



## ANÁLISE DAS PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE TECA (*Tectona grandis*)

<sup>1</sup>Almeida, Roberto E.P. (roberto\_emidio@hotmail.com), <sup>1</sup>Yamaji, Fabio M. (fmyamaji@ufscar.br), <sup>2</sup>Sette Jr, Carlos (crsettejr@hotmail.com), <sup>3</sup>Barros, João L. (lucio@ifsp.edu.br), <sup>1</sup>Provedel, Mariana M. (mareprovedel@hotmail.com), <sup>2</sup>Scarpato, Bruna (bbscarpato@bol.com.br).

### <sup>1</sup> Universidade Federal de São Carlos – Campus Sorocaba

Departamento de Ciências Ambientais/ Rodovia João Leme dos Santos, km 110 – Bairro do Itinga, Sorocaba (SP).

### <sup>2</sup> Universidade Federal de Goiás – Campus Jataí

Setor de Engenharia Florestal, Escola de Agronomia – Rod. Goiânia – Nova Veneza, km 0 – Goiânia (GO)

### <sup>3</sup> Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia de São Paulo

Departamento de Mecânica/ Avenida João Olímpio de Oliveira – Itapetininga (SP).

**Resumo:** *Tectona grandis*, também chamada comercialmente de teca, pertencente à família das verbenáceas, é nativa da Ásia, mais precisamente das florestas tropicais de monções do sudeste asiático. O objetivo foi estudar as propriedades físicas (densidade, teor de umidade, umidade de equilíbrio) da Teca em diferentes porções dos cortes realizados (próximo à medula e próximo à casca). Utilizaram-se corpos de prova com as dimensões 2x2x30 cm (que foram utilizados no ensaio de flexão estática) e 2x2x6 cm (que foram utilizados no ensaio de compressão paralela). Inicialmente, todos os corpos de prova foram acondicionados na câmara climática (21 °C e 65% UR) para obtenção da umidade de equilíbrio. Atingida a umidade de equilíbrio, foram anotadas as massas e, com um paquímetro, mediram-se as respectivas dimensões (comprimento, largura e altura dos corpos de prova) para a obtenção dos volumes e depois o cálculo da densidade. A determinação do teor de umidade foi feito levando-se três corpos de prova em uma estufa à 100 °C até atingirem peso constante. Os resultados mostraram que o teor de umidade inicial dos corpos de prova era de 15%. A umidade de equilíbrio (12%) na câmara climática foi atingida após 45 dias de acondicionamento. A umidade de equilíbrio de 12% foi escolhida por ser o teor de umidade necessário para os ensaios mecânicos. A densidade aparente média encontrada para os corpos de prova foi de 0,45 g.cm<sup>-3</sup> para a região próxima à medula e 0,53 g.cm<sup>-3</sup> para a região próxima à casca. Os resultados obtidos estão de acordo com dados encontrados na literatura.

**Palavras Chave:** massa, volume, densidade, teor de umidade, ensaio mecânico.

## ANALYSIS OF PHYSICAL – MECHANICS PROPERTIES OF TECA WOOD (*Tectona grandis*)

**Abstract:** *Tectona grandis*, also commercially known as Teca, belonging to the family of Verbenaceae, it is native from Asia, more exactly of rainforests of the Asian Southeast. The goal was to study the physical properties (density, moisture content, equilibrium moisture) of Teca in different parts of the sections made (next to the medulla and next to the bark). It was used specimens with dimensions 2x2x30 cm (which were made in bending essay) and 2x2x6 cm (which were made in parallel compression essay). At beginning, all specimens were packed at the climatic chamber (21° and 65% MC) to obtain equilibrium moisture. When the equilibrium moisture was reached, it was noted the mass, and a caliper rule supported to measure their dimensions (length, width and height of the specimens) to obtain the volume and to excel density of each one. Determination of the moisture content was made taking three specimens to kiln at 100° C until they reached constant weight. The results showed us that moisture content at beginning of the specimens was 15%. Equilibrium moisture (12%) at the climatic chamber was reached over 45 days packaging. Equilibrium moisture of 12% was chosen because it was necessary to mechanical essays. Average density found to specimens was 0,530 g.cm<sup>-3</sup> next to the medulla and 0,615 g.cm<sup>-3</sup> next to the bark. Results obtained are conformed to literature.

**Keywords:** mass, volume, density, moisture content, mechanic essay

## 1. Introdução

A base estrutural para a visibilidade das camadas de crescimento em madeiras é a diferença entre a densidade da madeira produzida no início da estação de crescimento e a daquela produzida mais tarde. O lenho inicial é menos denso que o lenho tardio. Em uma dada camada de crescimento, a mudança de lenho inicial para o lenho tardio pode ser muito gradual. Entretanto, quando o lenho tardio tange o lenho inicial da camada de crescimento seguinte, a mudança é abrupta. (RAVEN et al., 2007).

Sabe-se que as propriedades mecânicas da madeira são dependentes, principalmente, da densidade básica, da porcentagem de madeira juvenil, da largura dos anéis, do ângulo das microfibrilas, da inclinação da grã, da quantidade de extrativos, do teor de umidade, da intensidade ao ataque de insetos, do tipo e da localização e quantidade de nós, dentre outros fatores (EVANS et al., 2000).

Segundo Shioyama (1990), a densidade é uma quantificação direta do material lenhoso por unidade de volume, estando relacionada a muitas propriedades e características tecnológicas fundamentais para a produção e utilização dos produtos florestais, um dos parâmetros mais importantes entre as diversas propriedades físicas da madeira, pois afeta todas as demais propriedades desta. A densidade varia entre espécies, bem como dentro da mesma espécie e da mesma árvore, tanto no sentido longitudinal quanto no sentido radial. Essa variabilidade se deve ao fato de que as espécies apresentam estruturas internas distintas, com ocorrência de elementos anatômicos em diferentes tamanhos e proporções, e nos mais variados arranjos estruturais, assim como pela complexa combinação, quantidade e distribuição dos componentes químicos do lenho (BOWYER et al., 2007).

Segundo a Revista da Madeira (2003), no Brasil, apesar da oferta de madeira, das potencialidades de reflorestamento e de uma crescente demanda por moradias, o uso da madeira na produção de habitações é irrisório quando comparado com a América do Norte e alguns países da Europa. Restringe-se apenas a produtos de acabamento como pisos, rodapés, meia cana, estrutura e esquadrias, construção civil é um dos principais mercados de produtos madeireiros. Embora tenhamos tecnologias disponíveis para construções de casas de madeira, este conhecimento ainda é restrito às universidades, em função de pouco diálogo existente por parte dos empresários, que produzem casas de madeira, com os pesquisadores universitários.

Desta forma, para salientar a ideia de manejo de estruturas madeireiras, objetivou-se com este trabalho estudar as propriedades físicas (densidade, teor de umidade, umidade de equilíbrio) da Teca em diferentes porções dos cortes realizados (próximo à medula e próximo à casca), e a partir das características físicas apresentadas pela madeira, pode-se analisar as características mecânicas nos ensaios de: compressão paralela às fibras, e flexão estática, confrontando-os com as informações obtidas na literatura. Por fim, com finalidade de melhor uso na área de tecnologia da madeira, podendo-se evitar o desperdício, e contribuindo de algum modo com a sustentabilidade do uso de tal tipo de produto.

## 2. Material e método

Os estudos foram realizados na UFSCar – Sorocaba, no Laboratório de Biomassa e Bioenergia. Os corpos de prova foram cedidos pelo Prof. Dr. Carlos Sette Junior (UFG).

Os corpos de prova foram inicialmente dimensionados para que se utilizassem os tamanhos de corpo de prova requeridos pela NBR 7190, Copant 464, e Copant 555. Desta forma, para os ensaios de compressão paralela às fibras dimensionou-se 2x2x30, e para os ensaios de flexão estática dimensionou-se 2x2x6. Posteriormente, foram acondicionados na câmara climática para atingirem a umidade de equilíbrio ( $12\% \pm 1$ ). Atingindo-a após cerca de 45 dias, as dimensões foram obtidas a partir de um paquímetro digital. Por fim, calculou-se a densidade aparente com as dimensões obtidas

e com a massa (na umidade de equilíbrio).Definiu-se a umidade inicial como 15%, após acondicionar alguns corpos de prova na estufa para atingirem 0% de umidade e estimar a partir da massa inicial e massa a 0% de umidade o teor de umidade que os corpos de prova apresentavam no início do estudo.

Após o processo de caracterização física, a segunda etapa foi realizar os ensaios mecânicos. Com os corpos de prova (de 2x2x6) realizaram-se os ensaios de compressão paralela às fibras, analisando-se Força Máxima Média (N); Resistência à Compressão (MPa); Módulo de Elasticidade (MPa).Com os corpos de prova (de 2x2x30) realizaram-se os ensaios de flexão estática, analisando-se Força de Ruptura (N); Tensão de Ruptura (N); Flecha (mm); Módulo Elástico (MPa). Por fim, coletaram-se todos os dados e realizou-se análise estatística para aferir se de fato há diferença entre as propriedades mecânicas dos cortes realizados próximo à casca e próximo à medula.

### 3. Resultados e Discussão

Este trabalho caracterizou inicialmente os corpos de prova com relação as suas propriedades físicas, destacando-se a densidade. Na Tabela 1 e na Tabela 2 estão os resultados obtidos quanto a densidade do Corte A, próximo à medula, e Corte B, próximo à casca, para os ensaios de flexão e compressão, respectivamente.

**Tabela 1. Referente aos corpos de prova para o ensaio de flexão**

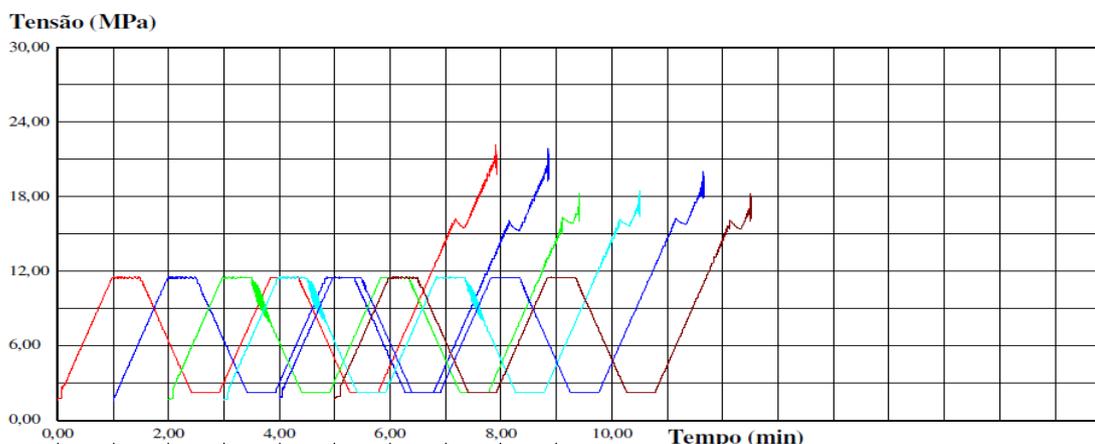
Corpo de Prova (2x2x30)	Densidade Média (g/cm <sup>3</sup> )
Corte A	0,528
Corte B	0,617

**Tabela 2. Referentes aos corpos de prova para o ensaio de compressão**

Corpo de Prova (2x2x6)	Densidade Média (g/cm <sup>3</sup> )
Corte A	0,531
Corte B	0,612

Observou-se que a densidade do Corte A, próximo à medula chegou a ser 0,87 vezes o Corte B, próximo à casca.

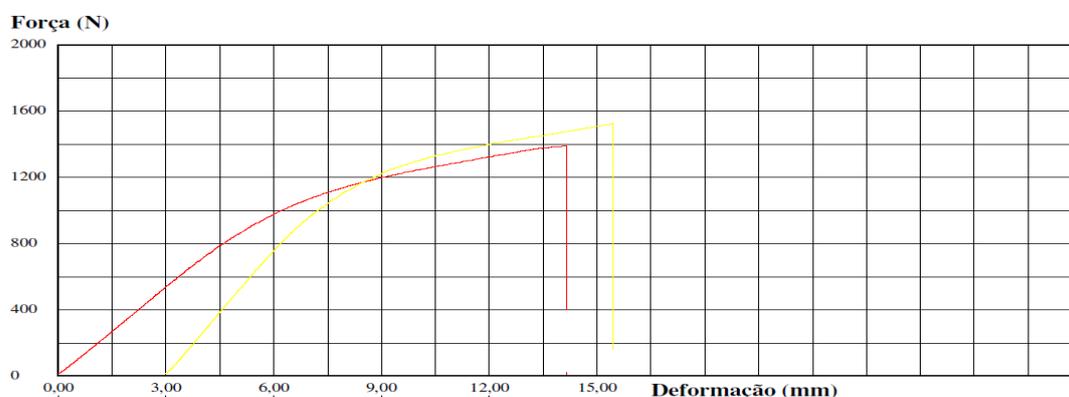
Após as caracterizações físicas, realizaram-se as caracterizações mecânicas. Segue a baixo, representações gráficas de como se obteve as análises para os respectivos ensaios de compressão e flexão. A figura 1 é um gráfico de patamar com uma pré-carga para realizar os ensaios de compressão paralela às fibras, sendo que a resistência à compressão paralela às fibras é dada pela máxima tensão de compressão que pode atuar em um corpo de prova com secção quadrada (2,0 cm) de lado, e 6,0 cm de comprimento (Copant 464).



**Figura 1. Gráfico de patamares do ensaio de compressão paralela às fibras, segundo norma Copant 464.**

A compressão foi realizada com dois patamares de 50% e 10%, até no último patamar aplicar-se tensões superiores aos patamares iniciais e ocorrer o rompimento das fibras dos corpos de prova.

A figura 2 é um gráfico de ensaio de flexão estática, segundo a Norma Copant 555, em que se aplicou uma carga contínua, com uma velocidade de 1,0 mm/min para corpos de prova com dimensões de 2x2x6 cm.



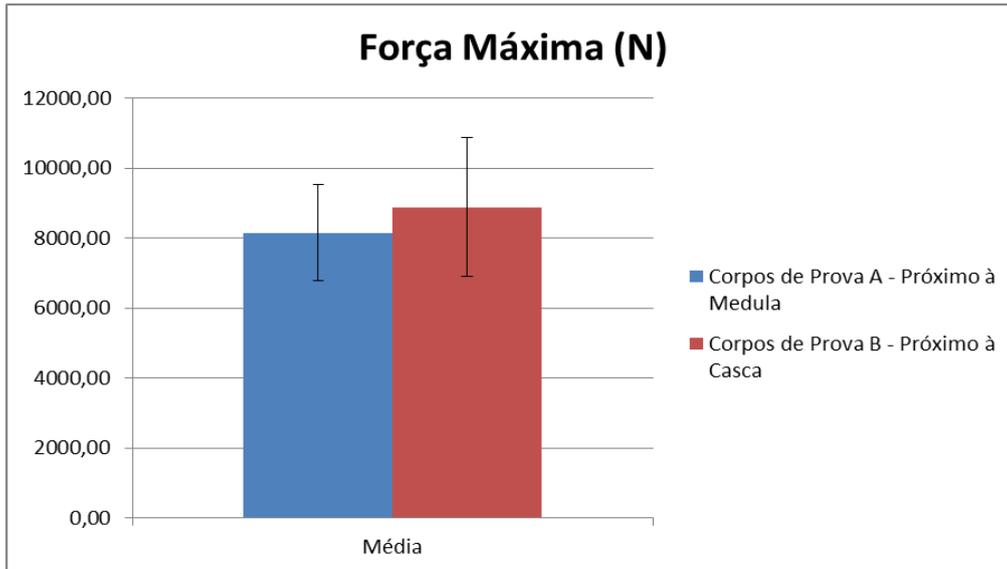
**Figura 2. Gráfico de patamares do ensaio de flexão estática, segundo norma Copant 555.**

Ao realizar os ensaios de compressão paralela as fibras na Emic (com a célula de carga de 2000Kgf), com os corpos de prova (2x2x6), os dados obtidos foram avaliados e apresentados na Tabela 3.

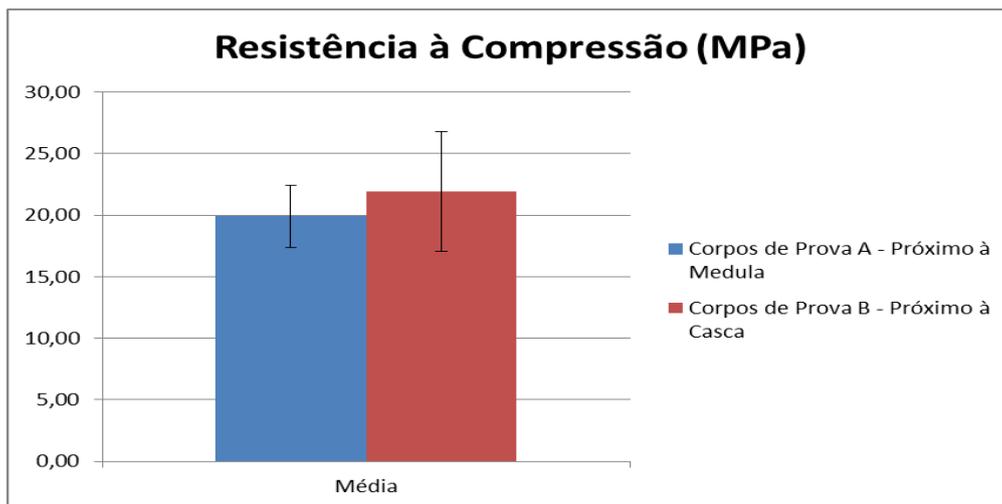
**Tabela 3. Referente aos ensaios de compressão paralela as fibras**

	Resistência à compressão (MPa)		MOE (MPa)	
	Casca	Medula	Casca	Medula
<b>Média</b>	21,94	19,90	11868,47	7420,51
<b>Desvio Padrão</b>	4,87	2,56	7910,61	2489,66
<b>Coefficiente de Variação</b>	0,22	0,13	0,67	0,34
<b>Mínimo</b>	17,74	15,51	5158,42	5294,42
<b>Máximo</b>	36,38	24,86	27413,75	11920,65

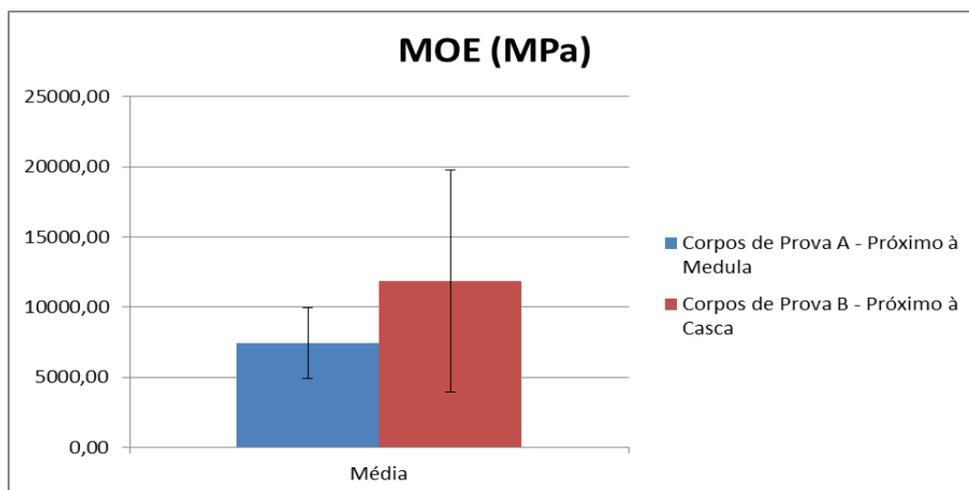
As figuras 3, 4 e 5 são referentes às análises dos dados obtidos com os corpos de prova de prova 2x2x6. As figuras contêm a média da característica avaliada para próximo à casca e próximo à medula, com o respectivo desvio-padrão da análise das amostras.



**Figura 3. Comparação da Força Máxima Média (N) aplicada nos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**



**Figura 4. Comparação da Resistência à Compressão Média (MPa) aplicada nos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**



**Figura 5. Comparação do Módulo de Elasticidade Médio (MPa) dos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**

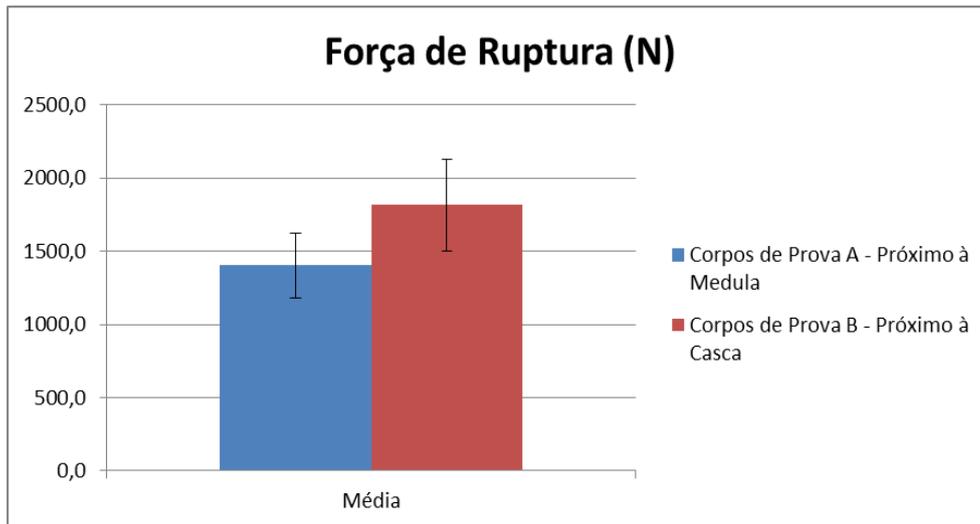
Ao realizar teste estatístico das amostras dos corpos de prova observou-se que estatisticamente as características avaliadas nos ensaios de compressão paralela as fibras: Força Máxima (N); Resistência a Compressão (MPa); MOE (MPa) não diferem entre os corpos de prova próximo à casca e próximo à medula.

Ao realizar os ensaios de flexão estática na Emic (com a célula de carga de 2000Kgf), com os corpos de prova (2x2x30), os dados obtidos foram avaliados e apresentados na Tabela 4.

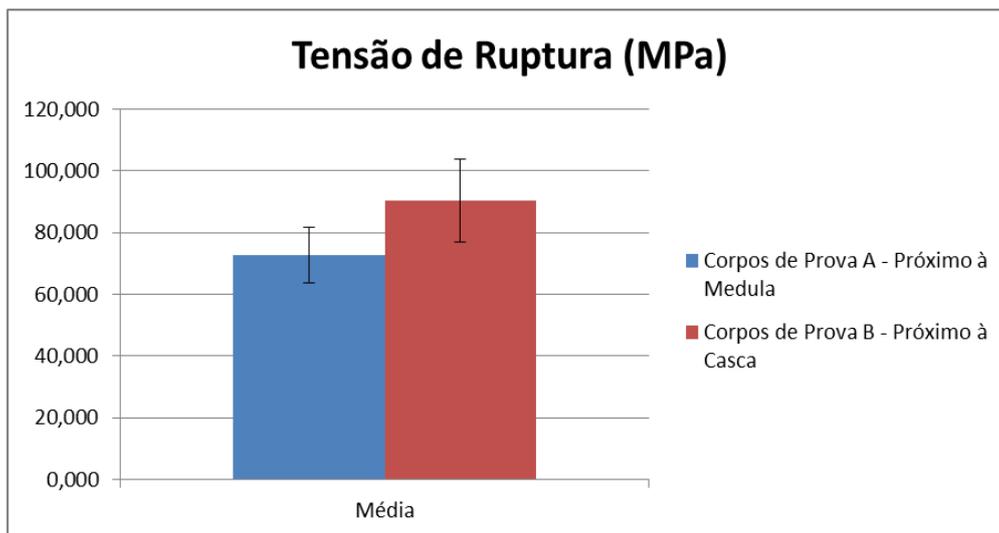
**Tabela 4. Referente aos ensaios de flexão estática**

	Tensão de Ruptura (Mpa)		Flecha (mm)		Módulo Elástico (Mpa)	
	Casca	Medula	Casca	Medula	Casca	Medula
<b>Média</b>	90,346	72,674	13,724	16,613	8619,3	7045,827
<b>Desvio Padrão</b>	13,561	8,929	2,989	3,423	1660,4	964,226
<b>Coefficiente de Variação</b>	0,150	0,123	0,218	0,206	0,2	0,137
<b>Mínimo</b>	72,89	59,560	9,42	12,200	5985,2	5395,180
<b>Máximo</b>	113,84	85,380	19,65	22,100	11186,5	8779,270

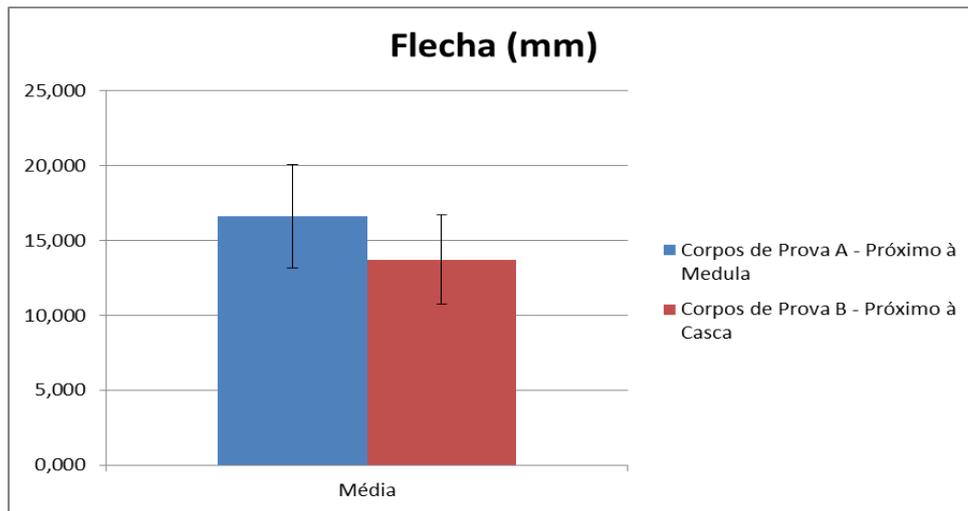
As figuras 6, 7, 8 e 9 são referentes às análises dos dados obtidos com os corpos de prova de prova 2x2x30. As figuras contêm a média da característica avaliada para os corpos de prova próximo à casca e próximo à medula, com o respectivo desvio-padrão da análise das amostras.



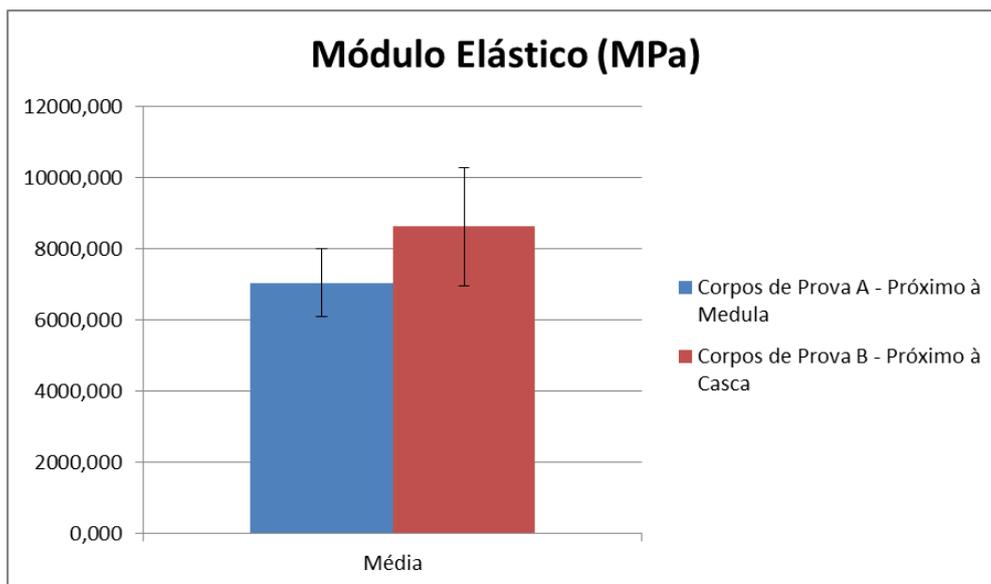
**Figura 6. Comparação da Força de Ruptura Média (MPa) dos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**



**Figura 7. Comparação da Tensão de Ruptura Média (Mpa) dos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**



**Figura 8. Comparação da Flecha Média (Mpa) dos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**



**Figura 9. Comparação do Módulo Elástico Médio (Mpa) dos corpos de prova próximo à medula e próximo à casca, com os respectivos desvio-padrão.**

Ao realizar teste estatístico das amostras dos corpos de prova observou-se que estatisticamente as características avaliadas nos ensaios de flexão estática: Força de Ruptura (N); Tensão de Ruptura (MPa); Flecha (mm); Módulo Elástico (MPa) não diferem entre os corpos de prova próximo à casca e próximo à medula.

#### **4. Conclusões**

A análise comparativa entre os corpos de prova próximo à casca e próximo à medula, quanto as característica das propriedades físico-mecânicas do material de Teca, indicou que, em relação às características físicas, o material próximo à medula apresentou uma densidade 0,87 vezes em relação ao material próximo à casca. Para as características mecânicas, observou-se que aparentemente há diferença entre os materiais dos dois cortes distintos, no entanto ao realizar o teste estatístico (Teste T), verificou-se que estatisticamente não há diferença para as características avaliadas, conforme descrito no decorrer do artigo, para os cortes próximo à medula e próximo à casca (ao nível de 5% de probabilidade).

#### **5. Agradecimentos**

Os autores agradecem à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior (Capes) e à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Goiás (Fapeg) pelo financiamento concedido que possibilitassem a realização da referente pesquisa.

## 6. Referências Bibliográficas

- Associação Brasileira de Normas Técnicas, NBR 7190 – Projetos de Estruturas de Madeira, Rio de Janeiro, 1997, 107p.
- Bowyer, J. L., Shmulsky, R., Haygreen, J.G., Forest products and wood science: an introduction. Willey-Blackwell, 5 ed., 2007, 576p.
- Comissão Pan-americana de Normas Técnicas, Copant 464 – Método de determinación de la compresión axial o paralela al grano, Buenos Aires, 1972.
- Comissão Pan-americana de Normas Técnicas, Copant 464 – Método de ensayo de flexión estática, Buenos Aires, 1977.
- 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.
- Lobão M. S., Della R. M. L., Sarmet M. S. M. e Gomes A., Caracterização das propriedades físico-mecânicas da madeira de eucalipto com diferentes densidades. R. Árvore, Viçosa-MG, v.28, n.6, p.889-894, 2004.
- Raven, Peter H., Evert, Ray F., Eichhorn, Susan E., Biologia Vegetal, 7ª EDIÇÃO, Rio de Janeiro, Editora Guanabara Koogan, 2007.
- Revista da Madeira, Habitação Social e design como oportunidades para o setor. Edição Nº 77, Novembro de 2003.
- Santine E. J., Haselein C. R., Gatto D. A., Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas. Ciência Florestal, Santa Maria, v.10, n.1, p.85-93, 2000.
- Trianoski R., de Matos J. L. M., Iwakiri S., Prata J. G., Variação longitudinal da densidade básica da madeira de espécies de pinus tropicais, 2013.