



## PROPRIEDADES FÍSICO-MECÂNICAS DA MADEIRA DE *Eucalyptus pellita* PARA ELEMENTOS DE CONSTRUÇÃO

### PHYSICAL AND MECHANICAL CHARACTERIZATION OF *Eucalyptus pellita* WOOD FOR STRUCTURAL ELEMENTS IN CONSTRUCTION

Santos, Filipe Luigi <sup>(1)</sup>; Sena, Caroline <sup>(1)\*</sup>; Silva, Gabriel <sup>(1)</sup>; Cunha, Rita <sup>(2)</sup>; César, Sandro <sup>(3)</sup>

<sup>(1)</sup> Mestrando(a). Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Brasil

<sup>(2)</sup> Prof. Dra. Faculdade de Arquitetura, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Brasil

<sup>(3)</sup> Prof. Dr. Escola Politécnica, Universidade Federal da Bahia. Salvador, Brasil

\* Contacto: klorac@hotmail.com

CÓDIGO: 4602540

#### Resumo

A ascendente demanda por celulose, o investimento na indústria florestal e boas condições climáticas levaram a América Latina a bater recordes de produção de madeira de eucalipto nos últimos anos. Diante da diversidade de espécies desse gênero plantadas na região, muitas delas ainda possuem suas propriedades físicas e mecânicas pouco exploradas. Sendo a madeira de *Eucalyptus pellita* uma dessas espécies pouco conhecidas, este trabalho tem como objetivo investigar as propriedades físicas (densidade aparente, densidade básica) e mecânicas (resistência a compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade na compressão paralela, resistência ao cisalhamento e flexão) visando o uso dessa espécie na construção civil. Os ensaios físicos-mecânicos seguiram o método previsto na norma brasileira NBR 7190 (ABNT, 1997). Os resultados mostraram que a madeira de *Eucalyptus pellita* atende adequadamente quanto a suas características físicas e mecânicas para uso na construção, especialmente para a produção de pisos estruturais, madeira laminada colada, painéis estruturais, entre outros.

*Palabras-clave: Eucalyptus pellita; Resistência; Caracterização; Estruturas de madeira*

#### Abstract

The demand of paper industry, the development of forestry and adequate weather conditions have led Latin America to records in the production of eucalyptus wood in the recent years. Due to the diversity of species, many species are still having their physical and mechanical properties not properly explored. The *Eucalyptus pellita* timber is one of the species that needs further investigation in order to guarantee appropriate knowledge, by that the aim of this paper is to investigate the physical properties (specific density and shrinkage) and mechanical properties (compressive strength parallel to grain, modulus of elasticity in parallel compression, shear strength and bending resistance) of *Eucalyptus pellita* timber for construction propose. The tests followed the method established in the Brazilian standard NBR 7190 (ABNT, 1997). The results show that *Eucalyptus pellita* timber has appropriate physical and mechanical characteristics for using in construction elements such as structural floors, glulam, structural panels.

*Keywords: Eucalyptus pellita; Strengths; Characterization; Timber Structures*



## 1. INTRODUÇÃO

No Brasil, a Indústria Brasileira de Árvores IBÁ (2017) registrou uma área de 7,84 milhões de hectares de reflorestamento. O destino de 91% de toda a madeira produzida é para fins industriais e isso corresponde a 6,2% do PIB (Produto Interno Bruto) industrial no país. As madeiras oriundas de reflorestamento são principalmente dos gêneros *Eucalyptus ssp.* e *Pinus ssp.* e representam uma matéria-prima de extrema importância para o setor florestal. O gênero *Eucalyptus ssp.* possui centenas de espécies registradas, das quais apresentam boa adaptação às condições do solo e do clima brasileiros. Além disso, é a mais utilizada, nos reflorestamentos brasileiros, devido as suas características de rápido crescimento, capacidade de adaptação às diversas regiões ecológicas e pelo potencial econômico (Salazar et al, 2016).

Segundo Santos et al. (2014), os avanços nas técnicas silviculturas, no melhoramento genético e nos processos tecnológicos colocaram o Brasil em posição de grande destaque frente aos demais países que cultivam o eucalipto para atender as necessidades energéticas, a fabricação de celulose e papel, a manufatura de painéis, a obtenção de produtos serrados e a produção de madeira roliça para os mais diversos fins.

A madeira é um material heterogêneo que apresenta propriedades físicas, químicas, anatômicas e mecânicas que podem variar entre espécies, dentro da mesma espécie e até na mesma árvore. Por isso, conhecer suas propriedades e a interação dessas propriedades é fundamental para a correta utilização dessa matéria-prima (Palermo et al., 2013). De acordo com Valle et al. (2017), as propriedades físico-mecânicas dessas madeiras tornam-se versáteis e estratégicas para os segmentos industriais citados, podendo ser utilizadas em vários outros setores, tais como na construção civil.

O estudo da espécie *Eucalyptus pellita* para a produção de peças estruturais é importante, uma vez que visa gerar subsídios para uma futura utilização dessa madeira em escala comercial e aumentar as fontes de matéria-prima qualificada para peças serradas ou produtos engenheirados. Com isso, este trabalho objetivou determinar as propriedades físicas (densidade aparente, densidade básica) e mecânicas (resistência a compressão paralela às fibras, módulo de elasticidade na compressão paralela, resistência ao cisalhamento e flexão simples) do *Eucalyptus pellita* visando o uso dessa espécie na construção civil.

Assim, o conhecimento tecnológico sobre madeiras que têm potencial para utilização na indústria, como é o caso do eucalipto, contribui de forma significativa para justificar a utilização dessas espécies no mercado. Além disso, Silva (2018) considera que as condições favoráveis ao plantio de eucalipto no Brasil, a utilização desta matéria prima no setor da construção civil pode funcionar inclusive como fomento à atividade de silvicultura certificada. Estudos mais detalhados podem considerar a localização das madeiras no percurso do transporte, de forma a verificar se estas contribuem para o aumento das distâncias, e apresentar as lacunas e oportunidades de mercado para a madeira plantada e certificada.



## 2. METODOLOGIA

### 2.1. Materiais

Os corpos de prova foram extraídos das toras do *Eucalyptus pellita* jovem (com cerca de 7 anos a 10 anos de idade) originadas do plantio em Araçás– BA. Para a caracterização do lote estudado foram produzidos cinquenta e dois protótipos com dimensões especificadas pela norma brasileira NBR 7190 – Projeto de Estrutura de Madeira (ABNT, 1997) para cada tipo de ensaio.

### 2.2. Métodos

#### 2.2.1. Propriedades Físicas

A caracterização física consistiu nos ensaios de umidade, densidade. Neste experimento foram retiradas discos de 5 cm de altura localizadas em três pontos diferentes da peça: na base, na altura do DAP (diâmetro na altura do peito) e no topo. Em seguida, foram retirados de cada disco um corpo de prova com dimensão de 2,0 x 3,0 x 5,0 cm com presença de albarno e cerne mostrada na Fig. 1a. A Figura 1b mostra a seção transversal do corpo de prova, mostrando as três direções principais das fibras.

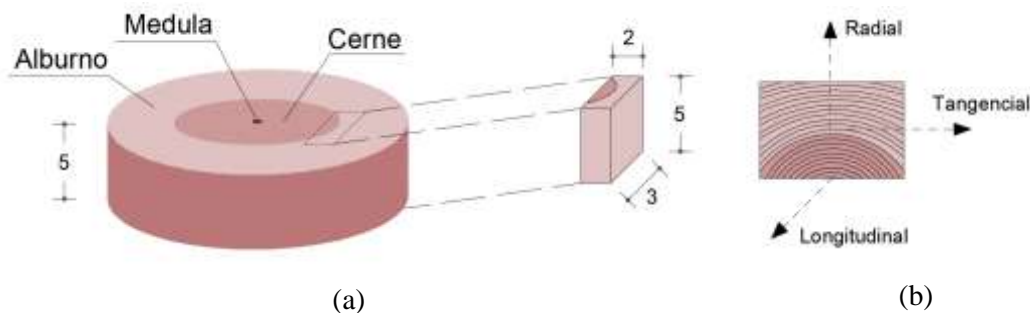


Figura 1- Corpo de prova para ensaio de umidade e densidade

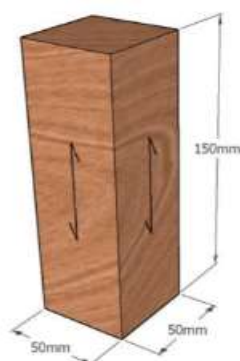
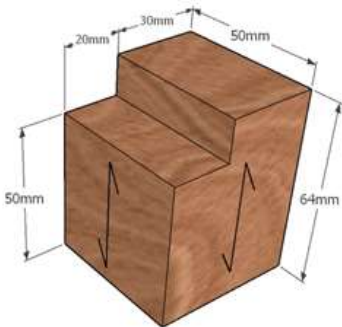
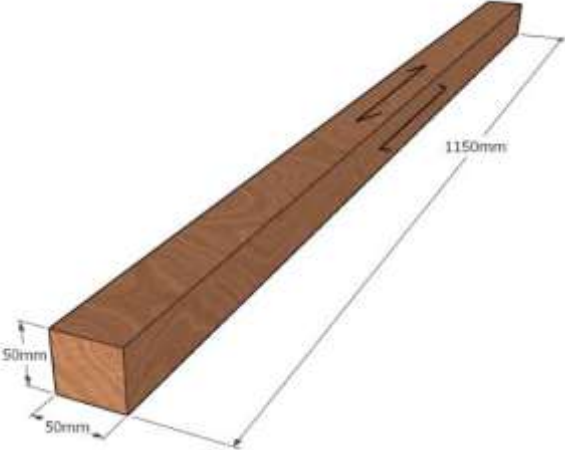
O experimento foi realizado segundo procedimentos previstos na NBR 7190 (ABNT, 1997), segundo os itens: B.5.4 para determinação da umidade do lote; B.6.4 para determinação da densidade do lote.

#### 2.2.2. Propriedades Mecânicas

As propriedades mecânicas são medidas como propriedades de resistência da madeira á condições solicitantes em uma peça. A NBR 7190 (ABNT, 1997) indica que para a caracterização simplificada das propriedades mecânicas em peças estruturais sejam realizados ensaios de resistência a flexão, resistência a compressão paralela às fibras e resistência ao cisalhamento. O Quadro 1 apresenta a descrição dos ensaios realizado, assim como a dimensão dos corpos de prova utilizada para a pesquisa.



*Quadro 1- Ensaios Mecânicos e dimensões dos protótipos*

Ensaios		Dimensões dos Corpos de Prova (mm)
<b>Compressão Paralela às Fibras</b>	Objetivo: determinar a resistência e a rigidez à compressão paralela às fibras para um lote considerado homogêneo.	
<b>Cisalhamento paralelo às fibras</b>	Objetivo: determinar a resistência de cisalhamento da madeira pela tensão máxima de ruptura no cisalhamento de um corpo de prova.	
<b>Flexão simples</b>	Objetivo: determinar a resistência e a rigidez à flexão para um lote considerado homogêneo.	

Além dos valores médios específicos para cada espécie, a NBR 7190 (ABNT, 1997) permite também a caracterização das madeiras segundo sua classe de resistência, do qual leva em consideração os valores característicos, obtidos a partir da Equação (1). A Tabela 1 apresenta os valores característicos de resistência e módulo de elasticidade na compressão paralela às fibras, cisalhamento paralelo às fibras e densidade aparente para madeiras de dicotiledôneas.



$$f_{w0,k} = \left( 2 \frac{f_1 + f_2 + \dots + f_{\frac{n}{2}-1}}{\frac{n}{2} - 1} - x_{\frac{n}{2}} \right) 1,1 \quad (1)$$

Tabela 1- Valores característicos para madeiras de dicotiledôneas, segundo classes de resistência, na condição padrão de referência  $U=12\%$ . Fonte: NBR 7190 (ABNT, 1997).

Classe	$f_{c0,k}$ (MPa)	$f_{v0,k}$ (MPa)	$E_{c0,m}$ (MPa)	$\rho_{ap}$ (kg.m <sup>-3</sup> )
C20	20	4	9500	650
C30	30	5	14500	800
C40	40	6	19500	950
C60	60	8	24500	1000

Oliveira (1997) citou que o gênero *Eucalyptus spp.* não apresenta restrições quanto à resistência mecânica que pode variar de baixa a muito elevada. Essa grande variabilidade se deve ao fato da existência de mais de 600 espécies, adaptadas aos mais diferentes tipos de solo e condições climáticas.

### 3. ANÁLISES DOS RESULTADOS

#### 3.1. Propriedades Físicas

Na Tabela 2 são apresentados os resultados da densidade básica e aparente, cujos valores médios, obtidos a partir do volume da madeira a 12% de umidade. Em relação à densidade aparente da espécie estudada, observa-se que o valor médio encontrado (988 kg.m<sup>-3</sup>) não é discrepante em relação aos mostrados do gênero eucalipto na tabela de valores médios de madeiras dicotiledôneas nativas e de florestamento pela NBR 7190 (ABNT, 1997), se aproximando muito do valor do *E. citriodora* (999 kg.m<sup>-3</sup>), utilizado bastante na construção civil no Brasil.

Tabela 2- Densidade aparente e básica

Amostras	$\rho_{bas}$ (kg.m <sup>-3</sup> )	$\rho_{ap}$ 12% (kg.m <sup>-3</sup> )
1	672	1.038
2	610	1.005
3	694	1.139
4	591	975
5	555	955
6	664	1.105
7	375	649
8	708	1.140
9	641	1.074
10	492	775
11	746	1.194
12	489	832
13	600	970
Média	599	988
CV (%)	17,07	15,95
Mínimo	375	649
Máximo	746	1.139



Como parâmetro, para esta pesquisa, têm-se os valores médios para densidade básica relacionada com as idades das amostras do *Eucalyptus pellita*, encontrados na literatura, descritos na Tabela 3. A espécie estudada possui idade de sete anos a dez anos. Nota-se que apresentou uma densidade básica parecida com encontrada na literatura. O valor médio da densidade básica das amostras estudadas foi de  $599 \text{ kg.m}^{-3}$ , enquanto as densidades de *E.pellita*, a partir de 15 anos, variam de  $512$  a  $634 \text{ kg.m}^{-3}$ .

Tabela 3- Valores médios de densidade básica da espécie *E. pellita*. Fonte: (Silva, 2018)

Densidade básica	Idade das amostras
$558 \text{ kg.m}^{-3}$	5 anos
$602 \text{ kg.m}^{-3}$	5 anos
$512 \text{ kg.m}^{-3}$ a $634 \text{ kg.m}^{-3}$	15 anos
$620 \text{ kg.m}^{-3}$	17 anos

Destaca-se que as espécies de maior densidade são mais recomendadas quando se desejam maior durabilidade e resistência mecânica da estrutura, portanto a espécie estudada tem potencial para produção de peças estruturais. Destaca-se que estas peças devem ser tratadas contra agentes xilófagos para aumentar sua durabilidade.

### 3.2. Propriedades Mecânicas

#### 3.2.1. Resultados de compressão paralela às fibras

A tabela 4 apresenta os valores médios do ensaio da resistência à compressão paralela às fibras ( $f_{c0,m}$ ) e módulo de elasticidade ( $E_{c0,m}$ ) a 12% de umidade. As amostras estavam com uma umidade média de 17,5% no momento de realização do ensaio, por este motivo houve a necessidade de correção dos valores apresentados. Segundo a NBR 7190 (ABNT, 1997), lotes homogêneos de materiais estruturais apresentam coeficientes de variação de até 15%, mas para a madeira, admite-se até 18%. Logo, este lote estudado é considerado homogêneo apresentando coeficientes abaixo de 15%.

Tabela 4- Resultados do ensaio de compressão paralela às fibras

Amostras	U%	$E_{c0}$ (GPa)	$E_{c0}$ 12% (GPa)	$f_{c0}$ (MPa)	$f_{c0}$ 12% (MPa)
1	17,0	8,87	9,76	43,44	49,96
2	18,5	8,79	9,93	44,09	52,69
3	16,9	7,43	8,15	43,66	50,07
4	16,0	8,37	9,04	35,65	39,93
5	19,3	10,04	11,50	30,15	36,75
6	17,0	7,46	8,20	34,73	39,94
7	16,6	10,68	11,66	48,72	55,44
8	18,5	8,96	10,12	45,04	53,82
9	17,5	7,37	8,18	32,88	38,31
10	18,0	8,81	9,87	40,15	47,37
11	16,0	10,11	10,92	40,32	45,15
12	18,1	8,84	9,92	37,02	43,79
Média	17,52	8,81	9,77	39,65	46,10
CV (%)	5,90	12,22	12,43	14,13	13,92
Mínimo	19,30	10,68	11,66	48,72	55,44
Máximo	16,00	7,37	8,15	36,15	36,75



O valor característico ( $f_{c0,k}$ ) do lote calculado para essa amostra e corrigido para o equivalente à condição de 12% de umidade foi de 37,36 MPa, a partir deste resultado, a madeira desta espécie pode ser considerada como pertencente à classe C30 de dicotiledôneas, segundo o critério de classificação da NBR 7190 (ABNT, 1997), baseado na resistência à compressão paralela às fibras mostrada na Tabela 1 supracitada em propriedades mecânicas. Nascimento et al (2012), ao ensaiar a madeira de *Eucalyptus pellita* de 17 anos de idade, encontraram valores de resistência à compressão paralela às fibras, a 12% de umidade, equivalente a 63,2 MPa, confirmando que esta madeira, no geral, poder chegar a elevada resistência à compressão paralela às fibras.

### 3.2.2. Resultado de cisalhamento paralelo às fibras

A tabela 5 mostra os valores médios de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras do lote de madeira ensaiada. Assim como, nos ensaios de compressão paralela às fibras o lote estudado também apresentou coeficientes abaixo de 15% para este ensaio, sendo considerado homogêneo. As amostras estavam com uma umidade média de 13,34% no momento de realização do ensaio, por este motivo houve a necessidade de correção dos valores apresentados com exceção das amostras 1, 2, 5 e 8 que apresentam uma umidade de 12%.

Tabela 5- Resultado de cisalhamento paralelo às fibras

Amostra	U%	$f_{v0}$ (Mpa)	$f_{v0}$ (Mpa) (12%)
1	12,6	13,57	13,57
2	12,6	11,57	11,57
3	14,0	9,26	9,81
4	14,0	8,59	9,11
5	12,6	9,18	9,18
6	14,2	8,28	8,82
7	13,2	13,38	13,86
8	12,4	12,04	12,04
9	14,2	10,63	11,33
10	13,4	12,71	13,24
11	12,8	8,55	8,55
12	14,1	10,51	11,18
Média	13,34	10,69	11,02
CV	5,43	18,15	17,39
Máximo	13,40	13,57	13,86
Mínimo	12,40	8,28	8,55

De acordo com a norma brasileira, para as coníferas e também para as dicotiledôneas o valor da resistência ao cisalhamento fornecido para a classe de resistência C30 corresponde a 5,0 MPa, o valor encontrado correspondeu a 13,72 MPa. Observa-se que o valor da resistência característica ao cisalhamento obtidos no ensaio é relativamente maior que o valor fornecido pela norma brasileira, destaca-se a importância desta propriedade na construção civil, onde a determinação da resistência ao cisalhamento é fundamental na fabricação de tesouras para as coberturas e em ligações.



### 3.2.3. Resultados de resistência à flexão simples

A Tabela 6 mostra os resultados de resistência dos corpos de prova do ensaio de flexão simples, com o teor de umidade em média de 16,56%, devido a isso foi feita uma correção dos valores apresentados para uma umidade de 12%. O lote estudado é homogêneo devido aos parâmetros citados anteriormente. Os corpos de prova apresentaram resistência média de 1039,1 Mpa, sendo um valor abaixo do esperado para classe C30 para madeiras dicotiledôneas, apresentada na tabela 1.

Tabela 6- Resultados de resistência à flexão simples

Amostra	U%	$E_M$ (Mpa)	$E_M$ (Mpa) (12%)
1	16,6	8827	1004,5
2	16,4	9134	1034,0
3	19,8	6420	7922
4	16,2	7596	8553
5	14,8	9444	1023,7
6	18,7	8718	1047,0
7	17,0	1101,2	1266,4
8	15,7	8174	9081
9	16,5	1128,8	1281,1
10	16,4	9360	1059,6
11	16,5	1030,8	1169,9
12	14,1	9670	1027,9
Média	16,56	9162	1039,1
CV	9,61	15,73	14,91
Máximo	19,8	1128,8	1266,4
Mínimo	14,1	6420	7922

Destaca-se que o módulo de ruptura (MOR) e o módulo de elasticidade (MOE) são dois parâmetros normalmente avaliados em testes de flexão estática, sendo o módulo de elasticidade de maior importância na caracterização tecnológica da madeira, pois representa a resistência do material submetido a uma força aplicada perpendicularmente ao eixo longitudinal da madeira (Scanavaca Júnior; García, 2004).

Silva (2018) aponta que o *E. pellita* possui um bom desempenho sob esforços de flexão, portanto também pode ser utilizada para a fabricação de peças horizontais de painéis para sistema *wood frame*, como travessas inferiores e superiores, vergas, contravergas.

## 4. CONCLUSÃO

A partir dos resultados obtidos para a madeira de *E. pellita* pode-se concluir que:

- O lote estudado pode ser considerado como homogêneo, pois o coeficiente de variância nos ensaios foi menor que 18%;
- A espécie apresenta alta resistência ao cisalhamento paralelo as fibras e média resistência ao módulo de elasticidade à flexão estática e compressão paralela às fibras e alta densidade básica;





- Em função destes resultados a espécie de *E. pellita* apresenta resistência mecânica para produção de peças estruturais empregadas na construção civil.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao Laboratório de Madeiras (LabMad/UFBA), ao Laboratório de Ensaio em Durabilidade dos Materiais (LEDMA/UFBA) da Universidade Federal da Bahia e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) do Governo Federal do Brasil pelo apoio oferecido na realização desse trabalho.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro.

Nascimento, A. et al (2012). Resistências à compressão e ao embutimento e densidade das madeiras de *Corymbia citriodora*, *Eucalyptus pellita* e *Eucalyptus paniculata*. Anais do XIII EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Vitória.

Oliveira, J. (1997). Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil. Tese, Pós Doutorado em Engenharia Civil, Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo.

Palermo, G. et al. (2013). Delimitação entre os lenhos juvenil e adultos de *Pinus elliottii* Engelm. Revista *Árvore*, Viçosa-mg, v. 37, n. 1, p. 191-200.

Salazar et al. (2016). *Eucalyptus* cell wall architecture: clues for lignocellulosic biomass deconstruction. *Bioenergy Resource*, v. 9, p. 969-979.

Scanavaca Júnior, L.; Garcia, J. N. (2004). Determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, v. 65, p.120-129.

Santos et al. (2014). Cultivo do Eucalipto. Embrapa Florestas. Sistema de Produção, Ed.4, Março.

Silva, J. (2018). Parâmetros construtivos para painéis verticais adaptados do sistema wood frame em madeira de eucalipto jovem. Dissertação, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal da Bahia, Salvador.

Valle, M. et al. (2013). Retenção e penetração de CCA em madeira de primeira e segunda rotação de *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. *Ciência Florestal*, v. 23, n. 2, p. 481-490.