



xi ebramem

XI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRA E ESTRUTURAS DE MADEIRA LONDRINA –JULHO 2008

INFLUÊNCIA DA TEMPERATURA SOBRE A RESISTÊNCIA AO EMBUTIMENTO DO PARICÁ

Manuel Manríquez F.¹(manuel.jesus@ecv.ufsc.br), Poliana Dias de Moraes (ecv1pdm@ecv.ufsc.br) Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil.

RESUMO: A arquitetura atual tende a empregar estruturas cada vez mais leves, tanto por razões estéticas como por razões econômicas. Verifica-se que as estruturas em madeira adequam-se a este desafio, proporcionando edificações agradáveis e de alta qualidade ambiental. Porém, para generalizar a utilização da madeira proveniente de florestas plantadas, depara-se com questões relativas à segurança contra incêndio. No sentido de resolver essas questões, a legislação atual determina um tempo mínimo de estabilidade de estruturas em situação de incêndio a fim de permitir a evacuação das edificações e o combate ao fogo. Este trabalho visa determinar a influência da temperatura sobre as resistências ao embutimento, paralelo e perpendicular às fibras, do paricá (*Schizolobium amazonicum*) oriundo de florestas plantadas da região amazônica. Para tal, foram realizados ensaios em 15 faixas de temperatura situadas entre 20 e 230 °C. Os ensaios foram realizados com amostras compostas por 105 corpos-de-prova para cada direção de sollicitação. O teor de umidade médio das amostras era de 11,77 % com massas específicas aparentes entre 303,57 kg/m³ e 454,04 kg/m³. Verificou-se que as resistências ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras do paricá diminuem em função do aumento da temperatura de forma não-monotônica. A 230 °C, verificou-se que a resistência ao embutimento paralelo às fibras era de 60 % da resistência a 20 °C, enquanto que a resistência ao embutimento perpendicular era de 40 % da resistência a 20 °C. Além disso, constataram-se alterações como a desidratação dos corpos-de-prova, degradação térmica de seus componentes químicos da madeira, retração e mudanças de cor.

Palavras-chave: segurança contra incêndio, madeira, temperatura, resistência ao embutimento.

INFLUENCE OF TEMPERATURE ON THE EMBEDDING STRENGTH OF PARICÁ

ABSTRACT: The current architecture tends to employ structures increasingly lighter for aesthetic and economic reasons. Wooden structures respond to this challenge, providing nice buildings and high environmental quality. But the generalized use of wood from planted forests faces issues related to fire safety. In order to solve these issues, the current standards determine a minimum stability period of structures at fire risk to allow the evacuation of the building and fire fighting. This study aims to determine the influence of temperature on the embedding strength parallel and perpendicular to grain of paricá (*Schizolobium amazonicum*) from planted forests of the Amazon region. To this end, tests were conducted in 15 temperature levels in the range from 20 to 230 °C. The tests were performed with samples composed by 105 specimens for each grain direction. The average moisture content of the samples was 11.8 %, with mass density between 303.57 kg/m³ and 454.04 kg/m³. It was found that the embedding strength parallel and perpendicular to grain of the paricá decreases in a non-monotonic way as the temperature increases. At 230 °C, it was found that the embedding strength parallel to grain was 60 % of the strength at 20 °C, while the embedding strength perpendicular was 40 % of the strength at 20 °C. Besides that, it was detected changes in the specimens such as dehydration, thermal degradation of the chemical components, shrinking and color changes.

Keywords: Fire safety, wood, temperature, embedding strength

¹ Departamento de Engenharia em Construção, Universidade de Magallanes, Chile.

1. INTRODUÇÃO

No Brasil, nos últimos anos foram desmatadas ou queimadas grandes áreas da floresta amazônica para a expansão da fronteira agropecuária ou para a exploração da madeira. Uma alternativa para substituição das madeiras nativas como material de construção civil seria a madeira oriunda de florestas plantadas. Na região amazônica, existem plantações de paricá (*Schizolobium amazonicum*), o qual destaca-se por apresentar rápido crescimento, fuste reto, com ramificação a partir de sete metros e madeira com elevada cotação no mercado interno e externo.

Atualmente, o paricá é usado quase exclusivamente na produção de miolo de laminados e compensados, sendo também aplicado em embalagens e paletes, provavelmente devido à falta de informações relativas às suas propriedades físico-mecânicas. Para a sua utilização como material de construção, principalmente em laminados colados e sistemas leves em madeira, é necessária a realização de estudos aprofundados sobre o seu desempenho físico-mecânico. Poucos trabalhos foram encontrados sobre este assunto. MELO et al. (1989) apresentam alguns valores para madeira verde e para a madeira seca ao ar. O Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) informa a facilidade de secagem, aplainamento, furação, fixação e torneamento e colagem desta espécie. TEREZO e SZÜCS (2007) identificaram a influência das idades de corte na resistência mecânica.

Os sistemas construtivos em madeira utilizam dispositivos de ligação para unir os diversos elementos que compõe a estrutura. O comportamento das ligações é influenciado pelas propriedades intrínsecas da madeira e dos órgãos de ligações, pela constituição das ligações (madeira-madeira, madeira-metal), pela configuração geométrica e pela natureza das solicitações transmitidas. O tipo de ligação mais utilizado é o de pinos metálicos (pregos, parafusos). Para dimensioná-las adequadamente é necessário conhecer a resistência ao embutimento da madeira, nas direções paralela e perpendicular às fibras.

As ligações constituem o ponto fraco das estruturas, merecendo uma atenção especial durante o projeto. O conhecimento do comportamento da madeira a temperaturas elevadas permite avaliar a segurança das estruturas afetadas por um incêndio e prever, com boa precisão, o tempo de resistência ao fogo dos elementos estruturais da edificação. No caso do projeto de ligações em madeira em situação de incêndio, é importante conhecer a influência da temperatura sobre a resistência ao embutimento da madeira. MORAES et al. (2005) estudaram a influência da temperatura sobre a resistência ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras para o *Pinus sylvestris*.

O objetivo deste trabalho é determinar a influência da temperatura sobre a resistência ao embutimento, paralelo e perpendicular às fibras, do paricá (*Schizolobium amazonicum*) oriundo de florestas plantadas da região amazônica, contribuindo para determinar a potencialidade de uso do paricá como material de construção.

Este artigo está organizado, basicamente, em três seções: materiais e métodos; resultados e discussões e conclusões. Nelas, serão apresentados o material e a metodologia empregada para a realização dos ensaios em 15 níveis de temperatura situados entre 20 e 230 °C, bem como os

resultados obtidos e as conclusões relativas à influência da temperatura sobre a resistência ao embutimento do paricá.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Nesta secção serão apresentados os materiais e métodos empregados na determinação da influência da temperatura sobre as resistências ao embutimento paralelo e perpendicular do paricá oriundo de florestas plantadas.

2.1. AMOSTRAS E CORPOS-DE-PROVA

Para a realização dos ensaios, empregaram-se duas amostras de paricá (*Schizolobium amazonicum*). A amostra para os ensaios de embutimento paralelo às fibras apresentava massa específica aparente, à temperatura ambiente, situada entre 303,6 e 454,0 kg/m³ (**Tabela 1**) e teor de umidade de 11,7 %, enquanto a amostra para os ensaios de embutimento perpendicular às fibras apresentava massa específica aparente entre 310,3 e 443,3 kg/m³ (**Tabela 2**) e teor de umidade de 11,8 %. Cada amostra era composta por 105 corpos-de-prova, subdivididos em 15 grupos, cada grupo constituído por 7 corpos-de-prova, totalizando 210 corpos-de-prova. Os grupos foram ensaiados em 15 níveis de temperatura situados entre 20 e 230 °C (**Tabela 1** e **Tabela 2**).

Os corpos-de-prova foram obtidos de madeira classificada visualmente, conforme especificação da norma NBR 7190/97, anexo G. Eles eram isentos de defeitos e retirados de regiões afastadas das extremidades das peças de pelo menos cinco vezes a menor dimensão da seção transversal da peça considerada, mas nunca menor que 30 cm. Os corpos-de-prova foram distribuídos de maneira a garantir grupos com massas específicas aparentes estatisticamente homogêneas (**Tabelas 1 e 2**). A homogeneidade foi verificada pela análise de variância, usando o intervalo LSD para confiabilidade de 95 % (MONTGOMERY e RUNGER 2003).

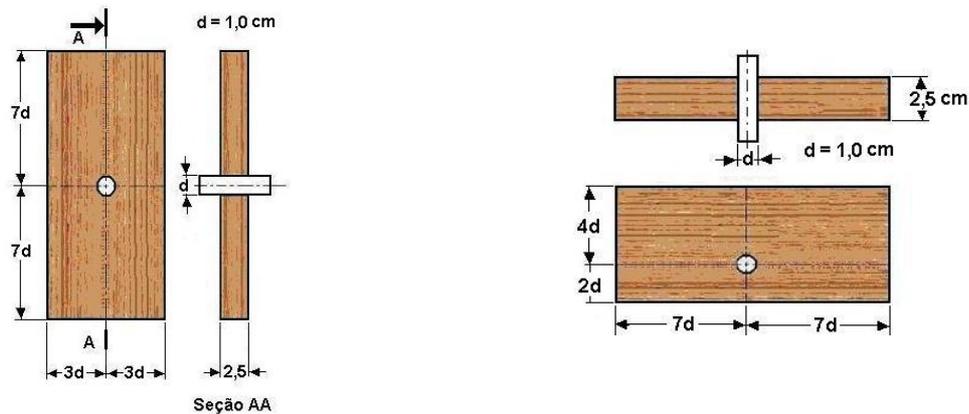
As dimensões dos corpos-de-prova foram definidas em função do diâmetro do parafuso de 10 mm, conforme especificado pela norma NF EN 383/1993, resultando nas seguintes dimensões 60 mm × 140 mm × 25 mm (**Figura 1**).

Tabela 1: Valores médios das massas específicas aparentes dos corpos-de-prova

Itens	Temperaturas de ensaio (°C)														
	20	40	50	60	70	80	90	100	110	130	150	170	190	210	230
Corpos-de-prova	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Massa específica a 20 °C (kg/m ³)	353,6	354,8	355,7	356,7	357,8	358,6	360,2	361,1	362,2	364,1	365,3	368,1	370,5	371,5	373,9
Desvio-padrão	35,58	36,11	36,33	36,20	36,76	35,97	35,68	34,77	35,82	36,59	36,58	37,09	40,66	41,36	44,89

Tabela 2: Valores médios das massas específicas aparentes dos corpos-de-prova.

Itens	Temperaturas de ensaio (°C)														
	20	40	50	60	70	80	90	100	110	130	150	170	190	210	230
Corpos-de-prova	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Massa específica a 20°C (kg/m ³)	368,8	369,9	370,7	371,4	372,2	374,8	375,2	376,2	376,9	377,6	379,7	380,6	381,2	382,7	387,1
Desvio-padrão	36,67	37,13	37,82	38,02	37,89	34,68	34,77	34,71	34,71	34,68	36,40	35,97	36,21	36,02	35,84



(a) Embutimento paralelo às fibras

(b) Embutimento perpendicular às fibras

Figura 1: Corpos-de-prova para o ensaio de embutimento.

2.2. TESTE MECÂNICO

Os ensaios para determinação das resistências ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras, nos vários níveis de temperatura, foram realizados em uma máquina universal de ensaios, de marca Kratos, com uma célula de carga de $200 \text{ kN} \pm 2,0 \text{ kN}$ e sistema de aquisição de dados de força e deslocamento, a qual foi acoplado uma câmara térmica, da marca Jung – J200, com dimensões internas de $37 \text{ cm} \times 50 \text{ cm} \times 52 \text{ cm}$ (**Figura 2**). No interior da câmara foi introduzido o dispositivo de ensaio ilustrado pelas Figuras 3a e b.

Aplicação de carga durante o ensaio mecânico foi efetuada de modo crescente e contínuo, sem retirada de carga, pelo deslocamento da travessa a uma velocidade de 2 mm/min . O final do ensaio foi considerado na ocorrência da ruptura do corpo-de-prova ou no deslocamento de 10 mm da travessa, correspondente ao diâmetro do parafuso utilizado. O tempo de duração dos ensaios situou-se entre 5 e 10 min.



Figura 2: Câmara térmica para realização dos ensaios.



(a) Embutimento paralelo às fibras.



(b) Embutimento perpendicular às fibras.

Figura 3: Dispositivo de ensaio de embutimento.

2.3. AQUECIMENTO DOS CORPOS-DE-PROVA

O aquecimento dos corpos-de-prova foi realizado em um forno elétrico de marca Quimis com dimensões internas de 90 cm × 100 cm × 66 cm e controle automático de temperatura. A introdução de cada corpo-de-prova no forno foi efetuada com defasagem de 10 min de modo a garantir o mesmo tempo de exposição ao calor a cada um deles. Para assegurar a homogeneidade da temperatura no interior dos corpos-de-prova, eles foram aquecidos durante 120 min.

O tempo de aquecimento foi determinado a partir de ensaios preliminares, nos quais os corpos-de-prova eram introduzidos no forno pré-aquecido à temperatura de 200 °C. Nos corpos-de-prova, foi realizada uma perfuração lateral de 2 mm de diâmetro, cuja base localizava-se no centro geométrico dos corpos-de-prova. Nessa perfuração foi introduzido um termopar do tipo K, o qual permitiu a determinação do tempo necessário para que a temperatura no interior do corpo-de-prova atingisse a temperatura do forno, garantindo, dessa maneira, a homogeneização da temperatura de todo o material aquecido.

2.4. DETERMINAÇÃO DA RESISTÊNCIA AO EMBUTIMENTO

O valor da resistência ao embutimento ($f_{e,T}$) nas direções paralela e perpendicular às fibras foi determinado no patamar plástico de embutimento ($F_{máx}$), a partir dos diagramas força × embutimento dos ensaios de embutimento paralelo e perpendicular às fibras (**Figura 4**), para os diferentes níveis de temperatura de ensaio, conforme Equação 1.

$$f_{e,T} = \frac{F_{máx}}{td}, \quad (1)$$

onde:

$F_{máx}$: é a força no patamar plástico, na direção paralela e normal, em (N), para temperatura T;

t : é a espessura do corpo-de-prova, em (m);

d : é o diâmetro do pino, em (m) (**Figura 1**).

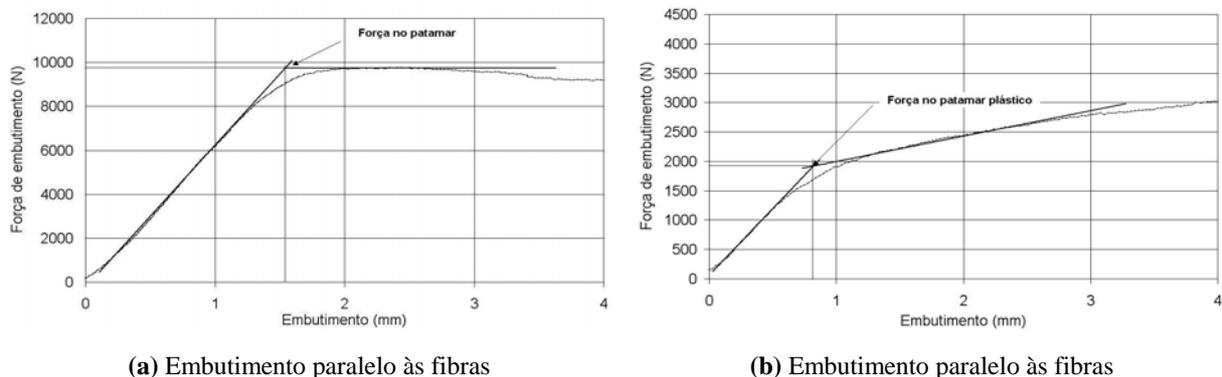


Figura 4: Diagramas força × embutimento.

2.5. DETERMINAÇÃO DO TEOR DE UMIDADE

A determinação do teor de umidade no momento do ensaio foi realizada utilizando-se os próprios corpos-de-prova (**Figura 1**). Após a realização dos ensaios mecânicos, os corpos-de-prova foram pesados para a determinação da massa no momento do ensaio (m_e), logo foram submetidos à secagem a uma temperatura máxima de 103 ± 2 °C, conforme a norma NBR7190/97, até a ocorrência de uma variação, entre duas medidas consecutivas, menor ou igual a 0,5 % da última massa medida, esta sendo considerada a massa seca (m_s). Determinou-se o teor de umidade pela equação (2).

$$u = \frac{m_e - m_s}{m_s} \cdot 100; \quad (2)$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção, são apresentados os resultados da influência da temperatura na resistência ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras do paricá (*Schizolobium amazonicum*) para 15 níveis de temperatura situados entre 20 e 230 °C.

3.1. TEOR DE UMIDADE

As **Figuras 5a e b** ilustram os teores de umidade obtidos nos ensaios à temperatura ambiente e nas demais temperaturas, após 120 min de aquecimento em forno e aproximadamente 10 min de ensaio mecânico em câmara térmica. Observou-se que o teor de umidade diminui linearmente com o aumento temperatura do ensaio, sendo que, a 150 °C, os corpos-de-prova apresentavam-se praticamente anidros, com teor de umidade próximo de 0 %. As temperaturas elevadas e o baixo teor de umidade indicam que a água contida nos componentes da madeira foi liberada totalmente, iniciando-se a degradação da madeira, com perda de peso, alta retração e formação de fendas internas. Para KOLLMANN (1968), este processo ocorre a partir de 130 °C.

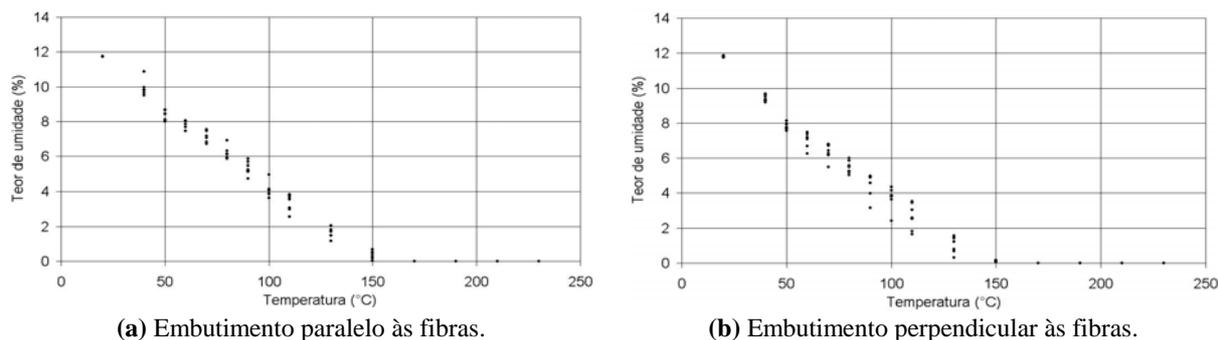


Figura 5: Teor de umidade dos corpos-de-prova.

3.2. ALTERAÇÃO DA COLORAÇÃO DOS CORPOS-DE-PROVA

As **Figuras 6a, b e c** ilustram a alteração da coloração dos corpos-de-prova ocorrida durante o aquecimento de 180 min no forno e, aproximadamente 10 min na câmara térmica, para a realização dos ensaios. Observa-se que ocorreram mudanças significativas de coloração da madeira, indicando o início da degradação dos seus polímeros. A alteração da coloração dos corpos-de-prova ocorreu tanto na parte externa como interna dos corpos-de-prova. Elas foram mais marcantes nos níveis mais elevados de temperatura, principalmente em temperaturas superiores a 150 °C. A 230 °C, os corpos-de-prova apresentavam uma coloração mais escura.

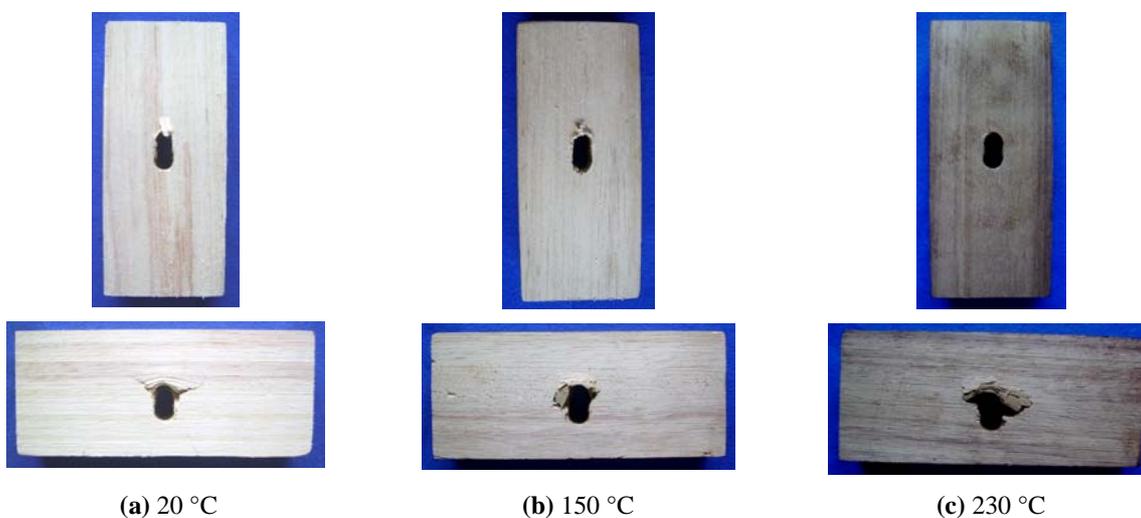


Figura 6: Coloração dos corpos-de-prova de embutimento paralelo e perpendicular às fibras.

3.3. RUPTURA DOS CORPOS-DE-PROVA NO ENSAIO AO EMBUTIMENTO

As **Figuras 7a e b** mostram as rupturas que ocorreram nos corpos-de-prova durante os ensaios de embutimento da madeira. Os ensaios de embutimento paralelo às fibras apresentaram comportamento diferente daqueles de embutimento perpendicular. A ruptura dos corpos-de-prova de embutimento paralelos às fibras, para todas as faixas de temperatura, foram semelhantes aos ilustrados na **Figura 7a**. Na zona de contacto entre a madeira e o pino metálico, produz-se um esmagamento das fibras aderentes ao parafuso com uma posterior ruptura das mesmas.

Na grande maioria dos ensaios, o final deles foi caracterizado pelo deslocamento de 10 mm da travessa da máquina de ensaio, permitindo a penetração do parafuso na madeira, o que indica um comportamento plástico acentuado do paricá. Este comportamento é considerado positivo no comportamento de ligações, pois mostram a capacidade do paricá de absorver deformações sem se romper.

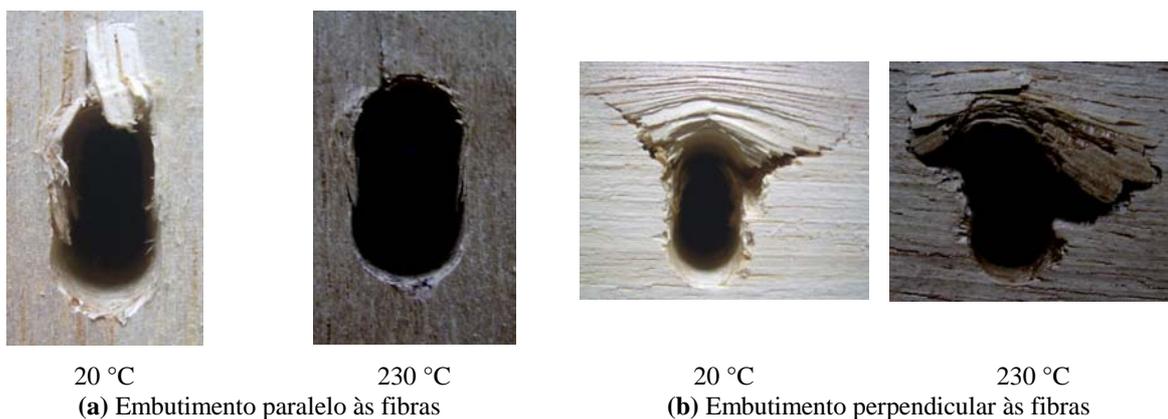


Figura 7: Ruptura dos corpos-de-prova em ensaios de embutimento

Nos ensaios de embutimento perpendicular às fibras, os corpos-de-prova ensaiados a diferentes níveis de temperatura não apresentaram diferenças significativas quanto ao tipo de ruptura. Estas se caracterizaram pelo esmagamento das fibras aderentes ao parafuso, com forte adensamento das mesmas, e posterior ruptura por tração (**Figura 7b**). A 230 °C, a ruptura citada caracterizou-se por apresentar uma desagregação adicional do material, ocorrendo um esfacelamento das fibras (**Figura 7b**).

A 150 °C, nos ensaios de embutimento paralelo às fibras, observou-se a existência de ruptura por fendilhamento (**Figura 8**). Segundo ALMEIDA (1987), o fendilhamento da madeira ocorre pela ruptura por tração normal às fibras, ao longo de planos paralelos à direção da força transmitida pelo parafuso à madeira, sendo comum este tipo de ruptura em espécies de madeiras com resistência à compressão superior a 60 MPa, o que não é o caso da amostra de paricá usada. A resistência média à compressão paralela às fibras da amostra empregada nesta pesquisa é de 32,27 MPa, à temperatura ambiente (MANRIQUEZ, 2008). Segundo SCHAFFER (1973), entre 150 e 160 °C, a madeira perde água de constituição dos componentes químicos e a lignina se funde e começa a ressolidificar. Este comportamento da lignina pode explicar a forma de ruptura dos corpos-de-prova ocorridos a 150 °C.



Figura 8: Ruptura dos corpos-de-prova por fendilhamento a 150 °C.

3.4. RESISTÊNCIA AO EMBUTIMENTO PARALELO E PERPENDICULAR ÀS FIBRAS

Os resultados obtidos nos ensaios de embutimento paralelo ($f_{e,0}$) e perpendicular às fibras ($f_{e,90}$) são apresentados na **Figura 9**. Percebe-se que os valores obtidos para o embutimento paralelo às fibras são superiores àqueles do embutimento perpendicular. A 20 °C, a resistência média ao embutimento paralelo às fibras foi de 29,49 MPa \pm 4,55 MPa, enquanto a resistência perpendicular foi de 13,16 MPa \pm 4,00 MPa. A 230°C, as resistências foram de 17,90 MPa \pm 3,82 MPa e de 5,71 MPa \pm 1,99 MPa para as resistências paralela e perpendicular às fibras, respectivamente. Isso representa uma redução 60 % e 40 % da resistência em relação aos valores à temperatura ambiente.

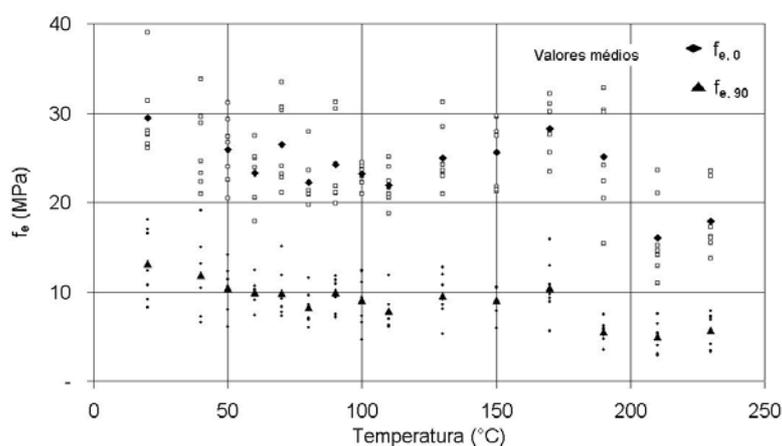


Figura 9: Resistência ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras

Verificou-se, através da análise de variância, que existem diferenças significativas, com 95 % de confiança, entre os resultados de resistência ao embutimento paralelo às fibras a 20 °C e os resultados obtidos nas demais temperaturas, com a exceção dos valores obtidos a 40, 50, 70, 150 e 170 °C. O mesmo ocorre com os resultados de resistência ao embutimento perpendicular às fibras, com a exceção dos valores obtidos a 40, 50 e 170 °C.

A resistência ao embutimento diminui com a temperatura de maneira não-monotônica. A 80 °C, a resistência ao embutimento perpendicular às fibras é de 8,29 MPa. Observam-se picos relativos de resistências de 9,98 MPa, a 90 °C, e de 9,10 MPa, a 100 °C. Acima de 110 °C, a resistência novamente aumenta. A 170 °C, atinge o valor médio de 10,46 MPa. A temperaturas maiores, a

resistência começa a diminuir até um valor médio mínimo de 5,71 MPa a 230 °C (**Figura 9**). Estes resultados são similares aos obtidos por MORAES et al. (2005), para o *Pinus sylvestris*. Estes pesquisadores verificaram que a umidade e a temperatura possuem papel importante na resistência ao embutimento da madeira, como o é para outras propriedades mecânicas da madeira (GERHARDS, 1982).

As **Figuras 10a e b** ilustram os resultados de resistência ao embutimento por massa específica normalizados. Esta normalização foi obtida pela divisão dos valores da razão resistência ao embutimento/massa específica, nos diversos níveis de temperatura, pelo valor médio dessa razão a 20 °C. As figuras citadas apresentam também os intervalos de confiança para estimativa dos valores médios e individuais da resistência ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras normalizadas, com uma confiabilidade de um 95 %.

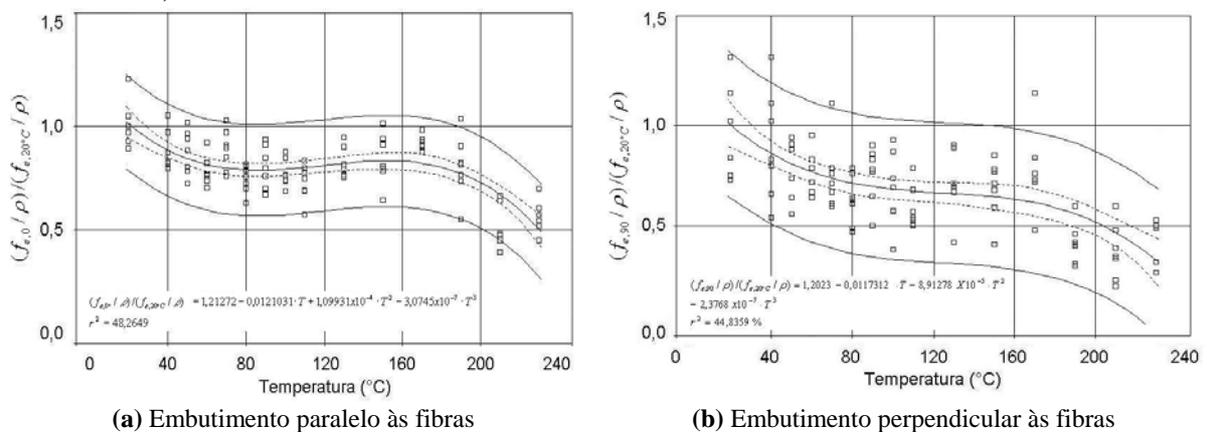


Figura 10: Resistências ao embutimento normalizadas.

Nas **Figuras 10a e b**, pode ser verificado que existe uma diminuição não-monotônica da resistência ao embutimento em função da temperatura, com a existência de um valor mínimo relativo, a 80 °C, e uma taxa maior de diminuição a partir de 180 °C. Este comportamento pode estar associado à transição vítrea dos polímeros da madeira e ao teor de umidade. A 80 °C, o paricá apresentava um teor médio de umidade de 6,23 % e, a partir de 150 °C, estava com 0 % de umidade (**Figura 5**). Sabe-se que a transição vítrea da madeira está vinculada à sua temperatura e ao seu teor de umidade. IRVINE (1984) constatou, através de análise térmica diferencial (DTA) que, a 20 % de umidade, a transição vítrea da lignina de diversas espécies de madeira ocorre em um espectro de temperatura entre 60 e 90 °C. Para um conteúdo de umidade aproximado de 5 %, a transição vítrea da lignina da espécie *Eucayptus regnans* está próxima de 70 °C. Para ensaios de madeiras úmidas, OLSSON e SALMEN (1997) verificaram que a transição vítrea para *Ulmus americana* ocorre em torno 78 °C e para o *Pinus strobus*, em torno de 90 °C. SCHAFFER (1973) também informa que, a partir de 55 °C, a estrutura da lignina é alterada e a hemicelulose começa a amolecer. A transição vítrea seca dos polímeros da madeira ocorre a altas temperaturas. Para a celulose, ocorre entre 200 e 250 °C; para a hemicelulose, ocorre entre 150 a 220 °C e, para a lignina, ocorre a temperaturas superiores a 205 °C (BACK e SALMÉN, 1982). Isto pode justificar o comportamento da resistência ao embutimento do paricá a partir de 180 °C.

Em algumas regiões do Brasil, a temperatura ambiente pode ser superior a 35 °C durante o dia, o que pode ocasionar temperaturas entre 55 e 65 °C em alguns tipos de coberturas. Se estas

coberturas forem construídas com elementos estruturais em madeira e a exposição ao calor for prolongada, pode ocorrer a redução da resistência mecânica da madeira empregada. A norma americana NDS (1997) prevê a utilização de um fator de segurança que pode chegar a 0,5 para madeiras úmidas e temperaturas entre 52 e 65 °C.

O limite inferior do intervalo de confiança para os valores individuais esperados da resistência ao embutimento, para temperaturas entre 52 e 65 °C, mostra uma redução de aproximadamente 40 % em relação à média do embutimento paralelo às fibras obtida a 20 °C (**Figura 10a**) e para o embutimento perpendicular às fibras é de aproximadamente 60 % (**Figura 10b**). A norma NDS (1997) e os resultados obtidos nesta pesquisa indicam a necessidade de se considerar um fator de redução de resistência para cálculo de estruturas expostas a temperaturas elevadas, sejam elas de incêndio ou não. Esta tarefa caberá à comissão responsável pela revisão da norma NBR 7190/97, após estudos mais detalhados para as madeiras brasileiras, oriundas de florestas nativas ou não.

4. CONCLUSÕES

Neste trabalho foi determinada a influência da temperatura sobre as resistências ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras do paricá (*Schizolobium amazonicum*), oriundo de florestas plantadas. Para cada uma das direções, foram utilizados 105 corpos-de-prova, distribuídos em 15 grupos de 7 corpos-de-prova, com massas específicas aparentes estatisticamente homogêneas, os quais foram ensaiados em níveis de temperatura situados entre 20 e 230 °C. Os resultados obtidos permitem concluir que:

- a 20 °C, a resistência ao embutimento paralelo às fibras é 29,49 MPa ± 4,55 MPa, enquanto a resistência ao embutimento perpendicular é 13,16 MPa ± 4,00 MPa; a 230 °C, elas apresentam uma redução de 60 % e 40 %, respectivamente, em relação à resistência à temperatura ambiente;
- existe diferença, estatisticamente significativa, com um nível de confiança de 95 %, entre resistência ao embutimento do paricá, a 20 °C, e as demais resistências obtidas nos outros níveis de temperatura;
- as resistências ao embutimento paralelo e perpendicular às fibras diminuem, de modo não-monotônico, com o aumento da temperatura, sendo que este comportamento está relacionado com o teor de umidade dos corpos-de-prova e com a transição vítrea dos polímeros da madeira.
- a exposição dos corpos-de-prova a altas temperaturas provoca alteração da coloração, tanto interna quanto externamente, sendo esta mais significativa a temperaturas superiores a 150 °C;
- a ruptura dos corpos-de-prova na direção paralela às fibras é diferente daquela na direção perpendicular. No embutimento paralelo às fibras, a ruptura é caracterizada por um comportamento plástico, manifestado pela elevada penetração do parafuso sem causar o rompimento dos corpos-de-prova por fendilhamento, exceção aos resultados a 150 °C. No embutimento perpendicular, a ruptura se caracteriza pelo esmagamento das fibras aderentes ao

parafuso, com forte adensamento das mesmas, e posterior ruptura por tração. A 230 °C, existe uma desagregação adicional da madeira manifestada pelo esfacelamento das fibras.

- recomenda-se a determinação de coeficientes de segurança para considerar a redução da resistência ao embutimento devida à temperatura, de incêndio ou não.

5. AGRADECIMENTOS

Os autores deste trabalho agradecem ao Eng. Rodrigo Figueiredo Terezo, doutorando do Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina, pela doação da madeira utilizada neste trabalho e pela colaboração constante, amizade e convivência durante este período; à Universidade de Magallanes, Chile, pelo suporte financeiro ao primeiro autor e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo financiamento parcial desta pesquisa.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P.A.O. (1987) **Uniões pregadas de madeira**. São Paulo. 174p. Dissertação (Mestrado) - Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **Projeto de estruturas de madeira**, NBR 7190. Rio de Janeiro.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). **Projeto de estruturas de madeira, Anexo G: Classificação visual de madeira serrada de coníferas, Projeto CE-02:126.10**. Rio de Janeiro.

BACK, E.L.; SALMÉN, N.L. (1982). Glass transition of wood components hold implications for molding and pulping processes. **Tappi J.** v. 65, n.7, p.107-110.

GERHARDS, C.C. (1982). Effect of moisture content and temperature on the mechanical properties of wood: an analysis of immediate effects. **Wood and fiber**, v.14, n.1, pp.4-36.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS (1986). **Manual de Preservação de Madeiras**. São Paulo.

IRVINE, G. (1984). The glass transitions of lignin and hemicellulose and their measurement by differential thermal analysis. **Tappi J.** v. 67, n. 5. p.116-121.

KOLLMANN, F.F.P.; COTE, W.A. Jr (1968). **Principles of wood Science and Technology**. In: Solid wood. Springer, Berlin Heidelberg New York. 592p.

MANRIQUEZ, M.J. (2008). **Influência da temperatura sobre as propriedades mecânicas do paricá**. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. Universidade Federal de Santa Catarina.

MELO, J.E.; CARVALHO, G.M. de; MARTINS, V.A. (1989). **Espécies madeireiras substitutas do mogno (*Swietenia macrophylla* King.)**. Brasília: IBAMA, 16 p. (Série Técnica, 6)

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. (2003). **Applied statistics and probability for engineers**, 3rd ed. Wiley, New York.

MORAES, P.D.; ROGAUME, Y; TRIBOULOT, P. (2005). Influence of Temperature on the embedding strength. **Holz als Roh-und Werkstoff**. v. 63, p. 297-302.

NATIONAL DESIGN SPECIFICATION (1997). For Wood Construction, **American Forest e Paper Association**, pp10,158.

NORMALISATION FRANÇAISE NF EN 383 (1993). **Détermination de caractéristiques de fondation et de la portance locale d'éléments d'assemblages de type broche**. France.

OLSSON, A.M.; SALMÉN, L. (1997). **Humidity and temperature affecting hemicellulose softening in wood**. In: International conference of COAST action E8. Denmark. pp269-279.

SCHAFFER, E.L. (1973). Effect of pyrolytic temperatures on the longitudinal strenght of dry Douglas fir. **Journal of testing and evaluation**. v. 1, n. 4, p.319-329.

TEREZO, R.F.; SZÜCS, C.A. (2007). **Anatomical and mechanical properties of *Schizolobium amazonicum* on different ages**. In: International Union of Forest Research Organization - IUFRO, 5th Conference , Taipei. **Anais...** Taipei: IUFRO, 2007. 1 CD-ROM.