

DORMENTES DE MLC REFORÇADOS PARA USO EM FERROVIAS BRASILEIRAS

GLULAM SLEEPERS REINFOCED FOR USED IN BRAZILIAN RAILWAYS

Felipe H. Icimoto ⁽¹⁾, Fabiane S. Ferro ⁽²⁾, Carlito Calil Júnior ⁽³⁾

(1) MSc. Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

(2) MSc. Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

(3) Dr. Prof., Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos, Brasil

Endereço de contato: felipe.icimoto@gmail.com

Código de identificação: T4-17

Resumo

Os dormentes são elementos de grande importância na via férrea, com a função de receber as cargas produzidas pelos veículos ferroviários e transmiti-las ao lastro. No Brasil a maioria os dormentes são feitos de madeiras tropicais, como Maçaranduba, Aroeira, Ipê, Jacarandá e etc. No entanto com os problemas ambientais devido a exploração ilegal destas espécies, as madeiras de florestas plantadas como o Eucalyptus, vem sendo utilizadas para produção de dormentes. A madeira de florestas plantadas de Pinus tem como característica o crescimento rápido, facilidade de usinagem e excelente retenção de tratamento preservante contra intempéries e microorganismos xilófagos. Este trabalho tem o objetivo de avaliar o ganho, da adição de fibra de vidro, nas propriedades mecânicas de dormentes de Madeira Laminada Colada feitos com madeira de Pinus comparando os valores obtidos com os valores recomendados pela norma Brasileira ABNT NBR 7511/2013: Dormentes de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio, a qual foi baseada na norma Americana AREMA/2009 – Manual for Railway Engineering.

Palavras chave: dormentes de madeira laminada colada; dormentes de madeira; Pinus sp.; espécies de florestas plantadas; reforço de fibra de vidro

Abstract

Sleepers are structural elements of great importance in the railroad, with the purpose to receive the loads of railway vehicles and transmit them to the ballast. In Brazil most of the sleepers are from tropical hardwoods, as Maçaranduba, Aroeira, Ipê, Jacarandá, etc. Recent environmental problems due to illegal exploration of these species, the use of reforestation wood from plantation forests, such as Eucalyptus, are in progress. Pinus, wood also used in reforestation and are characterized by the fast growth, very easy to machining and excellent retention of preservative treatment against weatherproof and wood decay microorganisms. This paper aims to evaluate the gain of addiction of Fiber glass in the mechanical properties of Glulam sleepers manufactured with Pinus sp. and compare the values obtained with the standard values of the Brazilian Standard NBR7511/2013: Wood sleepers — Requirements and test methods, based on the American Standard AREMA/2009 - Manual for Railway Engineering.

Keywords: glulam sleepers; wood sleepers; Pinus sp.; planted forests species; glass fiber reinforcement

1. INTRODUÇÃO

No mundo existem vários tipos de sistemas de transporte. Os mais utilizados são o rodoviário, o ferroviário, o aéreo e o marítimo. A viabilidade de uso destes modais depende das características e requisitos do material a ser transportado e outros fatores como, por exemplo, distancia de transporte [1].

A ferrovia promove um baixo custo de transporte de produtos, sendo um diferencial para impulsionar a economia de uma nação.

O Brasil é o quinto maior país do mundo em extensão territorial com 8,51km quadrados [2]. A malha ferroviária brasileira é composta de 27.000 km de extensão com 13 operadoras de transporte de cargas e 980 km de extensão para 16 operadoras de transporte de passageiros, transportando 2,7 bilhões de passageiros em 2013 [3].

A ferrovia é constituída de duas partes, a infraestrutura e a superestrutura. Um dos mais importantes componentes da superestrutura é o dormente (Figura 1) com a função de receber as cargas produzidas pelos veículos ferroviários e transmiti-las ao lastro, amortecer parcialmente as vibrações, dar suporte aos trilhos, permitir a fixação e manter invariável a distancia entre eles (bitola), isolamento elétrico e alta durabilidade [4].

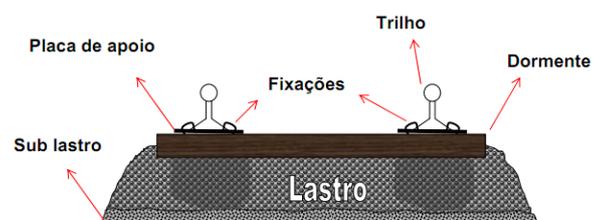


Figura 1: Superestrutura ferroviária.
Fonte: Adaptado de [1].

Atualmente os dormentes são feitos de madeira, concreto, aço e polímeros.

A principal vantagem dos dormentes de madeira é sua adaptabilidade. Eles podem ser fixados em todos os tipos de trilhos da via férrea. Dormentes de madeira são trabalháveis, fáceis de manipular, fácil substituição e não precisa de equipamentos robustos para instalação, aumenta o conforto da viagem para os passageiros, reduz os danos no caso de descarrilamento, reduz os efeitos dinâmicos sobre a estrutura da base, minimiza o ruído e as vibrações [5,6].

No Brasil a maioria dos dormentes são feitos de madeiras tropicais, como Maçaranduba, Aroeira, Ipê, Jacarandá e etc. No entanto com os problemas ambientais devido a exploração ilegal das espécies tropicais, as madeiras de florestas plantadas como o Eucalyptus, vem sendo utilizadas para produção de dormentes [7].

Não existem registros do uso da madeira de Pinus serrado para uso como dormentes no Brasil, provavelmente devido à baixa resistência e rigidez para este tipo de aplicação estrutural.

Uma das maneiras de aplicar o Pinus como elemento estrutural é utilizando a técnica da Madeira Laminada Colada (MLC), promovendo usos dos quais não era possível anteriormente.

A resistência a flexão de vigas de MLC pode ser aumentada de 61% com a adição de 1,1% de fibra de vidro (GFRP) até 119% com a adição de 3,3% de GFRP e a rigidez pode ser aumentada até 17% [8].

Recentes pesquisas estão apresentando o uso de compósitos como um material alternativo para aplicação em dormentes ferroviários. Estes desenvolvimentos podem ser divididos em: novos dormentes feitos com a combinação de materiais com compósitos de fibra e dormentes já existentes envolvidos com compósitos de fibra [9].

Este trabalho tem o objetivo de avaliar o comportamento da adição de fibra de vidro nas propriedades mecânicas de dormentes de MLC produzidos com madeira de Pinus sp. colados com

adesivo fenol resorcinol Cascophen LT-5210 comparando os resultados obtidos com os valores da norma Brasileira ABNT-NBR7511 – Dormentes de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio [10], a qual é baseada na norma Americana AREMA:2009 Manual for Railway Engineering [11].

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Este estudo foi desenvolvido no Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeiras (LaMEM), Departamento de Estruturas (SET) na Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), da Universidade de São Paulo (USP), localizado na cidade de São Carlos, Estado de São Paulo, Brasil.

O programa experimental compreendeu na avaliação das propriedades físicas e mecânicas de dormentes maciços (DM), dormentes de MLC sem reforço (DS) e dormentes de MLC reforçados com fibra de vidro (GR). A tabela 1 apresenta os tipos de dormentes testados.

Tabela 1: Dormentes avaliados

Dormentes de Pinus	Símbolo	Amostras
Maciço	DM	6
MLC sem reforço	DS	6
MLC reforçado	DR	6

Os dormentes DM e DS foram feitos com madeira de *Pinus oocarpa* provenientes da cidade de Catalão, estado de Goiás e as lamelas para produção dos dormentes de MLC foram feitos com *Pinus sp.* provenientes da cidade de Itararé, estado de São Paulo. Ambos tratados com CCA.

Os dormentes possuíam dimensão nominal de 2000 mm x 160 mm x 220 mm (comprimento, altura e largura respectivamente).

As lamelas para fabricação dos dormentes de MLC foram classificadas visualmente de acordo com o projeto de norma Brasileira ABNT PN 02:126.10-0001-1 Madeira: Classificação Visual e Mecânica [12], elaborado pelo Comitê Brasileiro de Estruturas de Madeira ABNT CE 02:126., utilizando 3 classes visuais: S1, S2 e S3.

Os dormentes tinham 7 camadas, na camada superior e inferior da seção transversal foram utilizadas lamelas S1 devido serem as regiões de maior sollicitação mecânica na flexão (tração e compressão), na segunda e penúltima camadas usadas lamelas S2 e nas 3 camadas centrais (sollicitação de cisalhamento) usadas lamelas S3. Uma camada de fibra de vidro bi-direcional com gramatura de 200g/m² (equivalente a 0,31% da área da seção transversal) foi aplicada entre as duas lamelas superiores e entre as duas lamelas inferiores (S1 e S2) como mostra a Figura 2.



Figura 2: Posicionamento da fibra de vidro e das lamelas de acordo com a classificação visual.

Geralmente o reforço é aplicado somente na região inferior do elemento para aumentar a resistência e rigidez na flexão, mas neste estudo foi inserida uma camada de reforço na região superior do dormente para contribuir para resistência ao arrancamento de tirefão (parafuso que fixa o trilho no dormente).

Os dormentes foram ensaiados 15 dias depois de produzidos para completa cura do adesivo.

2.1 Caracterização dos dormentes

As propriedades mecânicas investigadas: resistência (MOE) e rigidez (MOR) na flexão e resistência ao arrancamento normal de tirefão (R_{a90}), foram caracterizadas de acordo com a norma Brasileira ABNT NBR 7511: 2013 – Dormentes de Madeira - Requisitos e Métodos de Ensaio.

A qualidade da colagem dos dormentes de MLC (ensaio de delaminação) foi investigada de acordo com as recomendações da nova proposta brasileira para Madeira Laminada Colada, PN 02: 126.10-0001-5 Madeira Laminada Colada: Métodos de Ensaio, desenvolvido pelo Comitê Brasileiro de Estruturas de Madeira da ABNT, CE 02: 126 [13].

A propriedade física de densidade (ρ) foi caracterizada seguindo a metodologia da norma Brasileira ABNT NBR7190: 1997 - Projeto de estruturas de madeira - Requisitos e métodos de ensaio [14].

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Nesta seção os resultados obtidos estão apresentados em valores médios.

Os valores de densidade (ρ) dos dormentes foram comparados com a madeira de *Pinus oocarpa* encontrados na norma Brasileira ABNT NBR 7190:1997 – Projetos de Estruturas de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio (Figura 3).

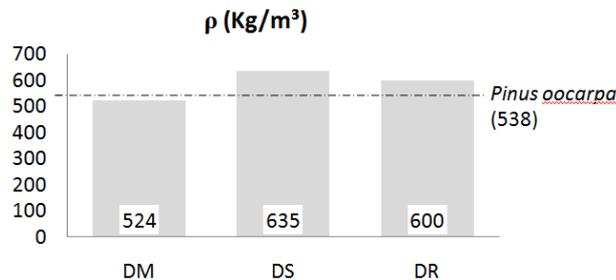


Figura 3: Densidade

Os dormentes de MLC apresentaram densidade superior em relação ao dormente maciço devido à classificação das lamelas que os compõem. Os valores de densidade entre DS e DR estão muito próximos, se diferenciando em 5%.

A norma Brasileira de dormentes, ABNT NBR 7511:2013 Dormentes de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio estabelece duas classes para resistência e rigidez para as propriedades mecânicas, apresentadas pela tabela 2.

Tabela 2: Valores da ABNT NBR7511: 2013

NBR7511	Classe	Propriedades Mecânicas		
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	R_{a90} (kN)
NBR7511	Classe I	13000	50	30
	Classe II	10000	40	25

Fonte: ABNT NBR 7511:2013

A Figura 4 apresenta os valores da norma Brasileira e os resultados obtidos para a propriedade de rigidez à flexão dos dormentes.

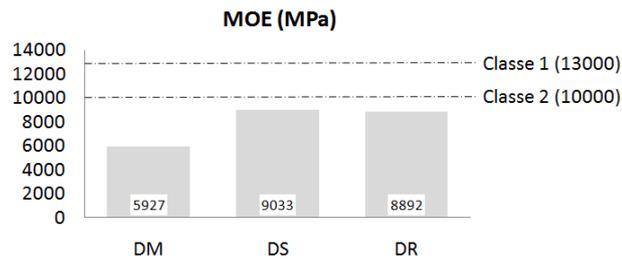


Figura 4: Resultados de rigidez à flexão (MOE).

Os dormentes não atingiram os valores mínimos de MOE estabelecidos pela ABNT NBR 7511:2013 – Dormentes de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio. Comparados com a classe II os resultados dos dormentes maciços (DM) estão 41% inferiores, os dormentes sem reforço (DS) estão 10% inferiores e os dormentes reforçados (DR) 11% inferiores. Apesar de o valor entre DS e DR serem muito próximos (variação de 1,5%), o fato dos dormentes DS serem, feitos com *Pinus oocarpa* e os dormentes DR com *Pinus sp.* pode ter influenciado nos resultados, isso pode ser justificado pela densidade, como pode ser observado, o gráfico de MOE (Figura 4) tem o mesmo comportamento do gráfico de densidade (Figura 3). Portanto neste trabalho o reforço de fibra de vidro não foi suficiente para aumentar a rigidez à flexão.

A Figura 5 apresenta os valores da norma Brasileira e os resultados de resistência à flexão (MOR) para os dormentes testados.

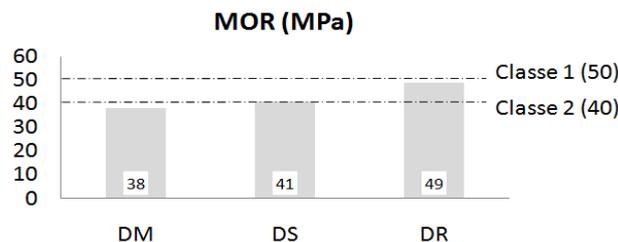


Figura 5: Resultados de resistência à flexão (MOR).

Para o MOR pode ser observado que os dormentes DR praticamente atingiram os valores para classe I, foram 20% mais resistentes aos dormentes sem reforço e 29% mais resistentes aos dormentes maciços, justificando o uso de fibra de vidro como reforço para esta propriedade. Os dormentes DS atingiram a classe II e o DM não atingiu os valores mínimos para a propriedade investigada.

A Figura 6 apresenta os resultados para o arrancamento de parafuso na direção normal as fibras.

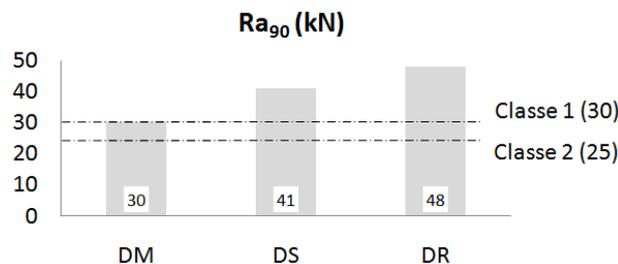


Figura 6: Resultados de arrancamento de parafuso.

Para a propriedade Ra₉₀ os dormentes de MLC superaram os valores para a classe I, os dormentes DR apresentaram resultados 17% superiores aos dormentes sem reforço e 60%

superiores aos dormentes maciços. Já os dormentes DM apresentaram valor muito próximo do mínimo para a classe I.

A Figura 7 apresenta o resumo dos resultados das propriedades mecânicas comparados com os valores da norma Brasileira ABNR NBR 7511:2013 – Dormentes de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio.

Propriedades	DM	DS	DR	
(MOE)	Red	Red	Red	■ Atingiram Classe I ■ Atingiram Classe II ■ Não atingiram
(MOR)	Red	Yellow	Yellow	
(Ra ₉₀)	Green	Green	Green	

Figura 7: Resumo dos Resultados.

Os resultados mostram que até 0,31% de reforço não foi suficiente para contribuir positivamente para todas as propriedades analisadas. De acordo com a literatura para se obter um ganho na resistência e rigidez à flexão são necessários de 1% à 3,3% (na área da seção transversal) de reforço de fibra de vidro[8]. Para a propriedade de resistência ao arrancamento de parafuso a medula é um problema para manter a fixação nos dormentes de *Pinus* maciço, não tendo problemas nos dormentes de MLC devido qualidade superior das lamelas classificadas.

A tabela 3 apresenta os resultados do teste de delaminação.

Tabela 3: Resultados de delaminação

Dormentes	Delaminação	%
DS	0	0
DR	0	0

O ensaio de delaminação mostrou que todos os dormentes não sofreram abertura na linha de cola, não ocorrendo problemas na interação entre madeira tratada com CCA-adesivo-fibra de vidro.

4. CONCLUSÕES

A madeira de *Pinus oocarpa* e *Pinus sp.* plantados no Brasil tratados com CCA, colados com adesivo a base de fenol-resorcinol (Cascophen LT-5210) e o reforço de fibra de vidro apresentaram boa interação entre si, não apresentando problemas na qualidade da colagem durante o teste de delaminação.

As propriedades limitantes para os dormentes maciços de *Pinus oocarpa* são a resistência e rigidez à flexão. Os dormentes de MLC com e sem reforço superaram a classe II na resistência à flexão, contudo o reforço contribuiu positivamente para o ganho de resistência desta propriedade. Para o arrancamento de parafuso os dormentes maciços atingiram o valor mínimo da classe I, os dormentes reforçados e sem reforço superaram os valores da classe I, entretanto o reforço contribuiu significativamente para o aumento de resistência nesta propriedade.

As amostras não atingiram os valores mínimos de MOE para classe II, mostrando a importância da classificação mecânica das lamelas em conjunto com a classificação visual para montagem de dormentes de MLC.

Com o objetivo de aumentar a rigidez à flexão, bem como a capacidade de fixação do tirefão, será necessário, nas próximas pesquisas, o aumento gradual da quantidade de fibra de vidro em relação a área da seção transversal até o recomendado pela bibliografia, no limite de 3,3%.

Recomenda-se a realização de um trabalho produzindo dormente somente com lamelas de classificação visual S1 com também a utilização de outras espécies de madeira.

Dormentes de MLC com reforço de fibra de vidro podem ser eficazes para diminuir a variabilidade natural da madeira.

Com mais pesquisas e desenvolvimentos, a Madeira Laminada Colada como uma alternativa para a produção de dormentes, pode ampliar o uso de madeira de reflorestamento em aplicações onde a madeira tropical é usada.

AGRADECIMIENTOS

Os autores deste trabalho agradecem a Universidade de São Paulo (USP), a Escola de Engenharia de São Carlos (EESC), ao Laboratório de Madeiras e Estruturas de Madeira (LaMEM) do Departamento de Engenharia de Estruturas (SET), o Departamento de Engenharia de Materiais (SMM) e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES).

REFERÊNCIAS

- [1] Porto, T. G., 'Ptr 2501- Ferrovias. Universidade de São Paulo', (2004). <http://www.poli.usp.br/d/ptr0540/download/ApostilaNova.pdf>.
- [2] World atlas. 'Os maiores países do mundo', (2016). Disponível em: <http://www.worldatlas.com>
- [3] Revista Ferroviária. 'Anuário RF 2014', São Paulo, 225p, (2014).
- [4] Brina, H. L., 'Estradas de ferro 1 via permanente'. LTC: Livros Técnicos Científicos S.A. Rio de Janeiro. Capítulos 1 e 5, (1979).
- [5] Röthlisberger. History and development of the wooden sleeper. [s.i.], 2013. Disponível em: <http://www.corbat-holding.ch/CMS/default.asp?ID=1816>
- [6] Zarembski, A.M., 'Concrete vs. wood ties: Making the economic choice'. In: Conference on maintaining railway track: determining cost and allocating resources, 1., 1993, Arlington, VA, EUA. **Anais...** (1993).
- [7] Icimoto F.H., Ferro F.S., Molina J.C., Segundinho P.G.A., Calil Jr. C., 'Dormentes de Pinus: ensaios de flexão de acordo com a proposta de ensaios da revisão da norma ABNT NBR 7511/2005'. In: Encontro brasileiro de madeiras e estruturas de madeira, EBRAMEM, 13., 2012, Vitória, ES, Brasil. **Anais...** Vitória, ES: UFES (2012). 9p.
- [8] Dagher H. J., Abdel-magid B., Lindyberg R. F., Poulin J., Shaler S. M., 'Static bending test results of Douglas fir and western hemlock FPR-reinforced glulam beams. AEWG Rept. No. 98-4, University of Maine', (1998).
- [9] Manalo A., Aravinthan T., Karunasena W., Ticolau A. 'A review of alternative materials for replacing existing timber sleepers'. Composite Structures, 92 (2010) 603-611.
- [10] Associação Brasileira de Normas Técnicas. 'ABNT NBR 7511: Dormentes de Madeira – Requisitos e Métodos de Ensaio'. Rio de Janeiro (2013) 24p.
- [11] American Railway Engineering and Maintenance-of-way Association. 'AREMA: 2009 Manual for Railway Engineering – Ties'. Lanham (2009).
- [12] Comitê Brasileiro de Estruturas de Madeira. CE-2:126.10. PN 02:126.10-0001-1 'Madeira: Classificação Visual e Mecânica' (2015) (proposta de norma).
- [13] Comitê Brasileiro de Estruturas de Madeira. CE-2:126.10. PN 02:126.10-0001-5 'Madeira Laminada Colada: Métodos de Ensaio' (2015) (proposta de norma).
- [14] Associação Brasileira de Normas Técnicas. 'ABNT NBR 7190: Projetos de Estruturas de Madeira - Requisitos e métodos de ensaio'. Rio de Janeiro (1997) 107p.