

ANÁLISE DO COMPORTAMENTO MECÂNICO DE VIGAS DE MADEIRA MACIÇA COM SISTEMA DE PROTENSÃO POR CABOS DE AÇO

Naiara Menegaro Bratti (1), Marcio Vito (2)

UNESC – Universidade do Extremo Sul Catarinense

(1) nai_bratti@hotmail.com (2) marciovito@unesc.net

RESUMO

Por ser um material em abundância e de baixo custo, tem-se procurado várias alternativas para abranger a utilização da madeira para fim estrutural na construção civil, uma ideia inovadora, é a associação do sistema de protensão à viga de madeira maciça. No presente trabalho foi desenvolvido um sistema de protensão em vigas de madeira maciça da espécie *Eucalyptus Saligna*, com cabos de aço, de forma a fazer um comparativo de comportamento em relação ao suporte de carga através de ensaios de flexão estática a quatro pontos quando comparados com vigas de madeira maciças sem reforço. Estes ensaios foram realizados no Parque Científico e Tecnológico – Iparque, UNESC. Foram utilizadas amostras de madeira maciça e amostras com protensão, todas elas com seção transversal de 6,5x14x210 cm, e vão teórico de 200 cm, onde foram possíveis obter as cargas máximas solicitadas e o deslocamento vertical até a ruptura das peças. Com os resultados obtidos foi possível verificar um acréscimo na capacidade de carga para as vigas com reforço de cabo de aço de 90,41%, porém ainda sendo necessário um aperfeiçoamento na montagem do sistema de maneira a obter resultados ainda melhores.

Palavras-chave: Madeira. Eucalipto. Cabo de aço. Protensão.

1. INTRODUÇÃO

Com imensa extensão territorial, o Brasil possui grandes reservas florestais, tornando a madeira um recurso abundante e de fácil acesso, porém, a madeira para fins estruturais ainda não é devidamente explorada na construção civil. O número de construções em madeira é relativamente baixo, e isto ocorre devido a fatores como a intensa tradição em construções de alvenaria e, principalmente, pela desinformação

de sua potencialidade como material construtivo, pois muitas vezes o seu uso tem sido temporário e descartável (SOUZA, 2014).

Em meio a tantos materiais, a madeira possui diversas propriedades que a tornam muito atraente. Dentre elas são comumente citadas o baixo consumo de energia para seu processamento, a elevada resistência mecânica à tração e à compressão, as boas características de isolamento térmico e elétrico, além de ser de fácil manuseio (ZENID, 2009).

Ao caracterizar a madeira, Fonte (2004) destaca que a mesma é versátil, possui baixo ônus ambiental, sendo fonte de recursos renováveis, quando mantidos programas de controle de extração e reflorestamento. Além disso, possui elevada relação resistência/peso, o que possibilita construção de estruturas mais leves.

A madeira é considerada um material dúctil, portanto apresenta um alto alongamento de ruptura, ou seja, até o seu rompimento ocorre uma grande deformação. Para aumentar a resistência e atenuar o deslocamento vertical da madeira, novas alternativas têm sido estudadas, dentre elas o uso de materiais de reforço. Em elementos estruturais de madeira o reforço visa atenuar a variabilidade das propriedades mecânicas decorrentes da anisotropia desse material (RUBINI;MORAES, 2012).

Conforme Pfeil (1991, p. 3) “a protensão tem encontrado inúmeras aplicações estruturais, associadas ao aço, madeira, concreto e outros materiais. O material mais fértil em aplicações práticas tem sido o concreto, por razões técnicas e econômicas”.

Conforme De Marco (2009), os cabos de aço são elementos mecânicos utilizados para transmissões de cargas entre longas distâncias, empregadas também para fins estruturais absorvendo forças de tração. Considerada uma transmissão econômica devido a relação entre grandes distâncias e altas potências.

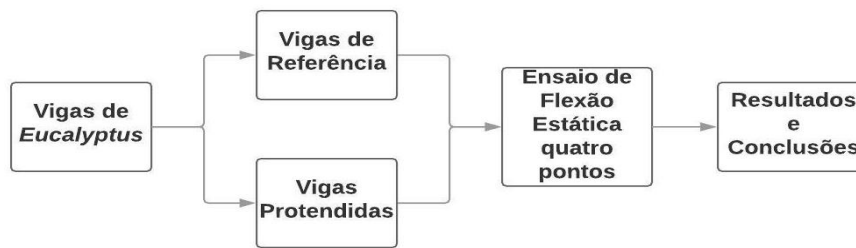
A ideia de introduzir o sistema de protensão em vigas de madeira tem como objetivo principal incrementar a resistência mecânica relacionada ao deslocamento vertical em diversas possibilidades de cargas de forma a permitir o uso da madeira com vãos maiores e economicamente viáveis.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Os materiais utilizados nesse trabalho foram: madeira do tipo *Eucalyptus* Saligna e cabos de aço. Com amostras de vigas de madeira que serviram como referência e outras com entalhes para a protensão.

As amostras foram submetidas ao ensaio de flexão estática de quatro pontos até a sua ruptura, para verificação do limite último de resistência e deslocamentos verticais, os ensaios e os corpos de prova estão de acordo com a NBR 7190:1997, e ocorreram no Laboratório de Estruturas (LEE), localizado no I.Parque (IDT) da Universidade do Extremo Sul Catarinense – UNESC (Figura 1).

Figura 1– Fluxograma dos procedimentos laboratoriais



Fonte: Do autor (2018)

2.1 CARACTERÍSTICAS DAS AMOSTRAS

A madeira escolhida para ser utilizada neste ensaio foi da espécie *Eucalyptus* Saligna, por ser um material leve, renovável e de grande abundância na região. Possui as seguintes propriedades obtidas no item E.2 da NBR 7190/1997 (Tabela1):

Tabela 1 - Propriedades do *Eucalyptus* Saligna

Propriedades de Resistência e Rigidez	Resistência Padrão 12% (kN/cm ²)
Resistência à compressão ($f_{c,0}$)	4,68
Resistência à tração paralela ($f_{t,0}$)	9,55
Resistência à tração perpendicular ($f_{t,90}$)	0,40
Resistência ao cisalhamento ($f_{v,0}$)	0,82
Módulo de Elasticidade (E)	1.493,30

Fonte: NBR 7190/1997

2.2 CABOS DE AÇO

Os cabos de aço utilizados no ensaio foram da classe 6x7 com alma de fibra artificial e diâmetro de 1/8" (3,18 mm) (Tabela 2).

Tabela 2 - Cabo de aço

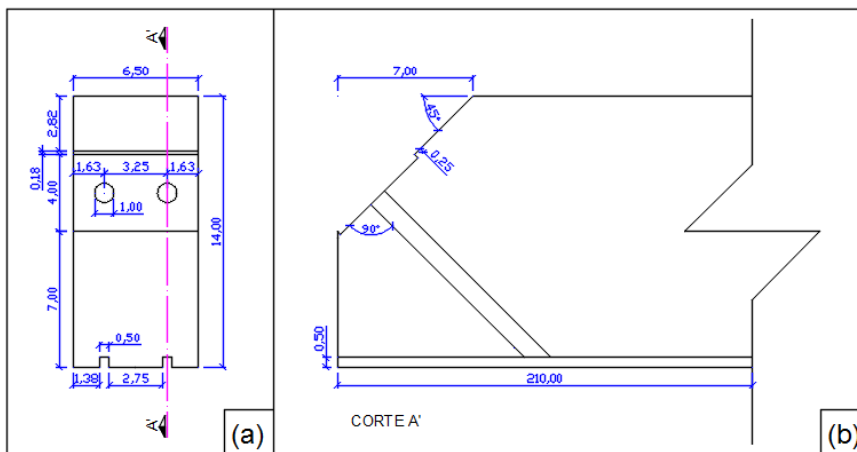
CABO DE AÇO – CLASSE 6X7 – ALMA DE FIBRA			
Diâmetro		Massa (kg/m)	Carga de Ruptura Mínima (tf)
mm	pol		
3,2	1/8"	0,035	0,61

Fonte: Fornecedor

2.3 DETALHES DOS ENTALHES E DISPOSITIVOS DE PROTENSÃO

Na Figura 2, item (a), é possível observar as dimensões dos detalhes da seção transversal que possuem as vigas que foram ensaiadas com a protensão realizada através dos cabos de aço e dos demais materiais que serão apresentados a seguir, as mesmas características se repetem nas duas pontas. Já na Figura 2, item (b), está representado o corte A' longitudinal da seção transversal das peças.

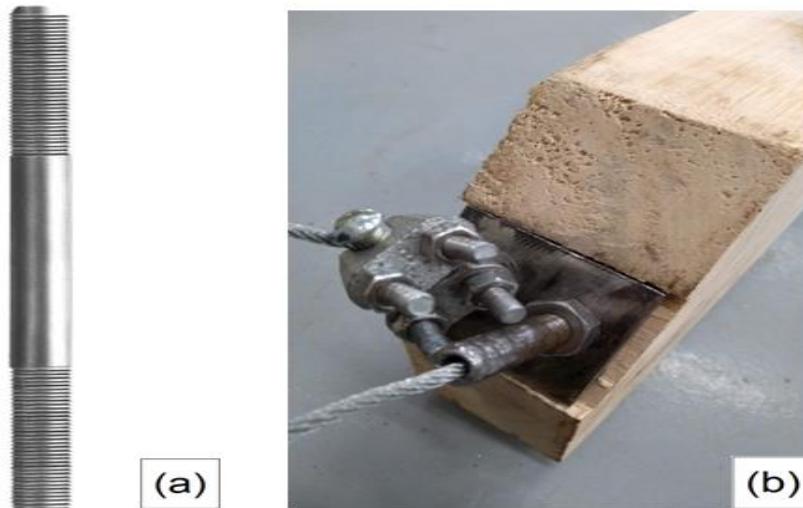
Figura 2 - Detalhes dos entalhes para protensão (medidas em centímetros)



Fonte: Do autor (2018)

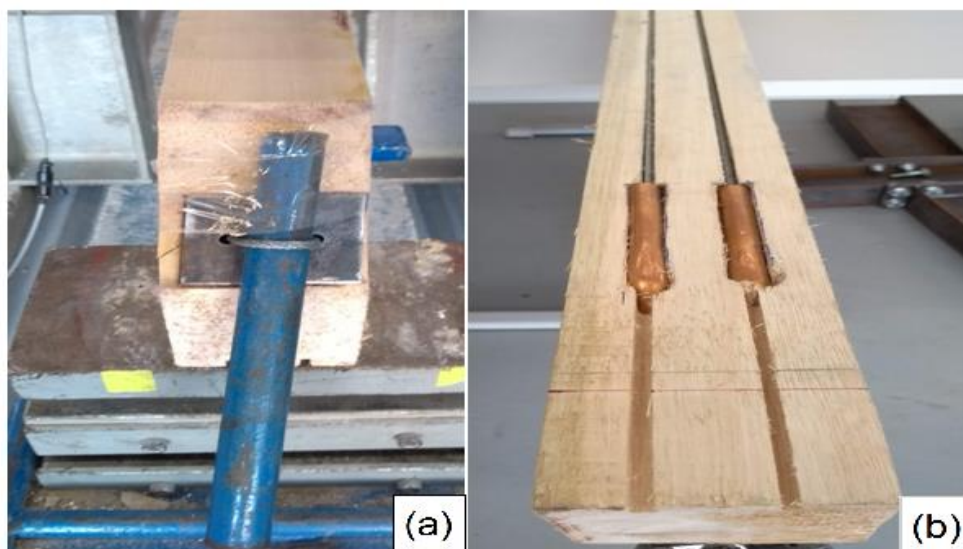
Para realizar o método de protensão nas vigas de madeira, foram necessários dois eixos de bloqueio bitola 3/8" (Figura 3 - item a), de acordo com sistema utilizado por Cardoso (2013), introduzidos em cada furo de uma das extremidades da viga (Figura 3 - item b). Na outra ponta, foram colocados cilindros metálicos para facilitar a movimentação dos cabos de um lado para o outro (Figura 4 - item a), no sulco inferior foi colocado um tubo de cobre para que a madeira não fosse danificada devido ao atrito do cabo de aço (Figura 4 - item b).

Figura 3 - a) Eixo de bloqueio; b) Eixos de bloqueio inserido na viga



Fonte: Do autor (2018)

Figura 4 - a) Cilindro metálico para facilitar a passagem do cabo; b) Tubos de cobre

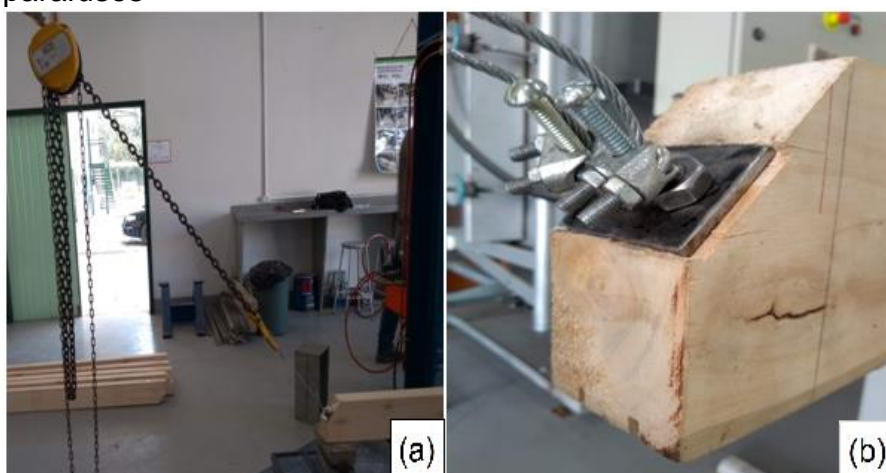


Fonte: Do autor (2018)

Para a protensão da viga, foi passado um cabo por um dos orifícios fazendo com que ele retornasse ao mesmo lado, uma das pontas do cabo de aço foi presa com braçadeiras e um parafuso para garantir a aderência, na outra foi feito um laço para que fosse possível esticar o cabo com uma talha manual (Figura 5 - item a). Após observar que o cabo estava esticado, prendeu-se essa outra parte com mais braçadeiras e um parafuso (Figura 5 – item b), então a peça foi colocada invertida na prensa e aplicado uma carga até que ela atingisse o limite máximo do deslocamento vertical (neste caso foi utilizado $\frac{l}{200}$, resultando o deslocamento de 10,0mm) com a intenção de conseguir uma folga no cabo de aço e os eixos de blocagem fossem utilizados de modo a esticar o mesmo.

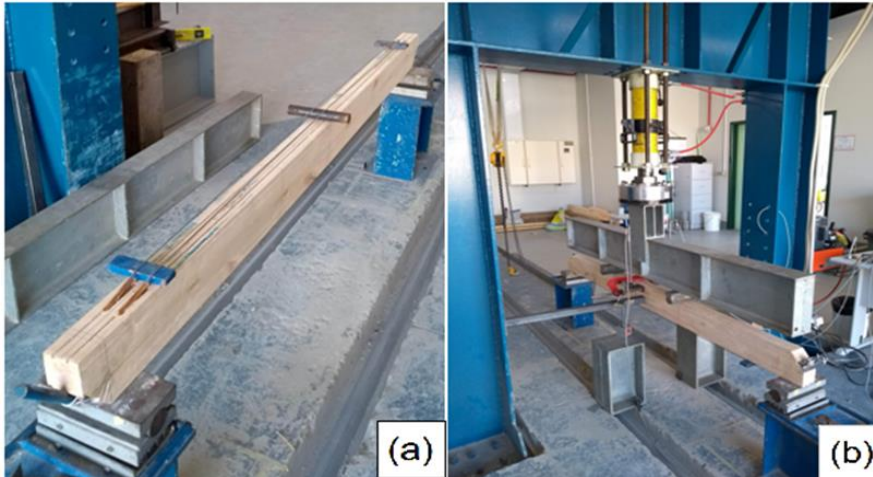
Neste processo de tração no cabo, verificou-se que este ainda estava “frouxo” ou pouco retesado, assim foi adotado uma forma de obter uma maior tensão no cabo colocando peças metálicas entre a viga e os cabos de aço baseando-se na teoria da viga vagão (Figura 6 – item a), para assim ser realizado o ensaio de flexão a quatro pontos (Figura 6 – item b).

Figura 5 - a) Talha ao esticar o cabo; b) Fixação dos cabos com braçadeiras e parafusos



Fonte: Do autor (2018)

Figura 6 - a) Peças metálicas entre a madeira e cabos de aço; b) Ensaio de flexão a quatro pontos.

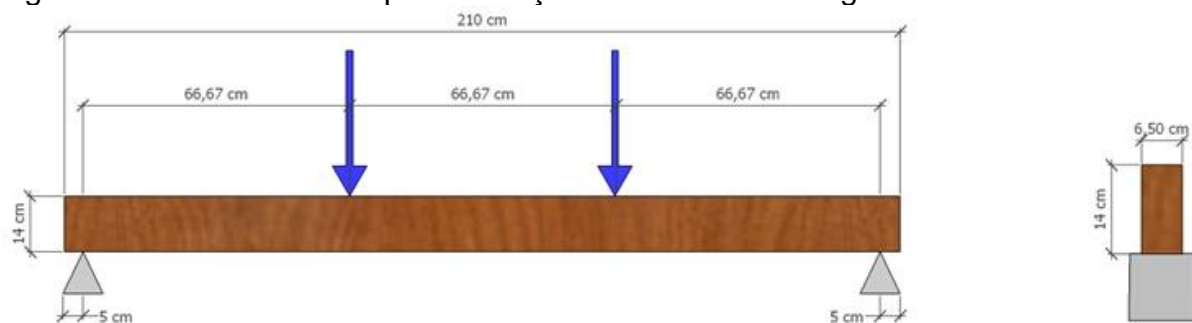


Fonte: Do autor (2018)

2.4 ENSAIO DE RESISTÊNCIA A FLEXÃO ESTÁTICA DE QUATRO PONTOS

As dimensões das seções transversais foram de 6,50 cm x 14 cm (Figura 7), atendendo a área mínima descrita pela norma NBR 7190:1997 (ABNT, 1997), item 10.2.1, que é de 50 cm², com uma medida longitudinal de 210 cm, e vão efetivo de 200 cm. As amostras passaram pelo ensaio de flexão de quatro pontos a fim de medir seu deslocamento vertical e a carga máxima suportada até a sua ruptura, fazendo um comparativo entre os dois grupos.

Figura 7 - Distância entre apoios e seção transversal das vigas



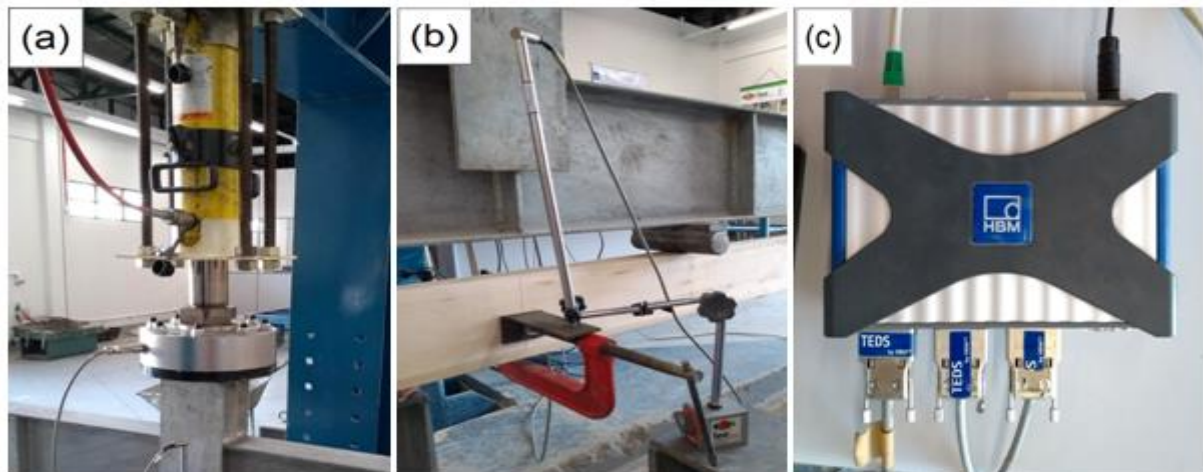
Fonte: Do autor (2018)

Os equipamentos utilizados nesse ensaio foram o macaco hidráulico e a célula de carga (Figura 8 - item a) para definição da força inserida nos pontos de aplicação, e

a obtenção dos valores dos deslocamentos verticais se deram através de dois medidores LVDT (*Linear Variable Differential Transformer* – Transformador Diferencial Variável Linear) (Figura 8 - item b). Estas informações foram transmitidas para um computador através do sistema de dados *QuantumX MX840B* (Figura 8 - item c), amplificador compacto com 08 canais.

O ensaio de flexão estática à quatro pontos foi realizado primeiramente com vigas de madeira maciça natural servindo como referência e logo após com vigas de madeira protendida (Figura 9).

Figura 8 - a) Macaco hidráulico e célula de carga; b) LVDT; c) *QuantumX MX840B*



Fonte: Do autor (2018)

Figura 9 - Ensaio de flexão estática à quatro pontos da viga protendida



Fonte: Do autor (2018)

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados dos ensaios ocorridos no Laboratório Experimental de Estruturas (LEE) do I.Parque – UNESC, estão representados na Tabela 3, e foram selecionados os máximos valores de carga e deformação de cada uma das vigas para se apresentar um comparativo.

Tabela 3 - Valores máximos obtidos

Grupo	Amostra	Carga máxima (kgf)	Deformação máxima (mm)
Protendidas	Protendida	3212,80	73,08
Média		3212,80	73,08
Referências	Referência 1	1566,5	17,73
	Referência 2	1808,1	28,78
Média		1687,3 +/- 120,80	23,26 +/- 5,53

Fonte: Do autor (2018)

4. CONCLUSÃO

Através do presente trabalho verificamos uma dificuldade muito grande em determinar uma forma de tracionar o cabo de aço e de garantir uma protensão ideal para madeira, sendo este um fator a ser estudado e definido em futuros trabalhos.

Mesmo com todas as dificuldades encontradas a tendência de aumento na capacidade de suporte de carga foi expressiva, com um incremento na capacidade de resistência de carga de 90,41% para vigas protendidas a mais do que as vigas de referência.

Verificou-se também que os cabos de aço após a ruptura da madeira não apresentaram qualquer tipo de deformação, o que pode-se afirmar que a carga não foi transmitida totalmente para os cabos, sendo absorvida ainda pela madeira. Portanto se aumentar mais a tensão no cabo, desde que não provoque danos a madeira pode-se chegar a resultados mais expressivos.

Os resultados mostraram que as vigas protendidas mantiveram a ductilidade, ocorrendo uma proporção de aumento de carga e de deslocamento vertical quando comparado a viga de referência.

5. RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como recomendações para trabalhos futuros, sugere-se:

- ✓ Ampliar o número de amostras;
- ✓ Utilizar uma altura maior da viga;
- ✓ Realizar ensaios de umidade e densidade nas amostras;
- ✓ Adotar um padrão de protensão ideal para madeira.

6. REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 7190**: Projeto de Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro, 1997.

CARDOSO, Rafael de Bona. **Atenuar o deslocamento vertical em vigas de madeira utilizando cabo de aço**. 21 p. Artigo de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Univ. do Ext. Sul Catarinense – UNESC, Criciúma. 2013.

FILHO, Flávio de Marco. **Elementos de transmissão flexíveis**. Universidade Federal do Rio de Janeiro. 2009.

FONTE, Thalita Fernandes da. **Pontes Protendidas de Eucalipto Citriodora**. 2004. 116 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos.

PFEIL, Walter. **Concreto Protendido**: Processos Construtivos Perdas de Protensão. 3 ed. Rio de Janeiro: EDC, 1991. 423 p.

RUBINI, Lucas; MORAES, Poliana Dias de. **Aderência à Madeira de Polímeros Reforçados com Fibras de Carbono sob Temperaturas Elevadas**. *Floresta e Ambiente*. Vol. 19/Issue2, p. 236-242, 2012.

SANTOS, Caio Victor Fernandes dos. 2016. **Métodos de ensaio para a determinação da resistência ao cisalhamento em elementos estruturais de madeira de *Pinus spp.*** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Materiais e Área de concentração Desenvolvimento, Caracterização e Aplicação de Materiais). – Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 82f.

SOUZA, Thaís dos Santos. **Análise comparativa das propriedades mecânicas da madeira tratada e madeira natural**. 18 p. Artigo de Trabalho de Conclusão de Curso em Engenharia Civil, Univ. do Ext. Sul Catarinense – UNESC, Criciúma. 2014.



Artigo submetido ao Curso de Engenharia Civil da UNESC -
como requisito parcial para obtenção do Título de Engenheiro Civil



11

ZENID, Geraldo José. **Madeira**: uso sustentável na construção civil. 2. ed. São Paulo: IPT, 2009. 99p. (IPT Publicação 3010)