



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VICTOR HUGO BARBOSA MOREIRA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE LIGAÇÕES
PARAFUSADAS EM TRÊS ESPÉCIES DE MADEIRAS TROPICAIS**

BRASÍLIA/DF

2019



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
FACULDADE DE TECNOLOGIA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA FLORESTAL

VICTOR HUGO BARBOSA MOREIRA

**ANÁLISE EXPERIMENTAL DA RESISTÊNCIA MECÂNICA DE LIGAÇÕES
PARAFUSADAS EM TRÊS ESPÉCIES DE MADEIRA**

Trabalho Final apresentado ao Departamento de Engenharia
Florestal da Universidade de Brasília, como parte
das exigências para obtenção do título de Engenheiro Florestal.
Orientador: Prof. Dr. Cláudio Del Menezzi, EFL/UnB

BRASÍLIA/DF

2019

Aos meus pais, Geraldo Eustáquio e Márcia.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente gostaria de agradecer a minha família. Aos meus pais por todo apoio e suporte não só durante o curso, mas por toda minha vida, me incentivando e orientando em cada tomada de decisão e momento sempre acreditando no meu potencial e a minha irmã, Maria Victória, que mesmo não tendo mais tanta proximidade quanto tínhamos na infância ainda é alguém com quem posso contar em momentos difíceis.

À minha namorada, companheira e amiga Mariana, quem eu conheci nos primeiros dias de aula e esteve ao meu lado por todo esse trajeto, me acompanhando e auxiliando em todos os momentos. Uma companhia insubstituível e de valor incomensurável. Eu te amo.

Aos professores, corpo técnico e colaboradores do Departamento de Engenharia Florestal da Faculdade de Tecnologia da UnB, em especial ao meu orientador Prof. Dr. Cláudio Henrique Soares Del Menezzi pela oportunidade que foi me dada de trabalharmos em conjunto durante esse ano e pelos ensinamentos que me foram passados, nutro grande admiração por ele.

Aos meus amigos e colegas do período 14/00 e os que conheci ao longo do curso, sobretudo ao meu grande amigo Lucas pela grande amizade, confiança e por tudo que fez por mim.

RESUMO

Ligações parafusadas, assim como as outras, têm como objetivo transmitir as forças solicitantes entre as peças de uma estrutura. A carga máxima de ruptura e a rigidez são características de fundamental conhecimento no dimensionamento e aplicação de ligações em estruturas de madeira. Tais características sofrem influência de inúmeras fontes, como a espécie de madeira, dimensões das peças, distâncias, dimensionamento e quantidade de elementos de ligação dentre outras. Na construção de estruturas, conhecimento e estudos de classificação e caracterização das ligações são imprescindíveis. Usos de madeira com fins estruturais são padronizados por meio de norma para cada país ou região. Com o objetivo de caracterizar melhor as espécies brasileiras três (*Dipteryx Odorata*, *Dinizia Excelsa* Ducke e *Handroanthus spp.*) foram selecionadas, testadas experimentalmente em ligações parafusadas na direção normal às fibras e comparadas. A madeira de Cumaru apresentou os melhores resultados tanto para carga máxima quanto para rigidez. Dado o fato de o coeficiente de variação ter sido alto entre os dados de rigidez, mais estudos na área se fazem necessários.

Palavras-chave: Ligações em madeira; Carga de ruptura; Rigidez; Ligações Parafusadas;

ABSTRACT

Bolted joints, like any others, aim to transmit the requesting forces between the parts of a structure. Maximum breaking load and joint stiffness are characteristics of fundamental knowledge in the design and application of joints in wooden structures. These characteristics are influenced by numerous sources, such as wood species, connector dimensions, distances, sizing and number of connecting elements, among others. In the construction of structures, knowledge and studies of classification and characterization of the connections are essential. Uses of timber for structural purposes are standardized for each country or region.. In order to better characterize the Brazilian species, three native species (*Dipteryx Odorata*, *Dinizia Excelsa* Ducke e *Handroanthus spp.*) were selected, experimentally tested in screwed connections in the normal direction to the fibers and compared. Cumaru wood presented the best results for both maximum load and joint stiffness. Given that the coefficient of variation was high among the joint stiffness data, further studies in the area are needed.

Keywords: Wood joints; Breaking load; Joint stiffness; Screw connections;

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Modos de ruptura das ligações por pinos metálicos: plastificação do pino (a), embutimento (b), cisalhamento da madeira (c), fendilhamento (d). Fonte: (ALMEIDA, 1987).	17
Figura 2 - Modos de ruptura e suas formulações para uma seção de corte. Fonte: SCHWANZ (2014).	20
Figura 3 - Modos de ruptura e suas formulações para duas seções de corte. Fonte: SCHWANZ (2014).	20
Figura 4 - Dimensões do corpo de prova e posicionamento dos parafusos.	23
Figura 5 - Utilização de sargento para montagem dos corpos de prova.	23
Figura 6 - Relógio transdutor de deslocamento Starrett®.....	25
Figura 7 - Posicionamento do relógio sob o sargento para aferição do deslocamento.	25
Figura 8 - Carga de Ruptura média por parafuso das três espécies avaliadas.	29
Figura 9 - Rigidez média das três espécies avaliadas.	29
Figura 10 - Comparação das médias da relação Carga de Ruptura x Deslocamento para as três espécies avaliadas.	30
Figura 11 - Falha por fendilhamento observada em todos os CPs de ipê.	31
Figura 12 - Comparação dos parafusos utilizados nos ensaios com parafusos não utilizados.	32
Figura 13 - Embutimento nos furos após realização dos ensaios.	32

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de carga de ruptura e rigidez por corpo de prova.	28
Tabela 2 - Tensão média por parafuso para cada seção de corte.....	30
Tabela 3 - Cargas máximas característica e de cálculo para essa ligação.....	31
Tabela 4 - Cargas máximas característica e de cálculo por parafuso para essa ligação.	31

LISTA DE SIMBOLOS E ABREVIATURAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas;
ANOVA – Análise de variância;
ASTM – Sociedade Americana de Ensaios e Materiais;
C – Carga;
cos – Cosseno;
CP – Corpo de prova;
CV – Coeficiente de variação;
D – Deslocamento;
d – Diâmetro do pino;
DAP – Diâmetro a Altura do Peito (1,3 m);
DF – Distrito Federal;
DMS – Método da diferença mínima significativa;
EMBRAPA – Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária;
Fax, Rk – Resistência ao arrancamento característica do pino;
 $f_{e,k1}$ e $f_{e,k2}$ – Resistência ao embutimento característica para t1 e t2;
 f_{e0} – Resistência ao embutimento na direção paralela às fibras;
 f_{e90} – Resistência ao embutimento na direção normal às fibras;
 f_{ed} – Valor de cálculo da resistência ao embutimento;
 $f_{h,\alpha,k}$ – Resistência ao embutimento em um dado ângulo;
FT – Faculdade de Tecnologia da UnB;
 $F_v, k1$ a $k4$ – Resistência característica de um pino;
 f_{we} ou f_e – Resistência ao embutimento;
 f_{yk} – Valor da tensão de escoamento do parafuso;
IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística;
IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas;
K – Módulo de deslizamento;
 K_1 – Rigidez;
Kg – Quilograma;
Kgf – Quilograma-força;
kN – KiloNewtons;
L – Vão de uma estrutura;
 L_0 – Vão de uma estrutura;
LPF – Laboratório de Produtos Florestais;

LSD – Least significant difference method;
m – Metros;
min – Minuto;
mm – Milímetros;
MPa – MegaPascals;
My,k – Momento de Escoamento do pino;
N – Newtons;
NBR – Norma Técnica;
R – Capacidade de carga da ligação;
R_d – Resistência dos elementos de ligação;
R_{vd} – Resistência do pino em uma seção de corte;
S_d – Solicitações atuantes calculadas;
SFB – Serviço Florestal Brasileiro
sin – Seno;
t – Espessura da madeira;
t1 e t2 – Espessura das peças;
UnB – Universidade de Brasília;
URA – Umidade Relativa do Ar;
Y_s – Coeficiente de segurança (usa-se 1,1);
α – Ângulo;
β – Parâmetro que representa a relação t/d;
β_{lim} – Parâmetro limite para β;
ρ_k – Densidade característica da madeira;
ρ_k – Densidade de um dado elemento;
ρ_m – Densidade média;

SUMÁRIO

1	1 INTRODUÇÃO	12
2	OBJETIVO	14
3	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	15
3.1	AS ESPÉCIES	15
3.1.1	<i>Dipteryx odorata</i> (Cumaru).....	15
3.1.2	<i>Dinizia excelsa</i> Ducke (Angelim-Vermelho)	15
3.1.3	<i>Handroanthus spp.</i> (Ipê).....	16
3.2	LIGAÇÕES COM PINOS METÁLICOS	16
3.3	RIGIDEZ DAS LIGAÇÕES.....	18
3.4	CRITÉRIO DE DIMENSIONAMENTO E RUPTURA DAS LIGAÇÕES	19
4	MATERIAIS E MÉTODOS	22
4.1	ESPÉCIES TRABALHADAS E LOCAIS ENVOLVIDOS.....	22
4.2	PRODUÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	22
4.3	ENSAIOS MECÂNICOS	24
4.3.1	Preparação dos ensaios.....	24
4.3.2	Realização dos Ensaios.....	24
4.4	DETERMINAÇÃO DOS RESULTADOS.....	26
4.5	ANÁLISES ESTATÍSTICAS	27
5	RESULTADOS E DISCUSSÃO	28
6	CONCLUSÃO	33
7	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	34

1 1 INTRODUÇÃO

No Brasil ainda há uma grande necessidade de caracterização e classificação da madeira de espécies florestais nativas. Nos últimos anos seu uso para fins estruturais vem aumentando progressivamente e conseqüentemente investigações científicas se fazem cada vez mais necessárias.

Segundo o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2019) a produção de madeira em toras que em 2008 já era alta (115.389.259 m³) cresceu 26,9% nos 10 anos seguintes alcançando a marca de 146.463.834 m³ em 2018.

A versatilidade da madeira permite seu emprego nas mais diversas áreas. Somente na construção civil são exemplos de sua utilização: coberturas, pontes, postes, cimbramentos, e até mesmo construções mais elaboradas como casas e edifícios. Para a viabilização de tais estruturas, ligações devem ser pontos de extrema atenção dado o fato de transmitirem esforços solicitantes entre as peças, e, portanto, devem ser minuciosamente testadas e dimensionadas. Na atual norma brasileira ligações em estruturas que utilizem madeira podem ser realizadas por meio de colagem, pinos metálicos, cavilhas ou conectores.

A Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) apresenta o documento normativo que regula, dentre outros aspectos, os critérios para o dimensionamento de ligações em madeira, chamado “Projeto de Estruturas de Madeira” (ABNT NBR 7190:1997). Para ligações com pinos metálicos são considerados a espessura da peça, o diâmetro e resistência à flexão do parafuso e a resistência ao embutimento na madeira. Além da norma brasileira há outras de grande expressão pelo mundo, como a norma europeia EUROCODE 5/2004 e a americana ASTM D5652/2000.

Ligações em madeira podem ser separadas em dois grupos; por encaixe, nas quais conexão é realizada pelo contato entre as peças e as que utilizam elementos externos que transmitem os esforços entre as peças, como, por exemplo, os pinos metálicos, que são os elementos de ligação em estruturas de madeira mais utilizados no Brasil (CALIL JUNIOR et al., 2003). A resistência (R) das ligações por pinos é diretamente dependente da resistência à flexão do pino em questão e da resistência ao embutimento da madeira. (Góes, 2002).

Conforme apresentado por Branco (2011), o dimensionamento correto das ligações é fundamental para uma alta durabilidade das estruturas. Para tal dimensionamento ser feito de maneira adequada a rigidez da ligação deve ser determinada.

Todavia, a norma brasileira vigente (NBR 7190/97) não apresenta modelos específicos para o cálculo de rigidez de ligações, diferente de outras normas, como por exemplo a

européia (EUROCODE 5/2004) que apresenta modelos específicos para tal característica das ligações.

A partir do apresentado, buscou-se neste trabalho caracterizar e comparar ligações T no sentido normal as fibras em três espécies tropicais quanto à carga máxima de ruptura e a rigidez das ligações.

2 OBJETIVO

O objetivo deste trabalho é avaliar e comparar a carga máxima de ruptura e a rigidez de ligações parafusadas em peças estruturais compostas por três espécies distintas de madeira:

- *Dipteryx odorata* (Cumaru);
- *Dinizia excelsa* Ducke (Angelim-Vermelho);
- *Handroanthus spp.* (Ipê).

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 As Espécies

As espécies analisadas neste trabalho foram: *Dipteryx odorata* (Cumaru), *Dinizia excelsa* Ducke (Angelim-Vermelho) e *Handroanthus* spp. (Ipê).

3.1.1 *Dipteryx odorata* (Cumaru)

A espécie *Dipteryx odorata*, popularmente conhecida no Brasil como Cumaru, pertence à família Fabaceae e ocorre nos estados do Acre, Amazonas, Goiás, Maranhão, Mato Grosso, Mato Grosso do Sul, Pará e Rondônia, além dos países: Bolívia, Colômbia, Guiana, Guiana Francesa, Honduras, Peru e Venezuela (EMBRAPA, 2009).

É utilizada tanto para a indústria de construção civil quanto para a recuperação de áreas degradadas, possuindo uma madeira considerada nobre. Quando adulta atinge de 30 a 40 metros de altura em florestas primárias, entretanto, apresenta baixo porte quando cultivada ou localizada em florestas secundárias (PINTO et al, 2008).

Sua madeira pode ser classificada como densa, apresentando $1,05 \text{ g.cm}^{-3}$ na condição do experimento (~12% de umidade da madeira). Possui resistência natural a fungos, insetos e brocas marinhas, resistindo entre 10 a 22 anos em solos bem drenados mesmo não sendo passível de tratamento. Apresenta distinção entre os anéis de crescimento, grã reversa, textura fina a média, brilho e cheiro imperceptíveis. (EMBRAPA, 2009).

Por ter alta densidade e de propriedades físico-mecânicas consideradas altas, o cumaru pode ter incontáveis usos, como: vigas, caibros, ripas, marcos de portas, tacos e tábuas para assoalhos, lambris, forro, estacas, esteio, postes cruzetas, dormentes, carrocerias, construções navais e móveis (MAINIERI et al, 1989 apud LIMA, 2012).

3.1.2 *Dinizia excelsa* Ducke (Angelim-Vermelho)

O Angelim-vermelho, também conhecido como Angelim-pedra, (*Dinizia excelsa* Ducke) pertence à família Fabaceae. Ocorre na Guiana Inglesa e nos seguintes estados brasileiros: Acre, Amapá, Amazonas, Pará, Rondônia, Roraima, Tocantins e Maranhão. (EMBRAPA, 2015)

Considerada uma madeira de alta densidade, apresentando $1,19 \text{ g.cm}^{-3}$ na condição do experimento. Secagem da maneira relativamente rápida. Possui acabamento ruim na plaina, regular com a broca e ótimo no torno. É naturalmente resistente ao ataque de fungos e insetos. Não é passível de tratamento mesmo sob pressão. (PAULA, 2016, apud SOUZA et al., 1997).

É uma árvore de grande porte, podendo alcançar até 60 m de altura e mais de 2 m de DAP. Seu tronco é reto e de forma cilíndrica e é comumente encontrado oco principalmente nas árvores muito grandes. (MESQUITA et. Al, 2009)

Pode ser utilizada na construção de pontes, postes, estacas, esteios, cruzetas, dormentes, estruturas portuárias, piers, como vigas, caibros, cabos de ferramentas dentre outros usos. É comumente utilizada substituindo outras madeiras pesadas como angelim-amargoso, angelim-pedra, angico, garapa, itaúba, jatobá, maçaranduba, pau-roxo e sucupira. (IPT, 2013).

3.1.3 *Handroanthus spp.* (Ipê)

As madeiras provenientes do gênero possuem textura considerada fina e a grã varia entre irregular e reversa. A madeira de ipê é famosa por sua alta resistência ao ataque de seres xilófagos, resistência moderada contra brocas marinhas e elevada resistência contra apodrecimento em condições de elevada umidade. Apresenta dificuldades na trabalhabilidade, porém boa qualidade no acabamento com plaina e lixa. (IPT, 2019).

Possui alta densidade ($0,91 \text{ g.cm}^{-3}$ na condição do experimento) e durabilidade, e por isso possui inúmeras aplicações, são exemplos: pontes, dormentes, cruzetas, defensas, vigas, caibros, portas janelas, batentes, rodapés, forros, tábuas, tacos para pisos, móveis e decorações, artigos esportivos, ferramentas, implementos agrícolas, partes de instrumentos musicais dentre outros (IPT, 2019).

Sua madeira pode ser empregada em diversas áreas como: marcenaria, construções pesadas, estruturas externas, mobília de alta qualidade, artigos esportivos, brinquedos e instrumentos musicais (ANDRADE, 2015).

Segundo Longui et al. (2010) a madeira de Ipê pode, inclusive, servir como matéria prima para a construção de arcos de violino, faltando apenas uma maior utilização e aceitação no meio musical, motivando ainda mais o aumento das pesquisas entorno desse gênero.

3.2 Ligações com pinos metálicos

Ligações utilizando pinos metálicos se subdividem em dois grupos: ligações com pregos e com parafusos. Neste trabalho, os ensaios foram realizados em corpos de prova ligados por parafusos. Os maiores esforços em estruturas de madeira se concentram nas ligações e, portanto, são os pontos críticos. Toda a estrutura poderá colapsar caso haja a falha de uma ligação. (CALIL JUNIOR et al., 2003).

Em grande parte das ligações com pinos metálicos, as dimensões dos componentes são dependentes do número e espaçamento entre os pinos devido às suas limitações individuais. Observa-se que em situações nas quais a estrutura ficará exposta, o fator estético também deve ser levado em consideração, gerando ainda mais restrições (MOREIRA, 2004).

O emprego correto de uma ligação necessita do conhecimento acerca das possíveis falhas que tal ligação pode apresentar bem como a avaliação de sua rigidez. Vale ressaltar que a adequação desta ligação para uma determinada situação depende de diversos fatores, como por exemplo: facilidade de execução, o comportamento resistente, a durabilidade os custos e o aspecto estético (MOREIRA, 2004).

Nos primórdios dos estudos científicos na área, Johansen (1949) já demonstrava que a resistência das ligações realizadas por pinos depende da resistência da madeira ao embutimento do pino e da resistência do pino à flexão e que esses fatores possuem comportamento plástico, ou seja, não retornam à sua forma original após deformação.

Ligações parafusadas podem apresentar quatro modos de ruptura: plastificação do pino metálico por flexão, embutimento do pino na madeira, cisalhamento e fendilhamento da madeira, como mostra a figura 1, (ALMEIDA 1987).

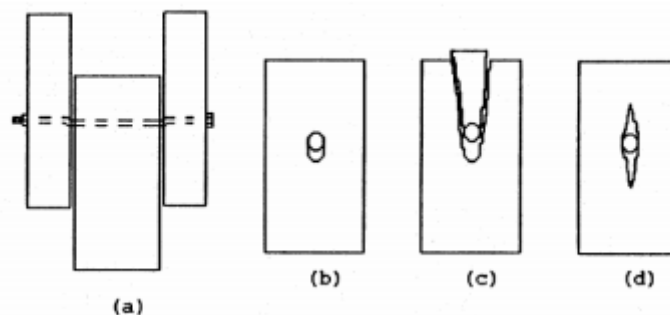


Figura 1 - Modos de ruptura das ligações por pinos metálicos: plastificação do pino (a), embutimento (b), cisalhamento da madeira (c), fendilhamento (d). Fonte: (ALMEIDA, 1987).

- (a) – no caso da plastificação, o pino se flexiona e pode haver plastificação parcial da parede do furo (ALMEIDA, 1987).
- (b) – nesse caso, o parafuso penetra na madeira esmagando a parede do furo. Pode ocorrer em situações em que a relação espessura da madeira (t) e o diâmetro do parafuso (d) possuem valores muito baixos ou quando a madeira em questão é de baixa resistência (ALMEIDA, 1987).

- (c) e (d) – em ambos os casos (cisalhamento e fendilhamento) Almeida (1987) conclui que se faz necessário a implementação de regras que limitem o diâmetro de pré-furação, os espaçamentos mínimos e as distâncias para cada situação em que são empregados os pinos metálicos.

3.3 Rigidez das ligações

A norma brasileira atual (NBR 7190/1997) não apresenta um modelo específico a ser utilizado para cálculo de rigidez das ligações. Entretanto ela faz algumas observações acerca da diferenciação entre ligações consideradas deformáveis e rígidas.

Ligações com dois ou três pinos devem ser consideradas deformáveis, podendo ser utilizadas apenas em estruturas isostáticas. No projeto, tais ligações são calculadas como rígidas, todavia uma contraflecha compensatória de no mínimo $L/100$ é dada à estrutura, sendo L o vão teórico da estrutura em questão. Nunca se deve realizar uma ligação utilizando apenas um pino. Ligações com quatro ou mais pinos serão consideradas rígidas caso respeitem os diâmetros de pré-furação expressos na norma. Para parafusos, a pré-furação não pode ser maior que o diâmetro d do parafuso acrescido de 0,5 mm para que a ligação seja considerada rígida (NBR 7190/97).

O conhecimento da relação carga x deformação (também chamada de rigidez) para as mais diversas formas de ligação é imprescindível para a realização de cálculos e dimensionamentos adequados e seguros dos elementos da ligação. (KREUNZINGER, 1995).

Kreunzinger (1995) aponta que em estruturas unidas por ligações que utilizem pinos, cavilhas ou chapas com dentes metálicos, há deslocamento entre as peças. A relação entre a carga aplicada na estrutura e o deslocamento ocorrido entre as peças da estrutura é chamado de módulo de deslizamento (K), que no presente trabalho foi tratado como rigidez.

O EUROCODE 5/2004 apresenta a seguinte formulação para cálculo da Rigidez para parafusos, cavilhas e pregos com pré-furações (8) e para parafusos sem pré-furações (9).

$$K = (\rho_m^{1,5} \cdot d)/23 \quad (8)$$

$$K = (\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8})/30 \quad (9)$$

Onde:

K : Rigidez;

ρ_m : Densidade média.

Caso haja a ligação entre elementos de densidades diferentes, a equação 10 deve ser adotada para o cálculo da densidade final.

$$\rho_k = \sqrt{\rho_{k1} \cdot \rho_{k2}} \quad (10)$$

Onde:

ρ_k : Densidade final;

ρ_{k1} : Densidade do elemento 1;

ρ_{k2} : Densidade do elemento 2.

3.4 Critério de dimensionamento e ruptura das ligações

Segundo a norma brasileira, o dimensionamento dos elementos de ligação deve obedecer a condição de segurança $S_d \leq R_d$, onde R_d é o valor de cálculo da resistência dos elementos da ligação e S_d o valor de cálculo das solicitações nela atuantes.

A relação entre a espessura (t) da peça e o diâmetro do parafuso (d) é apresentada pelo parâmetro β (equação 11), que determina a resistência da ligação em uma única seção de corte.

$$\beta = \frac{t}{d} \quad (11)$$

O valor limite para β é representado pelo parâmetro β_{lim} apresentado pela equação 12.

$$\beta_{lim} = 1,25 \cdot \sqrt{\frac{f_{yk}}{Y_s \cdot f_{ed}}} \quad (12)$$

Sendo:

- f_{yk} : valor da tensão de escoamento do parafuso;
- Y_s : coeficiente de segurança (usa-se 1,1)
- f_{ed} : valor de cálculo da resistência ao embutimento.

Podem ocorrer dois modos de ruptura na ligação, embutimento na madeira ou flexão do parafuso. A resistência do pino em uma seção de corte é dada por $R_{vd,1}$.

Caso $\beta \leq \beta_{lim}$ a ruptura será dada pelo embutimento na madeira, e $R_{vd,1}$ será dada pela equação 13:

$$R_{vd,1} = 0,40 \cdot t \cdot d \cdot f_{ed} \quad (13)$$

Já caso $\beta > \beta_{lim}$ a ruptura então será pela flexão do parafuso, sendo $R_{vd,1}$ dada pela equação 14:

$$R_{vd,1} = 0,625 \cdot \frac{d^2}{\beta_{lim}} \cdot f_{yd} \quad (14)$$

Por sua vez, a norma EUROCODE 5/2004 determina fórmulas diferentes (equações 15 a 24) para uma e duas seções de corte e para diferentes modos de ruptura das ligações (Figuras 2 e 3).

$F_{v,k1} = f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d$	A (15)
$F_{v,k2} = f_{e,k1} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$	B (16)
$F_{v,k3} = \frac{f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2 \cdot \beta^2 \cdot \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^3 \cdot \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \cdot \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	C (17)
$F_{v,k4} = 1,05 \cdot \frac{f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	D (18)
$F_{v,k5} = 1,05 \cdot \frac{f_{e,k1} \cdot t_2 \cdot d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta^2 \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (1 + 2 \cdot \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	E (19)
$F_{v,k6} = 1,15 \cdot \sqrt{\frac{2 \cdot \beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 \cdot M_{y,k} \cdot f_{e,k1} \cdot d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$	F (20)

Figura 2 - Modos de ruptura e suas formulações para uma seção de corte. Fonte: SCHWANZ (2014).

$F_{v,k1} = f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d$	G (21)
$F_{v,k2} = f_{e,k1} \cdot t_2 \cdot d \cdot \beta$	H (22)
$F_{v,k3} = \frac{f_{e,k1} \cdot t_1 \cdot d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2 \cdot \beta \cdot (1 + \beta) + \frac{4 \cdot \beta \cdot (2 + \beta) \cdot M_{y,k}}{f_{e,k1} \cdot d \cdot t_1^2}} - \beta \right]$	I (23)
$F_{v,k4} = \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2 M_{y,k} f_{e,k1} d}$	J (24)

Figura 3 - Modos de ruptura e suas formulações para duas seções de corte. Fonte: SCHWANZ (2014).

Onde:

- $F_{v, k1}$ a $k4$: resistência característica de um pino, em Mpa (será o menor valor dentre os resultados de cada modo);
- $f_{e,k1}$ e $f_{e,k2}$: resistência ao embutimento característica para t_1 e t_2 , em Mpa;
- t_1 e t_2 : espessura das peças, em mm;
- β : razão entre $f_{h,1,k}$ e $f_{h,2,k}$;

- $F_{ax, Rk}$: resistência ao arrancamento característica do pino;
- $M_{y,k}$: Momento de Escoamento do pino.

Na figura 2, os modos A e B apresentam falha por embutimento em uma das peças. O modo C apresenta falha por embutimento em ambas as peças. Os modos D e E apresentam falha por flexão do pino em uma das peças. O modo F apresenta falha por flexão do pino em ambas as peças.

Na figura 3, o modo G apresenta falha por embutimento nas peças exteriores. O modo H apresenta falha por embutimento na peça interior. O modo I apresenta falha por flexão do pino na peça exterior. O modo J apresenta falha por flexão do pino na peça interior.

As capacidades de carga para ligações que utilizem pinos com e sem pré-furação são calculadas como apresentado nas equações 25 e 26:

$$R = \sqrt{0,3 \cdot (100 - d) \cdot d^{3,6} \cdot \rho_k} \quad (25)$$

$$R = \sqrt{30 \cdot d^{3,3} \cdot \rho_k} \quad (26)$$

Onde:

R: Capacidade de carga;

d: Diâmetro do pino;

ρ_k : Densidade característica da madeira.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Espécies trabalhadas e locais envolvidos

As três espécies foram determinadas a partir do estudo realizado por Oliveira et al. (2008) que as apresenta dentro do grupo das cinco espécies mais comercializadas no Distrito Federal com fins estruturais e foram as seguintes: Cumaru (*Dipteryx odorata*), Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa Ducke*) e Ipê (*Handroanthus spp.*).

O material lenhoso foi obtido em madeira localizada no Distrito Federal (DF) na forma de pranchas já cortadas nas dimensões desejadas. Após a aquisição das tábuas, as espécies foram identificadas a partir de comparação visual com o material disponível na Xiloteca do Laboratório de Produtos Florestais (LPF) localizado no Serviço Florestal Brasileiro (SFB).

A aclimatização foi feita na câmara climática do LPF, a 65% de Umidade Relativa do Ar (URA) e 20° C. Os CPs foram confeccionados em uma oficina de carpintaria também no DF. Os ensaios mecânicos foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade de Brasília (UnB), localizado no Departamento de Engenharia Florestal (EFL) na Faculdade de Tecnologia (FT).

4.2 Produção dos corpos de prova

As dimensões utilizadas foram calculadas de acordo com a seção 8.6.1 da norma NBR 7190/1997 com base no diâmetro do parafuso (10 mm). Entre todos os centros de pinos foi estabelecida uma distância padrão de 4d (diâmetro do pino). Entre todos os pinos e as bordas das peças tanto em direção normal quanto paralela, foi estabelecida uma distância padrão de 4d.

Conforme a seção 8.3.4 da norma, a espessura das peças laterais foi o dobro do diâmetro do parafuso e as peças centrais foram confeccionadas com o dobro da espessura das peças laterais (Figura 4).

Os caibros foram levados à oficina onde os CPs foram confeccionados. 10 CPs foram confeccionados por espécie, buscando alcançar o mais próximo possível das dimensões a seguir e apresentadas na Figura 4:

- Peça central: seção lateral de 120 mm x 200 mm com 40 mm de espessura t_2 ;
- Peças laterais: seção lateral de 120 mm x 360 mm com 20 mm de espessura t_1 ;

As ligações foram feitas utilizando quatro parafusos de aço 8.8 com 10 mm de diâmetro por 100 mm de comprimento seguindo a norma NBR 8800/2008. Estes estavam distanciados por 40 mm das bordas e entre si, como mostra a Figura 4.

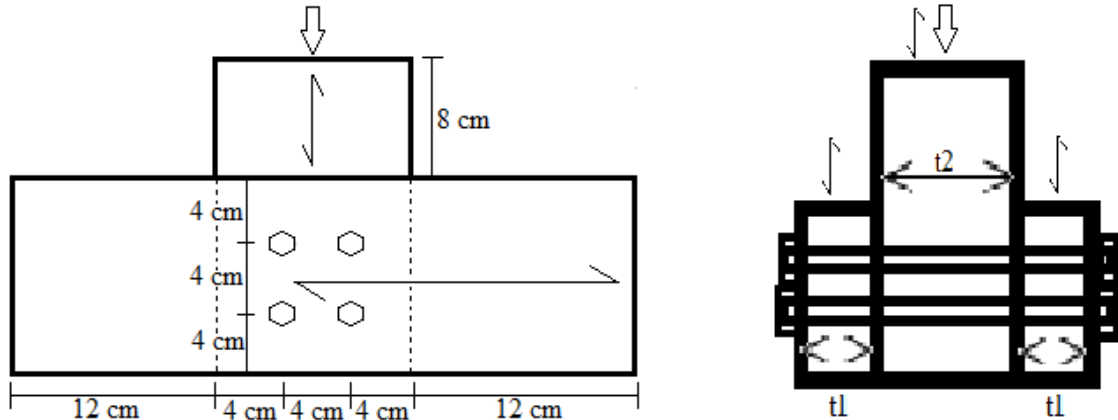


Figura 4 - Dimensões do corpo de prova e posicionamento dos parafusos.

Para a realização da pré-furação e montagem dos CPs foram utilizados sargentos metálicos como apresentado na figura 5. O diâmetro da broca de pré-furação respeitou o disposto pela NBR 7190/97, sendo de 10,5 mm, permitindo que a ligação seja considerada rígida.



Figura 5 - Utilização de sargento para montagem dos corpos de prova.

A densidade dos corpos de prova na condição do experimento foi determinada a partir de um corpo de prova de cada espécie retirados do lote, de seção lateral 3 cm x 2 cm e 2 cm de espessura. A massa inicial foi determinada em balança com precisão de centésimos de gramas e então os CPs foram colocados para secagem em estufa a $103 \pm 2^\circ\text{C}$ por 48 horas para determinação da massa seca. Com esses dois resultados foi possível calcular o teor de umidade médio da madeira conforme apresenta a equação 27.

$$U(\%) = \frac{m_1 - m_s}{m_s} \times 100 \quad (27)$$

Onde:

U: unidade na condição do experimento;

m_i : massa inicial;

m_2 : massa seca.

O volume foi determinado por medição direta uma vez que os CPs possuíam forma prismática, e a densidade, por fim, foi determinada a partir da razão da massa (g) pelo volume.

4.3 Ensaios mecânicos

4.3.1 Preparação dos ensaios

Os ensaios realizados tiveram como objetivo avaliar a Carga Máxima de Ruptura em Newtons (N) das ligações e a Rigidez da estrutura em Newtons por milímetro (N.mm^{-1}), no sentido normal às fibras. Os ensaios foram realizados seguindo o disposto na norma Standard Test Methods for Bolted Connections in Wood and Wood-Based Products (ASTM D 5652/2000) devido a impossibilidade da realização do procedimento de cargas e descargas consecutivas exigido na norma brasileira, uma vez que não havia disponível os equipamentos necessários.

Foram utilizados como apoio dois corpos de aço maciço de quatro centímetros de altura com vão de medida L_0 , apresentada na equação 28.

$$L_0 = (7d) + (4d) + n \cdot (a) \quad (28)$$

4.3.2 Realização dos Ensaios

Os ensaios foram realizados na máquina universal de ensaios modelo EMIC DL30000 com carga máxima de 300 kN.

Para a realização dos testes os valores de deformação do corpo de prova foram aferidos utilizando um relógio comparador de deslocamento, da marca Starrett® com precisão de milésimos de milímetros conforme apresentado na Figura 6.



Figura 6 - Relógio transdutor de deslocamento Starrett®.

A velocidade de descida da máquina foi ajustada para que o tempo de duração do ensaio chegasse o mais próximo possível do alvo de 10 minutos estabelecido pela norma ASTM D 5652/2000. A velocidade foi inicialmente ajustada para $0,6 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$ e posteriormente aumentada para $0,8 \text{ mm}\cdot\text{min}^{-1}$.

Foi implementado um sistema para medição do deslocamento utilizando um sargento de aço acoplado na peça central fazendo contato com o relógio conforme apresentado na Figura 7.



Figura 7 - Posicionamento do relógio sob o sargento para aferição do deslocamento.

As medidas de deslocamento (D) foram coletadas de 1000 em 1000 Newtons (N) de carga (C) do início do teste até a carga de 20000 Newtons para a realização do cálculo de Rigidez (K) da estrutura e plotagem do gráfico. O conceito de rigidez adotado foi a força necessária para a deformação da estrutura em 1 mm (10% do diâmetro (d) do parafuso), sendo calculado conforme apresentado na equação 29. Após isso a carga continuou a ser aplicada até o ponto de falha do CP.

$$K (N \cdot mm^{-1}) = \frac{\Delta C (N)}{\Delta D (mm)} \quad (29)$$

Sendo:

K: rigidez;

ΔC : variação de carga;

ΔD : variação de deslocamento.

4.4 Determinação dos resultados

O valor médio \bar{X} é dado pela média aritmética dos resultados de cada CP. Os valores característicos X_k são representados, de modo geral, pelo valor característico inferior $X_{k,inf}$ que é o valor cuja probabilidade de não ser atingido em um dado lote é de 5%, e é dado pela equação 30.

$$f_{wk} = \left(2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - f_{\frac{n}{2}} \right) \times 1,1 \quad (30)$$

Onde:

F_{wk} :valor característico;

f_n : resultado para cada CP;

n: número de CPs.

O valor de cálculo X_d é dado a partir do valor característico corrigido pelo coeficiente de minoração das propriedades da madeira (γ_w) e pelo coeficiente de modificação (k_{mod}), conforme apresentado pela equação 31.

$$X_d = k_{mod} \cdot \frac{F_k}{\gamma_w} \quad (31)$$

O k_{mod} para este trabalho foi calculado de acordo com a norma, seguindo a equação 32.

$$k_{mod} = k_{mod,1} \cdot k_{mod,2} \cdot k_{mod,3} \quad (32)$$

Onde:

- $k_{\text{mod},1} = 0,7$ (para madeira serrada e carregamento normal);
- $k_{\text{mod},2} = 1,0$ (para madeira serrada e classe de umidade 2);
- $k_{\text{mod},3} = 0,8$ (para madeira serrada e de segunda categoria).

Portanto, o k_{mod} utilizado foi 0,56.

A ABNT NBR 7190:1997 define que para os valores de coeficientes de ponderação, para os estados limites de utilização adota-se o valor básico de $\gamma_w = 1,0$.

A tensão média (σ) por parafuso foi calculada seguindo a equação 33:

$$\sigma = \frac{\bar{R}}{A_c} \quad (33)$$

Onde:

- \bar{R} : carga de ruptura média por parafuso;
- A_c : Área de contato de cada parafuso com as peças laterais;

4.5 Análises Estatísticas

Os dados foram avaliados a partir de análises de variância de um fator (ANOVA) e a partir da constatação de variação significativa do teste de F os resultados foram comparados por meio do teste de Tukey utilizando o software Excel.

Nos resultados de rigidez também foi aplicado o Método da Exclusão de Outliers baseado na Amplitude Interquartil.

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

As densidades na condição do experimento foram: 1,19 g.cm³ para o angelim a 12,93% de umidade de equilíbrio (U_{eq}), 1,05 g.cm³ para o cumaru a 11% de U_{eq} e 0,91 g.cm³ para o Ipê a 11,18% de U_{eq} .

Na tabela 1 estão os resultados obtidos a partir dos ensaios de carga de ruptura e rigidez realizados para as três espécies estudadas por corpo de prova, assim como as médias, desvios padrões e coeficientes de variação (CV).

Tabela 1 - Resultados dos ensaios de carga de ruptura e rigidez por corpo de prova.

Espécie	Carga			Rigidez		
	Angelim	Cumaru	Ipê	Angelim	Cumaru	Ipê
CP1	82435	97863	92844	25469	25270	24359
CP2	95369	95152	88695	27859	24427	25237
CP3	96807	93745	119633	25989	32203	22459
CP4	99611	95059	90702	25132	26995	20321
CP5	107630	97087	86129	22213	34111	23340
CP6	95162	91623	108106	38008	27593	25745
CP7	99435	96921	111997	18591	30321	29992
CP8	116736	90589	84246	27958	29321	19941
CP9	102457	99818	125189	23370	21166	26499
CP10	108179	90992	131180	22411	57402*	16860
Média	100382,1	94884,9	103872,1	25700,1	30880,8	23475,2
Desvio Padrão	9272,6	3124,3	17505,2	5170,9	10064,9	3769,8
CV	9,2	3,3	16,9	20,1	32,6	16,1

*Identificado como outlier.

Os testes apresentaram coeficientes de variação (CV) considerados baixos para Carga de Ruptura, valor que pode denotar uma boa confiabilidade no experimento. O cumaru, especialmente, apresentou um valor muito baixo para CV, o que significa que há uma alta homogeneidade nesse lote.

Uma possível explicação para os valores elevados dos CVs da Rigidez pode ser a folga que é deixada pela pré-furação, que faz com que haja um deslocamento excessivo no início da aplicação da carga e causa uma alta heterogeneidade dos dados após a estabilização em elevadas cargas. O valor ainda mais alto apresentado pelo CV da rigidez do cumaru foi, em grande parte, explicado pela presença de um outlier, que ao ser removido, fez com que tal valor caísse para 14,4%, valor dentro da margem das outras duas espécies.

A Figura 8 apresenta uma comparação entre as médias das cargas de ruptura por parafuso. A maior carga de ruptura foi apresentada pelo Ipê, o Angelim ficou muito próximo e o Cumaru apresentou os menores valores dentre as três.

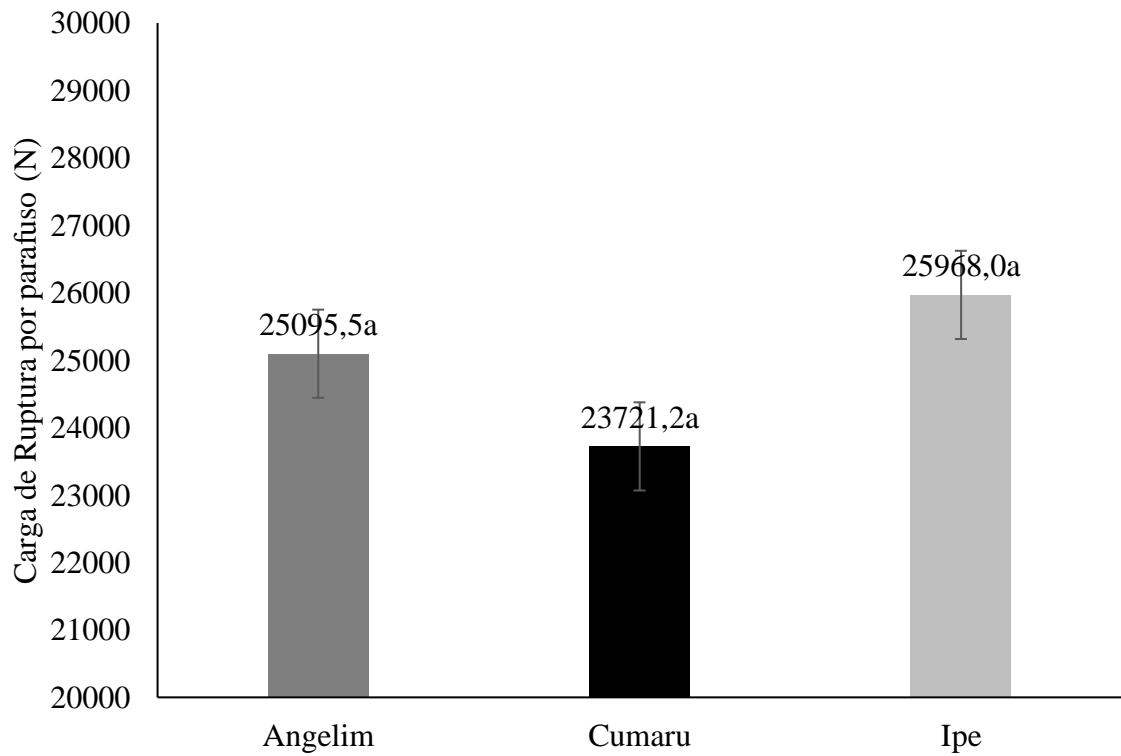


Figura 8 - Carga de Ruptura média por parafuso das três espécies avaliadas.

A Figura 9 apresenta uma comparação entre as rigidezes das espécies. Na carga necessária para deformar a estrutura em um milímetro observou-se uma inversão, onde o Cumaru se mostrou a madeira menos suscetível à deformação.

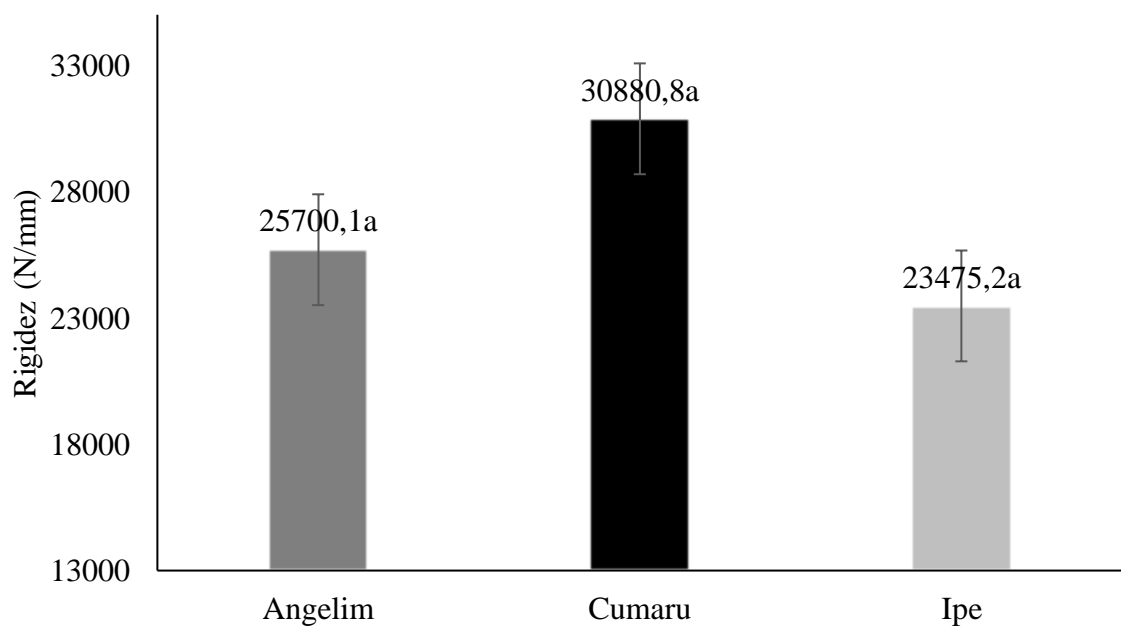


Figura 9 - Rigidez média das três espécies avaliadas.

Comparando tais resultados com os testes realizando o mesmo ensaio com a espécie Maçaranduba (*Manilkara huberi* Ducke A. Chev) por VIEIRA (2009), que chegou a valores médios de 85738 N de carga de ruptura e 16729 N.mm^{-1} , observa-se que as três espécies avaliadas apresentam maiores resultados tanto para Carga de Ruptura quanto para Rigidez.

Mesmo apresentando valores médios diferentes, os resultados não apresentaram diferenças significativas pelo método do teste de Tukey, o que corrobora a ideia da superposição das espécies em mesmos nichos de mercado.

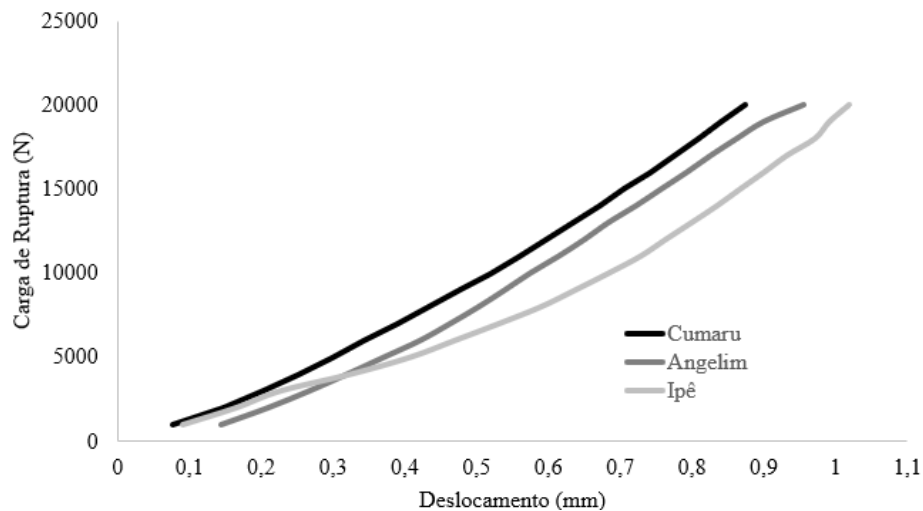


Figura 10 - Comparação das médias da relação Carga de Ruptura x Deslocamento para as três espécies avaliadas.

A figura 10 apresenta uma comparação das relações carga de ruptura x deslocamento por espécie. O cumaru apresentou a ligação mais rígida durante todo o período avaliado. Por volta de 4000 N de força aplicada houve uma incomum elevação no deslocamento do Ipê, o que pode apontar que nesse tipo de ligação a espécie seja mais propensa à deformação. Outro fator possível para o maior deslocamento do Ipê com relação as outras é a densidade significativamente menor que a espécie apresentou.

A tabela 2 apresenta as tensões médias para as três espécies. Esses valores representam as pressões no contato pino-madeira no momento do rompimento.

Espécie	Tensão média por parafuso (MPa)
Angelim	62,7
Cumaru	59,3
Ipê	64,9

As tabelas 3 e 4 apresentam os valores característicos e de cálculo de carga máxima de ruptura segundo a norma brasileira. Observa-se que mesmo tendo os menores valores médios,

o cumaru se mostrou a espécie mais resistente considerando as ponderações da norma, o que pode significar que é uma madeira que oferece maior segurança em ligações T.

Tabela 3 - Cargas máximas característica e de cálculo para essa ligação.

Espécie	Carga máxima característica R_{wk} (N)	Carga máxima de cálculo R_{wk} (N)
Angelim	93996,7	52638,1
Cumaru	97257,1	54463,9
Ipê	90246,2	50537,9

Tabela 4 - Cargas máximas característica e de cálculo por parafuso para essa ligação.

Espécie	Carga máxima característica R_{wk} (N)	Carga máxima de cálculo R_{wk} (N)
Angelim	23499,2	13159,5
Cumaru	24314,3	13616,0
Ipê	22561,6	12634,5

Em um experimento semelhante utilizando *Pinus pinaster* Ait em ligações T utilizando a mesma quantidade de CPs, SANTOS (2013) chegou a valores médios de 24110 N para carga de ruptura e 12149 N/mm de rigidez k, com CVs de 7,8 e 21,7% respectivamente. Resultados estes que demonstram uma resistência muito maior (142% para a menor média) das espécies folhosas estudadas no presente trabalho.

A Figura 11 apresenta uma falha comum observada em diferentes magnitudes em nove dos dez CPs de ipê. A partir disso, pode-se concluir que possa haver uma predisposição da madeira de ipê à falha por fendilhamento em ligações T no sentido normal às fibras.



Figura 11 - Falha por fendilhamento observada em todos os CPs de ipê.

As Figuras 12 e 13 apresentam resultados visuais acerca dos modos de ruptura. Foram desmontados 3 CPs para cada espécie após os ensaios, e em todos eles observou-se uma grande flexão dos pinos, todavia pouco ou nenhum embutimento na madeira foi observado.



Figura 12 - Comparação dos parafusos utilizados nos ensaios com parafusos não utilizados.



Figura 13 - Embutimento nos furos após realização dos ensaios.

6 CONCLUSÃO

Apesar de apresentar o menor valor médio de carga de ruptura dentre as três e não possuir a maior densidade, o cumaru mostrou os maiores valores característicos. O cumaru também apresentou maiores resultados para rigidez, o que indica uma elevada dureza da madeira.

O teste de Tukey não apresentou diferença significativa entre nenhuma das espécies avaliadas.

Diante dos resultados apresentados e devido ao elevado coeficiente de variação, mais estudos devem ser realizados acerca da rigidez das ligações parafusadas. Além disso, recomenda-se que a pré-furação seja feita com broca de diâmetro igual ao do parafuso para reduzir o vão deixado no início do experimento.

7 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, P. A. O. Uniões pregadas de madeira. 1987. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, São Paulo, 1987.

ANDRADE, V. H. F. Modelos de crescimento para *Hymenaea courbaril* L. e *Handroanthus* spp (Vahl) S.O. Grose em floresta de terra firme utilizando análise de anéis de crescimento. 73 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) — UFPR, Curitiba, 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 7190: Projetos de estruturas de madeira. Rio de Janeiro: ABNT, 1997.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. ABNT NBR 8800: Projeto de estruturas de aço e de estruturas mistas de aço e concreto de edifícios. Rio de Janeiro: ABNT, 2008.

BAENA, J. S. Comparação dos critérios de dimensionamento de ligações por pinos metálicos (parafusos) em estruturas de madeira. 2015. 115 f. Dissertação (mestrado) – USP, São Carlos – SP, 2015.

BRANCO, Jorge M. G. Comportamento das ligações tipo cavilha em estruturas mistas madeira – betão. 2003. 150 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil Especialização em Estruturas Geotecnia e Fundações– Universidade de Minho, Escola de Engenharia, Braga, Portugal, 2003.

CALIL JUNIOR, C.; LAHR, F. A R.; DIAS, A. A. Dimensionamento de elementos estruturais de madeira. Barueri: Manole, 2003.

CARVALHO, P. E. R. Cumaru-Ferro *Dipteryx odorata*. Comunicado Técnico 225. Colombo, PR, Julho, 2009.

CRUZ, E. D; PEREIRA, A. G. Germinação de sementes de espécies amazônicas: Angelim-vermelho (*Dinizia excelsa* Ducke). Comunicado Técnico 267. Belém, PA, Agosto, 2015.

EUROPEAN COMMITTEE FOR STANDARDIZATION. **EUROCODE 5**: Design of timber structures – Part 1 – 1: general rules and rules for buildings. Brussels: CEN, 2004.

IPT, Informações sobre madeiras – Ipê., 2019. Disponível em <http://www.ipt.br/informacoes_madeiras/38.htm>. Acesso em 30/10/2019.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO (IPT). Catálogo de madeiras brasileiras para a construção civil. São Paulo. 2013.

KREUNZINGER, H. Mechanically jointed beams and columns. Timber Engineering. STEP 1. B11/1-B11/8. 1995.

LIMA, M. D. F. Utilização de resíduos da espécie *Dipteryx polyphylla* (Cumarurana), *Dipteryx odorata* (Cumaru) e *Brosimum parinarioides* (Amapá) na produção de painéis de madeira aglomerada com resina poliuretana à base de óleo da mamona. 2012. 148 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Amazonas, Manaus, 2012.

LONGUI, E. L.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. Potential brazilian wood species for bows of string instruments. *Holzforschung*, Berlin, v. 64, p. 511–520, 2010.

LONGUI, E. L.; YOJO, T.; LOMBARDI, D. R.; ALVES, E. S. The potential of ipê (*Tabebuia* spp.) and maçaranduba (*Manilkara* spp.) woods in the manufacture of bows for string instruments. *Iawa Journal*, v. 31, n. 2, p. 149–160, 2010.

MAINIERI, C.; CHIMELO, J. P. Fichas de características das madeiras brasileiras. 2º. Ed. Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) – Divisão de Madeiras. São Paulo, 1989.

Mesquita, M. R., Ferraz, I. D. K. & Camargo, J. L. C. 2009. Angelimvermelho, *Dinizia excelsa* Ducke in: I. D. K. Ferraz & J. L. C. Camargo (Eds) Manual de Sementes da Amazônia. Fascículo 8, 12p. INPA, Manaus-AM, Brasil.

MOREIRA, M. S. Ligações estruturais de peças de madeira por meio de adesivo em áreas reduzidas associado a elementos de pinos. 2004. 462 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2004.

PAULA, M. H. Efeito do tratamento térmico em propriedades tecnológicas das madeiras de angelim vermelho (*dinizia excelsa ducke*) e sapucaia (*Lecythis pisonis Cambess*). 2016. 103 f. (Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade de Brasília, Brasília, 2016.

PINTO, A. M.; MORELLATO, L. P. C.; BARBOSA, A. P. Fenologia reprodutiva de *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd (Fabaceae) em duas áreas de floresta na Amazônia Central. *Acta amazonica*, Manaus, v. 38, n. 4, p. 643-650, dez. 2008.

IBGE, Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura – PEVS, , 2019. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/estatisticas/economicas/agricultura-e-pecuaria/9105-producao-da-extracao-vegetal-e-da-silvicultura.html?=&t=destaques>> Acesso em 21/11/19.

SANTOS, C. L. Comportamento mecânico de ligações do tipo cavilha em estruturas de madeira 2013. 223 f. Tese (doutorado) – Universidade da Beira Interior, Covilhã, 2013.

SOUZA, M.H.; MAGLIANO, M.M.; CAMARGOS, J.A.A. Madeiras Tropicais Brasileiras. IBAMA/Laboratório de Produtos. Florestais, Brasília. 152p. 1997.

STAMATO, G. C. JUNIOR, C. C. RESISTÊNCIA AO EMBUTIMENTO DA MADEIRA COMPENSADA. *Cadernos de Engenharia de Estruturas*, São Carlos n. 18, p. 49-76, 2002.

STAMATO, G. C. Resistência ao embutimento da madeira compensada. São Carlos, 1998. 135p. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos – Universidade de São Paulo.

STAMATO, Guilherme C. Ligações em estruturas de madeira compostas por chapas de madeira compensada. 2002. 159 f. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, 2002.

VIEIRA, S. R. F. Del Menezzi, C. H. S. SIQUEIRA, M. L. Efeito do torque e do tempo do aperto sobre a carga de ruptura e a rigidez da ligação parafusada em peças de maçaranduba (*Manilkara huberi* Ducke A. Chev). *Sci. For.*, Piracicaba, v. 37, n. 84, p. 459-464, dez. 2009.