

# Reparação em vigas de *Eucalyptus* usando peças de *Pinus* tratado com CCB

## Repair in Eucalyptus beams using pieces of CCB treated Pinus

Francisco Antônio Rocco Lahr

Laurenn Borges de Macedo

Giovana Gobatto Balanco

Nathan Alves dos Santos

André Luis Christoforo

### Resumo

A madeira é um dos materiais que sempre foram utilizados na construção civil brasileira, devido à sua disponibilidade e bom desempenho estrutural. A maioria das edificações, no Brasil, desde o século XVII, tem utilizado este material como base para a construção, enraizando uma quantia significativa da herança cultural. Porém, em diversas situações, a manutenção adequada não foi dada para garantir a integridade da madeira ao longo do tempo, e por isso a deterioração dos elementos estruturais não é rara, e sua substituição total ou parcial costuma ser necessária. Este estudo objetivou determinar o ganho no produto de rigidez (produto do módulo de elasticidade,  $E$ , e do momento de inércia,  $I$ ) de vigas de madeira parcialmente deterioradas, reforçadas com peças de madeira saudável, conectadas com parafusos autoatarraxantes (de três a trinta e três). Foram realizados testes com vigas mistas de *Eucalyptus grandis* (classe de resistência 30, de acordo com a norma brasileira NBR7190:1997), considerado neste estudo como a porção principal da viga, e *Pinus elliottii* tratado com CCB (borato de cobre cromatado), para a substituição da fração danificada. Os resultados demonstraram um aumento expressivo no produto de rigidez, mesmo quando apenas três parafusos autoatarraxantes foram utilizados, e confirmaram a conveniência na utilização deste procedimento para a reabilitação de vigas de madeira danificadas.

**Palavras-chave:** Parafusos autoatarraxantes / Reabilitação / Rigidez à flexão

### Abstract

Timber is one of materials always applied in Brazilian building construction, due to its availability and good structural performance. The majority of buildings, in Brazil, since 17th century, have utilized this material as important input, concentrating a significant charge of our cultural heritage on it. In several situations, however, maintenance procedures have been insufficient to ensure the integrity of timber along the time. Therefore, deterioration is not rare in structural members and their partial or integral replacement is often necessary. This study aimed to determine improvement in flexural rigidity (product of elastic modulus,  $E$ , by moment of inertia,  $I$ ) in partially deteriorated timber beams, reinforced with healthy wood pieces, connected with self-tapping screws (from three to thirty three). Tests were carried out using mixed beams of *Eucalyptus grandis* (Strength Class 30, according do Brazilian Code NBR7190:1997) considered in this study as main beam portion, and CCB (chromated copper boron) treated *Pinus elliottii* for replacing damaged fractions. Results showed expressive improvement of flexural rigidity, even when only three self-tapping screws were used, and confirmed the convenience of such procedures to rehabilitate damaged timber beams.

**Keywords:** Self-tapping screws / Rehabilitation / Flexural rigidity

## Francisco Antônio Rocco Lahr

Professor Doutor  
Universidade de São Paulo  
São Carlos, Brasil  
frocco@sc.usp.br

## Laurenn Borges de Macedo

Doutorado em andamento  
Universidade de São Paulo  
São Carlos, Brasil  
laurennmacedo@hotmail.com

## Giovana Gobatto Balanco

Mestrado em andamento  
Universidade de São Paulo  
São Carlos, Brasil  
giovanaagobatto@hotmail.com

## Nathan Alves dos Santos

Graduado  
Universidade de São Paulo  
Araraquara, Brasil  
nathan.snts@gmail.com

## André Luis Christoforo

Professor Doutor  
Universidade Federal de São Carlos  
São Carlos, Brasil  
christoforoal@yahoo.com.br

### Aviso legal

As opiniões manifestadas na Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas são da exclusiva responsabilidade dos seus autores.

### Legal notice

*The views expressed in the Portuguese Journal of Structural Engineering are the sole responsibility of the authors.*

LAHR, Francisco [et al.] – Reparação em vigas de *Eucalyptus* usando peças de *Pinus* tratado com CCB. **Revista Portuguesa de Engenharia de Estruturas**. Ed. LNEC. Série III. n.º 4. ISSN 2183-8488. (julho 2017) 29-36.

## 1 Introdução

Com a sedentarização do homem no período neolítico, surgiu a necessidade de construção de moradias e outras edificações e desde esta época a madeira é utilizada como um dos principais elementos para a construção. Unida a materiais como a argila, era utilizada para a obtenção de habitações que substituíam as cavernas pré-históricas. Desde então, fez parte de toda a história do setor da construção civil. O interesse pela madeira e sua grande utilização deve-se a alguns fatores como a acessibilidade e disponibilidade na natureza, boa resistência e durabilidade, fácil manuseio e adequação (talhagem), grande variedade de comprimentos e diâmetros, além de ser um material muito leve quando comparado a outros elementos estruturais, o que facilita seu transporte e montagem de estruturas (Cruz e Nunes, 2015).

No Brasil, devido à sua extensa área territorial e ao clima favorável, além de outros fatores, há uma vasta diversidade de espécies de madeira. Graças a estes fatores, a madeira era um material acessível em peças de diferentes comprimentos e diâmetros, levando ao seu grande uso nas construções. Assim, ainda hoje, existem construções muito antigas oriundas da era colonial e épocas subsequentes (Bertolini *et al.*, 2013). Abreu (2010) afirma que “é notória a utilização da madeira na composição do patrimônio arquitetônico brasileiro” e frisa que trabalhos voltados à reabilitação deste patrimônio são muito importantes, pois, “nenhuma espécie de madeira, nem mesmo aquelas de reconhecida durabilidade natural, é capaz de resistir, indefinidamente, às intempéries, às variações das condições ambientais, ao ataque de microrganismos”. Miotto e Dias (2006) ressaltam que as estruturas de madeira são submetidas às ações e à interação com o ambiente, o que contribui para a perda de suas propriedades iniciais. Além disso, o ataque biológico é uma das principais causas da degradação dessas estruturas, resultando em perda de massa e, conseqüentemente, em diminuição da sua resistência. Como as estruturas as quais estamos dando enfoque fazem parte de construções muito antigas e, em sua maioria, não receberam a manutenção e cuidado adequados, ficaram expostas aos agentes de degradação de diversos tipos que comprometeram seu desempenho estrutural e vida útil.

Em muitos casos, há estruturas com grau de deterioração avançado em que parte delas tem que ser removida ou até mesmo totalmente substituída. Considerando que na maioria dos casos não seja possível a substituição total do elemento estrutural, é necessária a aplicação de métodos para reabilitação. Neste contexto, o presente trabalho foi desenvolvido objetivando apresentar método viável para a recuperação da rigidez à flexão de peças estruturais de madeira (Classe 30, NBR 7190:1997) por intermédio da substituição da fração danificada por peças de *Pinus elliottii* tratado com borato de cobre cromatado (CCB), solidarizado com parafusos autoatarraxantes. A intervenção foi concebida para fazer com que seja recuperada parte significativa da rigidez na flexão do conjunto. A opção pelo emprego de madeira com propriedades de rigidez de menor magnitude (no caso peças de *Pinus elliottii*) se justifica porque tais peças, quando tratadas em autoclave contra a demanda, permitem que a impregnação seja alcançada em praticamente toda sua seção transversal, o que certamente vai retardar sobremaneira a reincidência dos ataques de fungos e insetos evitando reincidência da deterioração.

Ensaio laboratoriais e análise estatística foram utilizados para avaliar a eficiência da proposta.

## 2 Material e métodos

O presente estudo foi realizado nas dependências do Laboratório de Madeiras e de Estruturas de Madeira (LaMEM), do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET) da Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), Universidade de São Paulo (USP).

Foram utilizadas peças de *Eucalyptus grandis* que se enquadram na Classe de Resistência D40 (folhosas ou dicotiledôneas), segundo a Norma Brasileira NBR 7190 (1997), com o valor médio do módulo de elasticidade das peças de 11.000 MPa. Tal classe apresenta valor característico à compressão paralela às fibras de 40 MPa e representa um universo de espécies tradicionalmente utilizadas no país na construção de estruturas. Além do *Eucalyptus*, foram utilizadas peças de *Pinus elliottii* que se enquadram na Classe de Resistência C25 (coníferas), segundo o referido documento normativo, com o valor médio do módulo de elasticidade das peças de 7.900 MPa. As peças tratadas com CCB (sais de cromo, cobre e boro) tiveram toda a seção transversal impregnada com o citado produto preservante da madeira. Ambas as madeiras apresentando teor de umidade próximo de 12%.

As peças de *Eucalyptus grandis* foram escolhidas para simular as vigas degradadas. Peças de *Pinus elliottii* foram usadas para substituição parcial das vigas existentes por apresentarem permeabilidade tal que o tratamento preservativo com CCB (borato de cobre cromatado) alcança toda a seção transversal, conferindo às peças reabilitadas maior resistência aos agentes patológicos (SILVA *et al.*, 2008).

Inicialmente, foram produzidos oito corpos de prova de *Eucalyptus grandis* nas dimensões nominais 5 cm x 5 cm x 115 cm, de acordo com o que recomenda o Anexo B da NBR 7190:1997, para ensaios de flexão estática de três pontos.



**Figura 1** Corpos de prova para ensaio de flexão estática, 5 x 5 cm de seção transversal e 115 cm de comprimento

Em seguida, foram retirados 33,3% da altura inicial de 4 destes corpos de prova e 50% da altura inicial dos outros 4 corpos de prova, resultando em 4 peças com 3,33 cm de altura, 5 cm de largura e 115 cm de comprimento e mais 4 peças de 2,5 cm de altura, 5 cm de largura e 115 cm de comprimento.

Foram confeccionados corpos de prova de *Pinus elliottii* com as alturas complementares às alturas das novas vigas de *Eucalyptus grandis* para simular as peças que seriam inseridas nas vigas originais na intenção de reforçá-las. Assim sendo, foram obtidos 4 corpos de prova com 1,67 cm de altura, 5 cm de largura e 115 cm de comprimento e mais 4 peças de 2,5 cm de altura, 5 cm de largura e 115 cm de comprimento de *Pinus elliottii*.



**Figura 2** Corpo de prova de *Pinus elliottii* com 1,67 cm de altura, 5 cm de largura e 115 cm de comprimento

As peças de *Eucalyptus grandis* foram unidas às respectivas peças de *Pinus elliottii* a fim de formarem peças mistas com a configuração original de 5 cm de altura, sendo que os 4 corpos de 3,33 cm e 2,5 cm de *Eucalyptus grandis* foram unidos às peças de 1,67 cm e 2,5 cm de *Pinus elliottii* respectivamente. Essa união foi feita com o uso de parafusos autoatarraxantes. O primeiro tratamento foi realizado com a inserção de 3 parafusos autoatarraxantes de 4 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento, para a fixação das peças, solidarizando os materiais. Os parafusos das pontas foram fixados à distância equivalente de 4 vezes o diâmetro do parafuso em relação aos apoios utilizados durante os ensaios (NBR7190:1997). O terceiro parafuso deste tratamento foi fixado ao centro da peça. Após a fixação inicial e devidos testes realizados, foram feitas novas inserções progressivas nas peças, sempre acrescentando parafusos autoatarraxantes no vão entre os parafusos fixados anteriormente, resultando em cinco configurações distintas para cada mescla de peças, com três, cinco, nove, dezessete e trinta e três parafusos. A inserção de parafusos além deste número causou fissuração da madeira, reduzindo as propriedades mecânicas das peças, por isto o número máximo de parafusos inseridos foi de 33. Estes tratamentos foram denominados conforme Quadro I.

Quadro I Tratamentos experimentais delineados

Tratamento	Porcentagem de retirada (%)	Número de parafusos
T1	33,33	3
T2	33,33	5
T3	33,33	9
T4	33,33	17
T5	33,33	33
T6	50,00	3
T7	50,00	5
T8	50,00	9
T9	50,00	17
T10	50,00	33



Figura 3 Vigas mistas provenientes da junção de peças de *Eucalyptus grandis* e *Pinus elliottii* com 2,5 cm de altura cada



Figura 4 Parafusos autoatarraxantes de 4 mm de diâmetro e 40 mm de comprimento (A); Detalhe da fixação do parafuso na madeira (B)

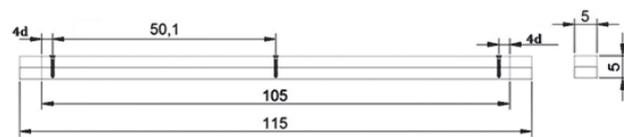


Figura 5 Esquema de fixação para T1 e T6, peça mista com 3 parafusos ao longo do vão efetivo, onde  $d$  é o diâmetro do parafuso

Foram feitos ensaios de flexão estática de três pontos nos corpos de prova mistos, tendo a peça de *Pinus elliottii* posicionada na região comprimida.

Após os tratamentos iniciais (T1/T6) utilizou-se as mesmas peças mistas para a realização dos tratamentos posteriores, onde foram fixados mais 2 parafusos localizados um entre o parafuso da extremidade esquerda e o do centro e o outro entre o parafuso do centro e o da extremidade direita, resultando em 5 parafusos equidistantes. Estes tratamentos foram denominados T2 para a mescla de 66,67% *Eucalyptus grandis* /33,33% *Pinus elliottii* e T7 para a mescla de 50,00% *Eucalyptus grandis* /50,00% *Pinus elliottii*.

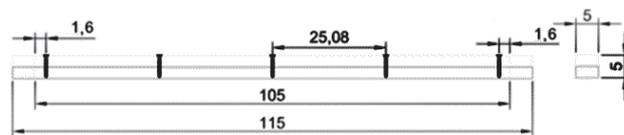


Figura 6 Esquema de fixação para T2 e T7, peça mista com 5 parafusos ao longo do vão efetivo

Após, foram acrescentados novos parafusos autoatarraxantes nas vigas mistas, sempre conferindo um acréscimo de 1 parafuso para cada espaço livre entre-parafusos. Tal procedimento foi realizado mais três vezes em cada um dos corpos de prova, assim, foram obtidos os tratamentos T3 e T8, posteriormente, T4 e T9, e por fim, T5 e T10, conforme ilustrado a seguir. Tais denominações podem ser vistas com maior clareza junto ao Quadro 1.

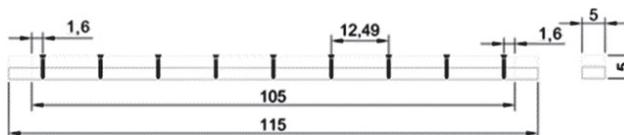


Figura 7 Esquema de fixação para T3 e T8, peça mista com 9 parafusos ao longo do vão efetivo

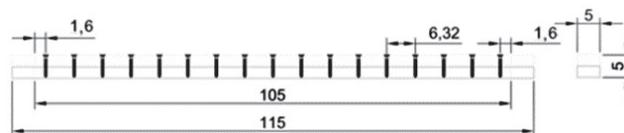
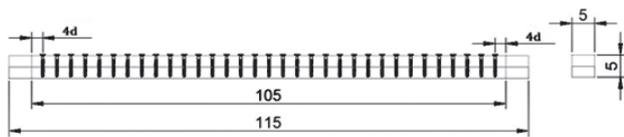


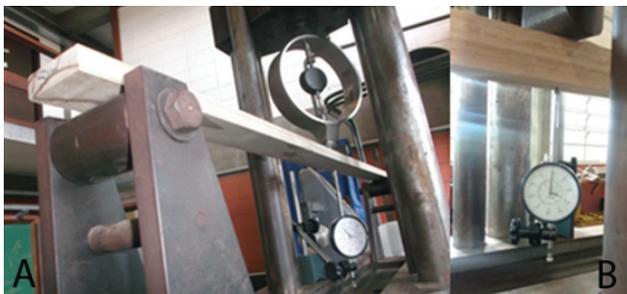
Figura 8 Esquema de fixação para T4 e T9, peça mista com 17 parafusos ao longo do vão efetivo

A cada novo acréscimo de parafusos foi feito um novo ensaio. Todos os ensaios de flexão estática de três pontos foram realizados no regime elástico para que não houvesse fissuração na peça,

respeitando uma flecha máxima de 5,25 mm (L/200), para garantir que não houvesse comprometimento das peças para os ensaios posteriores.



**Figura 9** Esquema de fixação para T5 e T10, peça mista com 33 parafusos ao longo do vão efetivo



**Figura 10** Exemplo de ensaio de flexão estática de três pontos (A); Detalhe do relógio comparador utilizado na flexão estática de três pontos (B)

A influência dos fatores: frações de madeira de *Pinus elliottii* tratada com CCB [%h] (33,33%, 50%), número de parafusos [NS] (3, 5, 9, 17, 33) e a interação entre estes nos valores do produto de rigidez na flexão estática ( $EI$ ) foram avaliadas por meio da análise de variância (ANOVA), considerada ao nível de 5% de significância ( $\alpha$ ). O Quadro 1 apresenta os 10 tratamentos ( $T_i$ ) experimentais investigados nesta pesquisa, provenientes das combinações dos níveis dos dois fatores investigados.

Da análise de variância, a hipótese nula ( $H_0$ ) consistiu na equivalência das médias entre os tratamentos, e não na de pelo menos duas médias como hipótese alternativa ( $H_1$ ). Pela proposição da ANOVA, P-valor inferior ao nível de significância implica refutar  $H_0$ , e de aceitá-la em caso contrário. A normalidade na distribuição dos valores dos produtos de rigidez na flexão estática e a homogeneidade das variâncias dos tratamentos (validação da ANOVA) foram avaliadas com o auxílio dos testes Anderson-Darling e de Bartlett, respectivamente, ambos ao nível de 5% de significância. Pela formulação dos testes, P-valor superior a 5% implica que a distribuição nos valores do  $EI$  é normal e que a variância dos tratamentos é homogênea, validando os resultados da ANOVA.

Considerados significativos os fatores individuais pela ANOVA, nos valores do  $EI$ , o teste de Tukey, também em nível de 5% de significância, foi utilizado para o devido agrupamento dos níveis do fator. No teste de Tukey, "A" denota o grupo de maior valor médio, "B" o grupo de segundo maior valor médio e assim sucessivamente. Letras iguais significam grupos com médias estatisticamente equivalentes. Gráficos de efeitos principais e de interação de fatores foram também utilizados como forma de auxiliar na interpretação dos resultados.

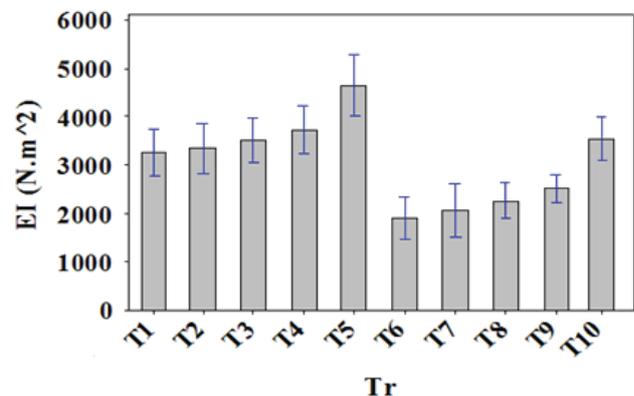
Para o grupo das madeiras reparadas com 33,33% e com 50% de madeira de *Pinus elliottii* modelos de regressão quadráticos foram utilizados na estimativa dos valores do produto de rigidez na flexão em função do número de parafusos autoatarrachantes utilizados. Os modelos de regressão foram também avaliados via ANOVA ao nível de 5% de significância. Pelas hipóteses formuladas, P-valor inferior ao nível de significância implica que o modelo gerado é significativo, e não significativo em caso contrário. A qualidade dos ajustes foi medida pelo coeficiente de determinação ajustado ( $R^2_{adj}$ ).

### 3 Resultados e discussão

O Quadro II apresenta os valores médios e os coeficientes de variação ( $Cv$ ) dos valores do produto de rigidez na flexão estática referentes aos dez tratamentos experimentais distintos. Na Figura 11 consta o gráfico com os valores médios e os respectivos intervalos de confiança para 95%.

**Quadro II** Valores médios e coeficientes de variação dos produtos de rigidez

Tratamento	$EI$ ( $N \cdot m^2$ )	$Cv$ (%)
1	3273,294	9,1
2	3354,116	9,8
3	3509,025	8,2
4	3731,285	8,3
5	4647,269	8,6
6	1892,583	14,4
7	2067,698	16,8
8	2269,753	10,2
9	2532,425	7,2
10	3542,700	7,8



**Figura 11** Gráfico com valores médios e intervalos de confiança

Conforme esperado, o acréscimo do número de parafusos autoatarraxantes como elementos de solidarização entre as duas peças proporcionou crescente aumento nos valores do produto de rigidez à flexão.

As Figuras 12 e 13 apresentam os resultados dos testes de validação da ANOVA.

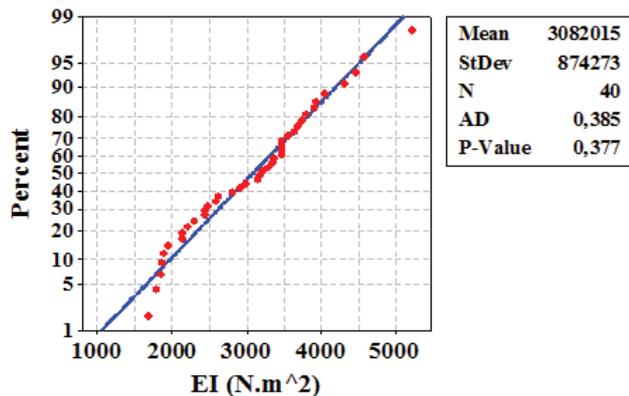


Figura 12 Resultados dos testes de validação da ANOVA: normalidade

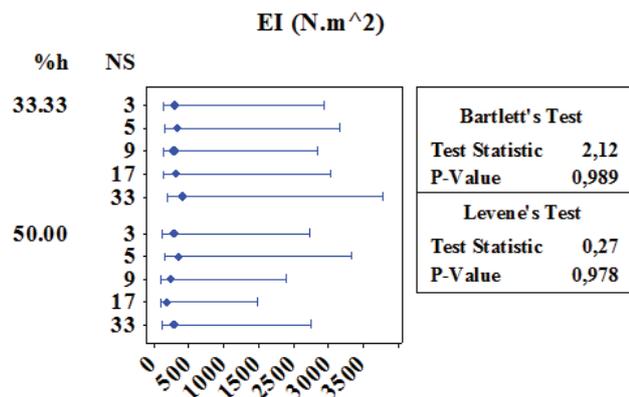


Figura 13 Resultados dos testes de validação da ANOVA: homogeneidade de variâncias

Das Figuras 12 e 13, os P-valores dos testes de normalidade e de homogeneidade de variâncias foram superiores ao nível de significância (0,05), validando o modelo da ANOVA.

O Quadro III apresenta os resultados da ANOVA do planejamento fatorial para os valores da rigidez na flexão estática das peças testadas, sendo *DF* os graus de liberdade, *Seq SS* a soma dos quadrados, *Adj SS* a soma dos quadrados ajustados, *Adj MS* a média dos quadrados ajustados, *F* é a estatística de Fisher, P-valor é a probabilidade *P* e *%h × NS* é a interação entre os dois fatores avaliados.

Do Quadro III, ambos os fatores individuais foram considerados significativos pela ANOVA (P-value < 0,05), o mesmo não ocorreu com relação à interação entre estes. O Quadro IV apresenta os resultados do teste de Tukey para os dois fatores e as Figuras 14 e 15 ilustram os gráficos dos efeitos principais.

Quadro III Resultados da ANOVA do planejamento fatorial para os valores do *EI*

Source	DF	Seq SS	Adj SS	Adj MS	F	P
%h	1	1,54248E+13	1,54248E+13	1,54248E+13	173,59	0,000
NS	4	1,16200E+13	1,16200E+13	2,90499E+12	32,51	0,000
%h × NS	4	83938846087	83938846087	20984711522	0,23	0,917
Error	30	2,68111E+12	2,68111E+12	89370254344		
Total	39	2,98098E+13				

Quadro IV Resultados do teste de Tukey

Fator	%h			NS				
	33,33%	50,00%		3	5	9	17	33
<i>EI</i> (N*m <sup>2</sup> )	3702,998	2461,032	2582,938	2710,907	2889,389	3131,855	4094,985	
Group	A	B	B	B	B	BA	A	

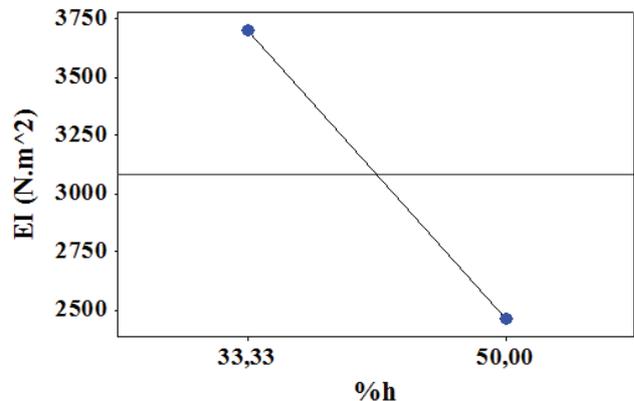


Figura 14 Gráfico de efeitos principais para os valores dos produtos de rigidez na flexão: %h

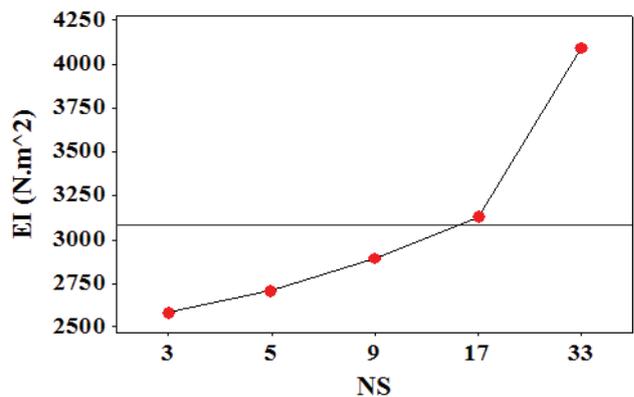


Figura 15 Gráfico de efeitos principais para os valores dos produtos de rigidez na flexão: NS

Do Quadro IV pode-se observar que os maiores valores do produto de rigidez à flexão, em ambas retiradas (33,33% e 50%), foram provenientes do uso de 33 parafusos autoatarraxantes, seguidos pelo uso de 17 parafusos e, por final, 9, 5 e 3 parafusos. A Figura 15 auxilia na visualização do comportamento de crescimento no produto de rigidez, com nível de significância de 5%, implicando na validade do modelo da ANOVA.

As Figuras 14, 16 e 17 (expostas a seguir) comprovam a hipótese inicial de que, conforme aumenta a substituição da madeira original pelo *Pinus elliottii* tratado com CCB, menor é o produto de rigidez final, tendo em vista que a substituição é realizada com peça de espécie com propriedade de rigidez inferior.

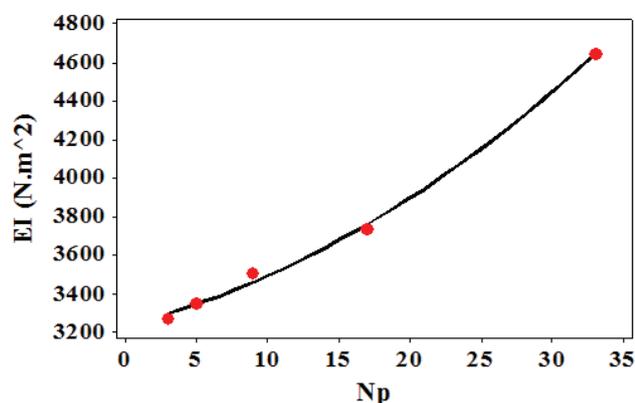


Figura 16 Gráfico dos modelos de regressão:  $IE = f(NS)$  para  $\%h = 33,33\%$

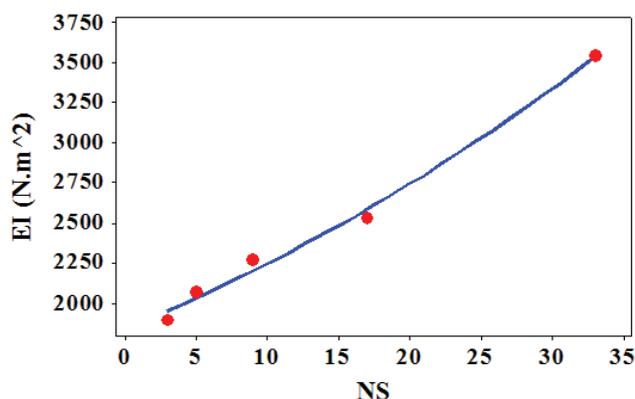


Figura 17 Gráfico dos modelos de regressão:  $IE = f(NS)$  para  $\%h = 50\%$

Quadro V Resultados dos modelos de regressão quadráticos

Modelo para $\%h = 33,33\%$	P-Valor	$R^2 Adj$
$EI = 3237307 + 18484 \cdot NS + 730,1 \cdot NS^2 \cdot 10^{-3}$	0,000	99,4
Modelo para $\%h = 50\%$	-	-
$EI = 1840989 + 35806 \cdot NS + 469,7 \cdot NS^2 \cdot 10^{-3}$	0,000	98,5

O Quadro V apresenta os resultados dos modelos de regressão quadráticos para a estimativa dos valores dos produtos de rigidez na flexão em função dos números de parafusos para as vigas com 33,33% e 50% de madeira de *Pinus elliottii*, e as Figuras 16 e 17 apresentam os gráficos dos ajustes obtidos.

Cabe registrar ao fim desta discussão de resultados que o presente artigo faz parte de uma pesquisa maior que ainda está em fase de desenvolvimento. Nesta pesquisa, cuja experimentação envolve outras composições de peças inclusive elementos estruturais de grande porte, será apresentado um modelo analítico que permite a generalização dos resultados. A partir desse estudo mais aprofundado será possível aceder a todos os resultados e descartar problemas de escala que poderão ocorrer na aplicação prática.

O que se pretendeu com este artigo foi demonstrar (mesmo que considerando os resultados de apenas uma das fases do planejamento experimental) que é possível, sim, recuperar parte significativa da rigidez à flexão das peças compostas, cuja solidarização se processou de modo simples, rápido e pouco custoso. Além disso, fazer uma análise da interação entre o produto de rigidez e o número de parafusos para o caso aqui abordado.

## 4 Conclusões

Pode-se concluir que o aumento de 33,33% para 50% nas frações de madeira de *Pinus elliottii* tratada com CCB proporcionou redução significativa nos valores do EI. Além disso, o aumento progressivo do número de parafusos autoatarraxantes conferiu aumentos significativos nos valores da rigidez na flexão, e a interação entre os dois fatores não foi considerada significativa pela ANOVA. Os resultados da ANOVA dos modelos de regressão para as peças com substituição de 33,33% e de 50% de madeira de *Eucalyptus grandis* evidenciaram a boa precisão dos ajustes quadráticos utilizados na estimativa dos valores do EI em função do número de parafusos, cujos valores dos coeficientes de determinação foram superiores a 98%.

Vale destacar também que os tratamentos T1, T2 e T3, assim como os tratamentos T6, T7 e T8, foram equivalentes estatisticamente. Os tratamentos T5 e T10 apresentaram melhor produto de rigidez em relação aos demais tratamentos, e o aumento do número de parafusos além deste causaria uma diminuição no produto de rigidez, devida à fissuração da madeira prevista em norma quanto ao espaçamento mínimo. Portanto este é o melhor tratamento possível.

Desta forma, considerou-se que neste caso os tratamentos que utilizaram 33 parafusos demonstraram ser a melhor opção. Seguido dos tratamentos que utilizam 3 parafusos, considerados aqui os mais viáveis, tendo em vista que os tratamentos intermediários (entre 3 e 33 parafusos) não apresentam melhora estatística no produto de rigidez, evitando assim desperdício de parafusos autoatarraxantes.

## Referências

- [1] ABNT, NBR. 7190:1997 – *Design of timber structures*. Rio de Janeiro, Brazil. 1997.

- [2] Cruz, H.; Nunes, L. – *A madeira como material de construção*. Núcleo de Estruturas de Madeira. Laboratório Nacional de Engenharia Civil. 2015.
- [3] Bertolini, M. S.; Macedo, L. B.; Almeida, D. H.; Icimoto, F. H.; Rocco Lahr, F. A. – *Restoration of Structural Timber Elements Using Epoxy Resin: Analysis of Mechanical Properties*. Advanced Materials Research (Online), v. 778, p. 582-587. 2013.
- [4] Abreu, L. B. de – *Ensaio não destrutivo para avaliação da integridade de elementos estruturais de madeira em construções históricas*. 134f. Tese (Doutorado em Ciência e Tecnologia da madeira) – Curso de Pós-Graduação em Ciência e Tecnologia da Madeira, Universidade Federal de Lavras, Lavras. 2010.
- [5] Miotto, J. L.; Dias, A. A. – *Reforço e recuperação de estruturas de madeira*. Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina, v. 27, n. 2, p. 163-174. 2006.
- [6] Silva, M. R.; Machado, G. O.; Calil, J. C.; Deiner, L. J. – *Permeability measurements of Brazilian Pinus elliottii*. Wood Research, Bratislava, v. 53, n. 03, p. 47-56. 2008.