentaram diferença significativa entre os testes com um nível de confiança de 95%. Este resultado pode ser explicado pelo número de ensaios efetuados (45 repetições, neste caso) e a maior variação deles.

Pode-se concluir que o teste de método proposto - puncionamento é viável e pode substituir o método de ensaio proposto pela NBR 7190 (ABNT, 1997). Observa-se também que o equipamento utilizado para o ensaio tem um menor custo e é menor o tempo para a preparação do corpo de prova.

Figura 6 – Box Plot para a resistência ao cisalhamento das três espécies ensaiadas



Fonte: Aatoria própria (2012)

O box plot mostrado na Figura 6 compara os resultados dos ensaios de corte para todas as três espécies de madeira. O primeiro aspecto que se observa são os intervalos, que são maiores para

os testes da norma. Em outras palavras, este método está sujeito a uma maior variabilidade. O segundo aspecto deste quadro é que a itaúba por ser de madeira dura obteve os maiores valores ambos os testes, mostrando corretamente a influência das espécies nos resultados. Finalmente, o gráfico mostra que existe um comportamento semelhante para ambos os ensaios, apesar das diferentes espécies de madeira adotadas. Isto mostra que o efeito de forças de flexão devido à assimetria de material obtido de acordo com o ensaio da NBR 7190 (ABNT, 1997), é pequeno e pode ser tolerado.

5 Conclusão

O primeiro resultado mostra que o método adotado por Santos Neto, gerou resultados muito elevados quando comparados com os resultados obtidos pelo método proposto ou pelo método da NBR 7190 (ABNT, 1997).

Comparando os resultados dos ensaios obtidos de acordo com o método da NBR 7190 (ABNT, 1997), com os resultados obtidos pelo método proposto verificou-se que não existe diferença significativa. Dessa forma pode admitir-se que a assimetria tem baixa influência nos resultados.

A análise estatística mostrou diferença significativa apenas para a espécie Itaúba e para outras espécies não houve diferença significativa ao nível de 95 %. Assim, sugere-se como continuidade dessa pesquisa que uma maior quantidade de espécies sejam ensaiadas.

Referências

- ACHARYA, S.; RAY, K. K. Assessment of tensile properties of spot welds using shear punch test. **Materials Science and Engineering A**, v. 565, p. 405–413, mar, 2013.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: projeto de estruturas de madeira. Rio de Janeiro, 1997.
- ASTM INTERNATIONAL. **D 143-09**: Standard test methods for small clear specimens of timber. West Conshohocken, PA, EUA, 2009.
- EVANS, J. L.W.; SENFT, J. F.; GREEN, D. W. Juvenile wood effect in red alder: analysis of physical and mechanical data to delineate juvenile and mature wood zones. **Forest Products Journal**, v.50, n.7/8, p.75-87, 2000.
- GARCIA, F. M.; MANFIO, D. R.; SANSIGOLO, C. A.; MAGALHAES, P. A. D. Rendimento no desdobro de toras de Itaúba (*Mezilaurus itauba*) e Tauari (*Couratari guianensis*) segundo a classificação da qualidade da tora. **Floresta e Ambiente**, v. 19, n. 4, p. 468-474, 2012.
- GUPTA R.; SINHA A. Effect of grain angle on shear strength of Douglas-fir wood. **Holzforschung**, Berlim, v. 66, p. 655-658, 2011.
- HARA, M. M. **Proposta de método de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento paralelo às fibras de madeiras mediante esforço induzido por puncionamento do corpo de prova**. 2011. 81 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2011.

INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. **ISO 15310**: Fibre-reinforced plastic composites: determination of the in-plane shear modulus by the plate twist method. Genebra, 1999.

LIU, J. L. New Shear Strength Test for Solid Wood. **Wood and Fiber Science**, v. 16, n. 4, 1984.

MENDES, A. P. **Resistência da madeira ao cisalhamento**. 1984. 157 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.

ROBERT, R. C. G.; SANTOS, A. S.; SANTOS, L. D.; FANTINI, A. C. Caracterização do Abastecimento de Madeira Serrada Comercializada no Município de Florianópolis – SC. **Revista Floresta**. Curitiba, v. 42, n. 1, p. 85-94, jan./mar., 2012.

SANTOS NETO, A. B. S. **Cisalhamento em corpos de prova de madeira**. 1999. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1999.

YOSHIHARA, H. Shear modulus and shear strength evaluation of solid wood by a modified ISO 15310 square-plate twist method. **Drvna Industrija**, v. 63, n. 1, p. 51-57, 2012.