

## Avaliação das condições estruturais de telhados construídos com madeira brasileira nativa

**Jairo Ribas de Andrade Junior, Diego Henrique de Almeida, Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo, São Carlos, SP. e-mail: jairoribas@usp.br e almeidaddh@usp.br**

**Guilherme Corrêa Stamato, Stamade Projeto e Consultoria em Madeira, São Carlos, SP. e-mail: stamade@terra.com**

**André Luis Christoforo, Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC), Universidade Federal de São João del Rei (UFSJ), São João del Rei, MG. e-mail: alchristoforo@yahoo.com.br**

**Francisco Antonio Rocco Lahr, Professor Titular do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP), São Carlos, SP. e-mail: frocco@sc.usp.br**

**Resumo:** Este artigo possui os seguintes objetivos: realizar vistorias “*in loco*” em um telhado construído com madeira nativa brasileira, com a finalidade de determinar sua integridade frente às patologias que poderiam ser encontradas após 10 anos de utilização; estimar as propriedades mecânicas (resistência à compressão ( $f_{c0}$ ) e resistência ao cisalhamento ( $f_{v0}$ ), ambas paralelas às fibras) e densidade aparente ( $\rho_{ap}$ ), das madeiras empregadas neste telhado. O telhado foram construídos com Piquiarana (*Caryocar glabrum*), madeira nativa brasileira proveniente de reserva legal da região norte do país. Após as inspeções, amostras de alguns elementos estruturais, foram retiradas e analisadas em laboratório de acordo com os métodos preconizados pela norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997 para determinação das propriedades físico-mecânicas. Nos telhados estudados não foram encontrados pontos de biodeterioração ocasionados por organismos xilófagos; porém, alguns problemas ocasionados por erros no momento da construção da obra foram encontrados.

**Palavras-chave:** telhado, estruturas de madeira, madeira, propriedades físico-mecânicas.

### Evaluation of structural conditions of roofs made of native Brazilian wood

**Abstract:** The aims of this research are: inspect a roof building with native Brazilian wood, in order to determine its integrity in the face of conditions that could be found after 10 years of use; estimate the mechanical properties (compression strength ( $f_{c0}$ ) and shear strength ( $f_{v0}$ ), both parallel to the grain) and specific gravity ( $\rho_{ap}$ ), at woods used in this roof. The roof were built with Piquiarana Wood (*Caryocar glabrum*), native Brazilian wood from Certified Area in the northern region of the country. After the inspections, samples of some structural elements, were analyzed according to the methods recommended by the Brazilian Standard Code ABNT NBR 7190: 1997 to determine the physical and mechanical properties. Were not found points of biodeterioration caused by wood decay organisms, but some problems caused by mistakes when construction work were found.

**Keywords:** roof, timber structures, wood, physical and mechanical properties.

## 1. Introdução

Para utilização da madeira na construção civil é importante que as suas propriedades sejam previamente conhecidas, principalmente as mecânicas e as físicas, pois estas são as que mais interferem no projeto de estruturas de madeira (Calil Junior et al., (2003)<sup>(1)</sup>; Calil Junior e Molina, 2010<sup>(2)</sup>).

No Brasil, as construções de estruturas utilizando elementos estruturais em madeira por muitos anos foram realizada utilizando madeira proveniente de importantes regiões do país com grandes recursos florestas (Zenid, 2009<sup>(3)</sup>), porém, hoje em dia, a utilização da madeira proveniente destas áreas, como por exemplo, a Amazônia, é regulamentada, para preservação do que ainda o Brasil possui em termos de florestas nativas (Oliveira<sup>(4)</sup>).

Outros importantes fatores devem ser levados em consideração para construir estruturas de madeira, entre elas: dimensionar as estruturas de acordo com os procedimentos sugeridos por normas, como a existente no Brasil, a ABNT NBR 7190: 1997 “Projeto de Estruturas de Madeira” (ABNT NBR 7190: 1997<sup>(5)</sup>); a utilização de produtos químicos preservantes em madeiras susceptíveis à proliferação de organismos xilófagos (Icimoto et al., (2013)<sup>(6)</sup>; Almeida et al., (2011)<sup>(7)</sup>); o emprego da madeira em ambientes com proteção ao alto teor de umidade, também é uma prática que dever ser realizada, pois, a madeira apresenta instabilidade dimensional em ambientes com alto teor de umidade (Galvão e Jankowsky, 2003<sup>(8)</sup>; Logsdon e Calil Junior, 2002<sup>(9)</sup>).

Porém, com todos os cuidados tomados para construção de estruturas de madeira é necessária realizar manutenções preventivas, mesmo que tomado todos os cuidados citados no parágrafo anterior, pois, com o passar dos anos, problemas podem aparecer ou serem causados, como por exemplos, sobre cargas em pontes e passarelas, acidentes de transito, desastres naturais, entre outros problemas que podem levar uma estrutura de madeira a apresentar avarias (Milani e Kripka, 2012<sup>(10)</sup>; Bertolini et al., 2013<sup>(11)</sup>).

Para averiguação das condições estruturais frente aos problemas que podem ser encontrados, algumas técnicas podem ser utilizadas, como por exemplos: ensaios não destrutivos utilizando equipamentos como o resistógrafo (Ferro et al., 2010<sup>(12)</sup>; Ferro et al., 2013<sup>(13)</sup>); a partir de peças retiradas de alguns pontos das estruturas, realizar ensaios em laboratório para estimativa das propriedades de resistência, de rigidez e física (Andrade Junior e Stamato, 2009<sup>(14)</sup>); e também, análise visual destas estruturas anotando os problemas encontrados, tais como patologias (peças em contato com umidade, ataque de organismos xilófagos) ou erros de projeto (elementos estruturais mal dimensionados, grandes deformações em meios de vãos livres) (Sartorti, 2008<sup>(15)</sup>).

O objetivo desta pesquisa é a realização de vistorias num telhado construído com a madeira nativa brasileira Piquiarana (*Caryocar glabrum*) para determinação dos possíveis problemas apresentados após 10 anos de sua construção, além disso, determinar algumas propriedades de resistência e densidade aparente destas madeiras.

## 2. Materiais e Metódos

Para realização desta pesquisa primeiramente foram realizadas vistorias na estrutura do telhado de madeira construídas no interior do estado de São Paulo, Brasil.

### 2.1. Características da estrutura de madeira: telhado

A estrutura de madeira vistoriada refere-se à de um telhado residencial com cobertura de telhas de cimento apoiada em alvenaria, situada na cidade de Campinas, São Paulo, Brasil (fig. 1). O telhado foi construído há 10 anos utilizando madeira de Piquiarana (*Caryocar glabrum*). Segundo o projeto da estrutura realizado em 2003, a madeira utilizada nesta obra é proveniente de reservas naturais certificadas da região norte brasileira.



Figura 1 – Estrutura de madeira de Piquiarana.

## 2.2 Vistorias

As vistorias no telhado estudado neste trabalho foram realizadas no segundo semestre do ano de 2013, aproveitando o momento de troca das telhas de cimento. Para determinar a situação da estrutura em relação às possíveis patologias, foram realizadas análises visuais *“in loco”* em todos os componentes estruturais em madeira e nas ligações das estruturas, onde foram avaliadas as condições estruturais gerais, como detalhes de fixação e condições de deterioração em uso da estrutura. Para efeito de documentação das vistorias, foram realizados formulários para marcação dos problemas encontrados e registros fotográficos (fig. 2).



(a)



(b)

Figura 2 – Registro fotográfico realizado no (a) interior do telhado e (b) sobre o telhado.

## 2.3. Estimativa de propriedades físicas e de resistência das madeiras das estruturas

Foram escolhidas ao acaso algumas peças estruturais de Piquiarana para serem avaliadas em laboratório.

Os ensaios ocorreram no Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP).

Foram realizados ensaios para determinação das propriedades mecânicas de resistência da madeira à compressão na direção paralela às fibras ( $f_{c0}$ ) e de resistência ao cisalhamento na direção paralela às fibras ( $f_{v0}$ ), além disso, também foi determinado, utilizando os corpos de prova de compressão paralela às fibras (antes de serem ensaiados) a densidade aparente da madeira ( $\rho_{ap}$ ). Todos os ensaios ocorreram de acordo com a norma brasileira ABNT NBR 7190: 1997<sup>(5)</sup>. O teor de umidade da madeira estimada utilizando medidor eletrônico foi

estimado em 12%, em conformidade com o documento ABNT NBR 7190: 1997<sup>(5)</sup> que adota este, como o teor de umidade padrão.

A resistência à compressão paralela às fibras foi estimada utilizando 12 corpos de prova prismáticos isentos de defeitos com seção transversal quadrada de 5 cm de lado e comprimento na direção das fibras igual a 15 cm (fig. 3). A  $f_{c0}$  é obtida à partir da razão entre a máxima carga de compressão ( $F_{e0}$ ) e a área de seção transversal resistente à esta carga ( $A_c$ ) (eq. 1)

$$f_{c0} = \frac{F_{e0}}{A_c}. \quad (1)$$



Figura 3 – Corpo de prova de compressão paralela às fibras da madeira de Piquiarana.

Para estimativa da  $f_{v0}$  foram utilizados 12 corpos de prova isentos de defeitos (fig. 4). A  $f_{v0}$  é obtida à partir da razão entre a máxima carga cisalhante ( $F_{v0}$ ) e a área resistente ao cisalhamento ( $A_v$ ) (eq. 2)

$$f_{v0} = \frac{F_{v0}}{A_v}. \quad (2)$$



Figura 4 – Corpo de prova instrumentado para o ensaio de resistência ao cisalhamento paralelo às fibras.

A densidade aparente foi determinada através da razão entre a massa do corpo de prova ( $m$ ) e o seu respectivo volume ( $V$ ) (Eq. 3). A massa dos corpos de prova foi determinada em balança com precisão de 0,1 g e o volume foi determinado medindo-se a largura, a

espessura e o comprimento de cada um dos corpos de prova antes de serem utilizados nos ensaios de compressão paralela às fibras (fig. 5)

$$\rho = \frac{m}{V} . \quad (3)$$

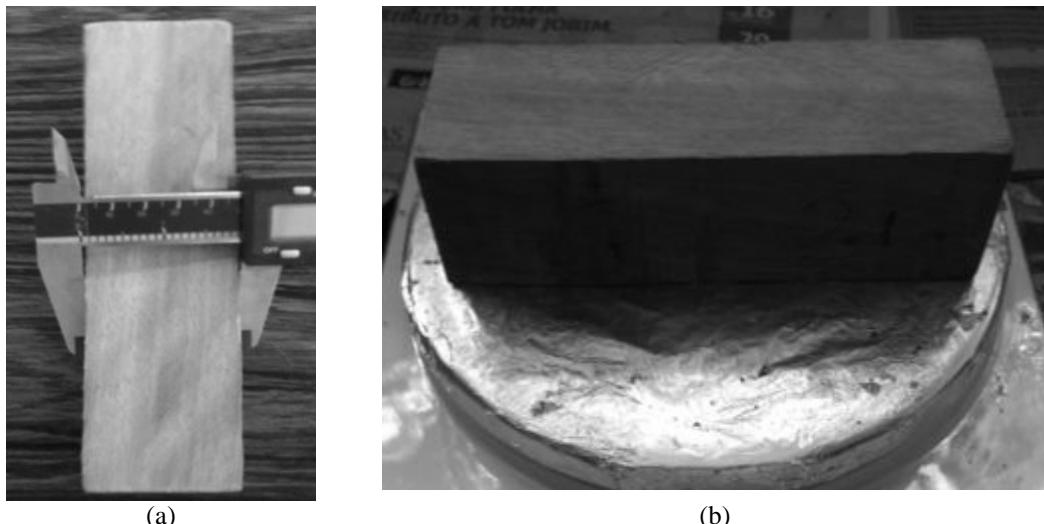


Figura 5 – (a) Medição das dimensões e (b) determinação da massa dos corpos de prova para estimativa da densidade aparente.

### 3. Resultados e Discussões

#### 3.1. Resultados das vistorias

Na verificação visual realizada no telhado foi constatado que globalmente a estrutura se encontra estável, com ressalva para alguns pontos com problemas relacionados ao projeto e execução da obra. Quanto às patologias, não foram encontrados problemas. A seguir serão descritos alguns tópicos referentes às vistorias:

##### 3.1.1. Fixação das terças nos pilares

As terças foram apenas apoiadas sobre os pilares, sem nenhum conector fixando as terças assegurando que as mesmas não girem (fig. 6).



Figura 6 – Apoio de uma das terças em um dos pilares.

### 3.1.2. Esmagamento de elementos estruturais

Em alguns pontos de contato entre os caibros e as terças encontraram-se esmagamento dos elementos estruturais, o que pode ser considerado um problema, pois, isto reduz as propriedades de resistência da madeira utilizada (fig. 7).



Figura 7 – Esmagamento dos elementos estruturais.

### 3.1.3. Realização de ligações entre elementos estruturais em lugares inapropriados

Durante a vistoria no telhado foram encontradas algumas ligações realizadas em lugares inapropriados. Um tipo de ligação por entalhe na madeira conhecida como ligação “mão-de-amigo”, foram realizadas para dar continuidade às terças e aos espiões, fora dos pontos de apoio fornecendo deformações a esses elementos estruturais (fig. 8).

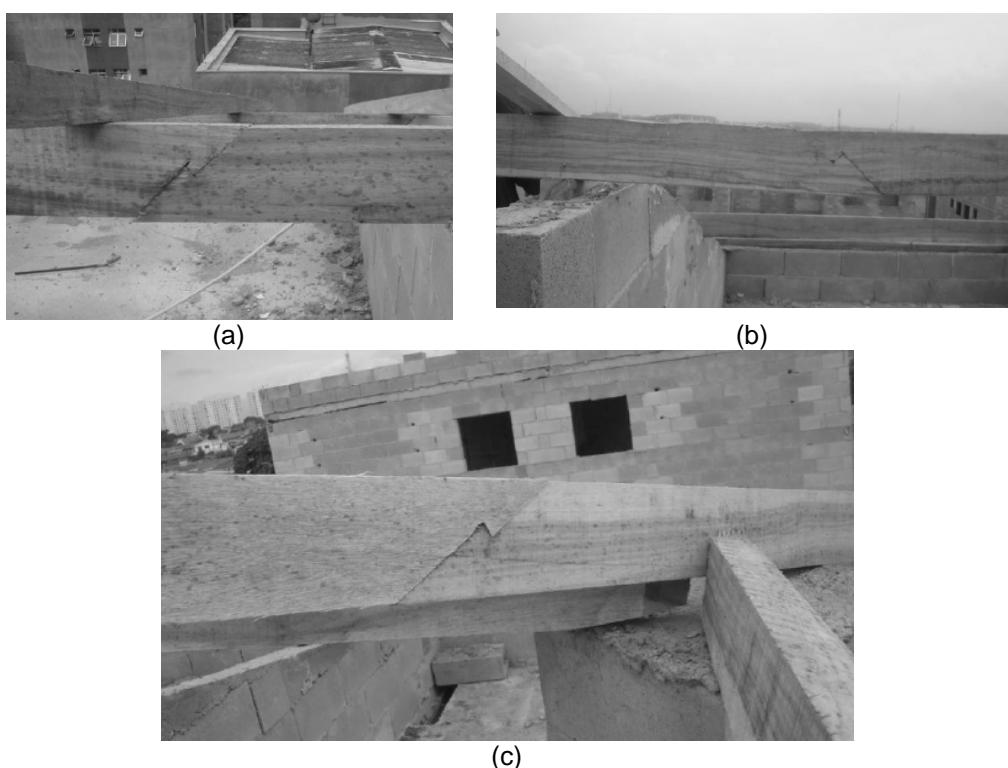


Figura 8 – (a) Detalhe do tipo de ligação “mão-de-amigo”; (b) Ligação “mão-de-amigo” realizada na terça; (c) Ligação “mão-de-amigo” realizada no espião.

### 3.1.4. Instabilidade na fixação do pontalete da terça na alvenaria

Os pontaletes das terças foram fixados sobre a alvenaria com instabilidade. Pode-se adotar um caibro de madeira fixado na alvenaria e na terça, como elemento para impedir o giro, além disso, um “encunhamento” no contato da peça de madeira existente na alvenaria para transferência dos esforços verticais deve ser realizado (fig. 9).



Figura 9 – Detalhe do pontalete fixado com instabilidade.

### 3.1.5. Desalinhamento das terças

Algumas terças estavam empenadas, possivelmente devido à possíveis problemas no período de secagem dessas peças (fig. 10).



Figura 10 – Detalhe do desalinhamento das terças.

### 3.1.6. Ausência de patologias

Durante a realização das vistorias, não foram encontrados problemas de patologias ocasionadas por conta da atuação de organismos xilófagos, possivelmente devido à ausência de pontos do telhado expostos diretamente ao contato com água. Outro fator importante relacionado a este fato é a utilização de madeira com grande durabilidade natural, ou seja, possui alta resistência ao ataque de organismos xilófagos (IPT, 2013<sup>(16)</sup>).

### 3.2. Resultados dos ensaios em laboratório

A Tabela 1 apresenta os valores individuais de cada um dos corpos de prova (CP), bem como os valores médios ( $X_m$ ) e os respectivos coeficientes de variação (CV) para as propriedades de resistência da madeira de Piquiarana solitada em esforços de compressão e de cisalhamento, ambas na direção paralela às fibras. Além disso, também são apresentados os resultados estimados para a densidade aparente da madeira de Piquiarana.

Tabela 1 – Propriedades de resistência e densidade aparente da madeira de Piquiarana após 10 anos de utilização em estrutura de madeira

CP	$f_{c0}$ (MPa)	$f_{v0}$ (MPa)	$\rho_{ap}$ (kg/m <sup>3</sup> )
1	52	20	806
2	54	16	795
3	59	19	803
4	51	20	789
5	51	18	808
6	53	19	810
7	46	18	745
8	43	18	862
9	45	21	589
10	43	14	838
11	51	14	818
12	49	18	772
$X_m$	50	18	786
CV (%)	10	13	9

Mesmo após 10 anos de utilização a madeira de Piquiarana empregada no telhado apresenta propriedades mecânicas muito boas com uma resistência à compressão paralela às fibras média igual a 50 MPa (com teor de umidade da ordem de 12%).

Estudos com a madeira de Piquiarana para sua utilização em painéis aglomerados (Iwakiri et al., 2012<sup>(17)</sup>) apresentam densidade aparente média para esta madeira igual a 680 kg/m<sup>3</sup>. Esta diferença é admissível por conta da grande variabilidade encontrada mesmo em quando se trabalha com mesmas espécies, pois, pontos diferentes da mesma árvore podem apresentar propriedades físicas diferentes (Trugilho et al., 1996<sup>(18)</sup>; Ferro et al., 2013<sup>(19)</sup>; Icimoto et al., 2013<sup>(20)</sup>).

### 4. Conclusões

A avaliação geral da estrutura mostra que esta apresenta alguns problemas relacionados à falta de especificação e erros na execução do projeto há 10 anos, verificados nas vitorias “*in loco*”, porém, em nenhum ponto do telhado foi encontrada patologias ocasionados pela manifestação de organismos xilófagos. Quanto às propriedades de resistência e física da madeira empregada, elas podem ser consideradas satisfatórias, pois apresentam bons valores médios.

### 5. Agradecimentos

Os autores deste artigo agradecem à CAPES pelo aporte financeiro, à STAMADE pela possibilidade da pesquisa “*in loco*” e ao LaMEM/SET/EESC/USP pelos recursos disponíveis para os ensaios laboratoriais.

## 6. Referências

- (1) Calil Junior, C.; Lahr, F. A. R.; Dias, A. A. (2003). *Dimensionamento de elementos estruturais de madeira*. Barueri, Manole.
- (2) Calil Junior, C.; Molina, J. C. (2010). *Coberturas em estruturas de madeira: exemplos de cálculo*. São Paulo, Pini.
- (3) Zenid, G. J. (2009). *Madeira: uso sustentável na construção civil*. São Paulo, IPT, 2009.
- (4) Oliveira, M. S. (2011). *Importância da determinação botânica na comercialização de madeira e no agrupamento de espécies do município de Breu Branco, PA*. Belém. 59 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Federal Rural da Amazônia.
- (5) Associação Brasileira de Normas Técnicas (1997). *NBR 7190 – Projeto de estruturas de madeira*. Rio de Janeiro. 107p.
- (6) Icimoto, F. H.; Ferro, F. S.; Varanda, L. D.; Souza, A. M.; Almeida, D. H.; Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R. (2013). *Physical and mechanical properties of Paricá wood species treated with CCB preservative*. International Journal of Materials Engineering, on –line, v.3, p.82-86.
- (7) Almeida, D. H.; Scaliante, R. M.; Cavalheiro, R. S.; Macedo, L. B.; Christoforo, A. L.; Macêdo, A. N.; Calil Junior, C.; Lahr, F. A. R. (2011). *Combinação madeira-adesivo-impermeabilizante em MLC*. Madeira: Arquitetura e Engenharia, on-line, v.12, p.9-17.
- (8) Galvão, A. P. M.; Jankowsky, I. P. (2003). *Secagem racional da madeira*. São Paulo, Nobel.
- (9) Logsdon, N. B.; Calil Junior, C. (2002). *Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira*. Cadernos de Engenharia de Estruturas, on-line, v.18, p.77-107.
- (10) Milani, C. J.; Kripka, M. (2012). *A identificação de patologias em pontes de madeira: diagnóstico realizado no sistema viário do município de Pato Branco – Paraná*. Revista Eletrônica de Engenharia Civil, on-line, v.1, p.23-33.
- (11) Bertolini, M. S.; Macedo, L. B.; Almeida, D. H.; Icimoto, F. H.; Lahr, F. A. R. (2013). *Restoration of structural timber elements using epoxy resin: analysis of mechanical properties*. Advanced Materials Research, on-line, v.778, p.582-587.
- (12) Ferro, F. S.; Molina, J. C.; Calil Junior, C.; Icimoto, F. H.; Campos, C. I. (2010). Use of resistograph for analysis of the decay in timber poles of electric energy. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 12, Lavras, 2010. Anais. Minas Gerais, UFLA, CD-ROM.
- (13) Ferro, F. S.; Pigozzo, J. C.; Almeida, D. H.; Icimoto, F. H.; Macedo, L. B.; Calil Junior, C.; Lahr, F. A. R. (2013). *Nondestructive evaluation of timber columns of a Capela Bridge in the State of São Paulo, Brazil*. Advanced Materials Research, on-line, v.778, p. 258-264.
- (14) Andrade Junior, J. R.; Stamato, G. C. (2009). *Laudo de inspeção e vistoria estrutural*. São Carlos, Stamade.

- (15) Sartori, A. L. (2008). *Identificação de patologias em pontes de vias urbanas e rurais no município de Campinas – SP*. Campinas. 204 p. Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual de Campinas.
- (16) Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT). Acesso em 25/06/2011. <[http://www.ipt.br/informacoes\\_madeiras3.php?madeira=61](http://www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=61)>.
- (17) Iwakiri, S.; Vianez, B. F.; Weber, C.; Trianoski, R.; Almeida, V. C. (2012). *Avaliação das propriedades de painéis aglomerados produzidos com resíduos de serrarias de nove espécies de madeiras tropicais da Amazônia*. Acta Amazônica, on-line, v.42, p.59- 64.
- (18) Trugilho, P. F.; Lima, J. T.; Mendes, L. M. (1996). *Influência da idade nas características físico-químicas e anatômicas da madeira de Eucalyptus saligna*. Revista Cerne, on-line, v.2, p.01- 15.
- (19) Ferro, F. S.; Icimoto, F. H.; Almeida, D. H.; Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R. (2013). *Verification of test conditions to determine the compression modulus of elasticity of wood*. International Journal of Agriculture and Forestry, on-line, v.3, p.66- 70.
- (20) Icimoto, F. H.; Ferro, F. S.; Almeida, D. H.; Christoforo, A. L.; Lahr, F. A. R. (2013). *Influence of the specimen position on calculus of the bending modulus of elasticity*. International Journal of Materials Engineering, on-line, v.3, p.41- 46.