



## Anais do 10º Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira - EBRAMEM 2006

30 de Julho a 02 de Agosto, São Pedro – SP

CEVEMAD/UNESP - IBRAMEM

### ESTUDO DE UM COMPÓSITO DE SERRAGEM E POLIURETANO PARA CONFECCÃO DE DORMENTES FERROVIÁRIOS

Aline Carreno Ribeiro ([aline\\_carreno@yahoo.com.br](mailto:aline_carreno@yahoo.com.br), [acribeiro@aluno.feis.unesp.br](mailto:acribeiro@aluno.feis.unesp.br))

José Antônio Matthiesen ([matth@dec.feis.unesp.br](mailto:matth@dec.feis.unesp.br))

Universidade Estadual Paulista – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira

**RESUMO:** A reestruturação do modal ferroviário incluem melhorias, fato esse que tem seu início na substituição dos dormentes deteriorados de madeira. O estudo do compósito serragem + poliuretano derivado do óleo de mamona, para a produção de dormentes ferroviários utilizando a serragem das espécies Eucalypto Citriodora (*Eucalyptus citriodora*) e Pinus Taeda (*Pinus taeda*) madeiras de reflorestamento, teve sua idéia embasada na real possibilidade de confeccionar dormentes, sem afetar o meio-ambiente, aproveitando os rejeitos da madeira como serragem. Para isso se fez necessário um conhecimento mais aprimorado das características físico-mecânicas que classificam as qualidades da madeira. Ensaio realizados de acordo com a NBR 7190/97 – Projeto de estruturas de madeira – tiveram como melhor resultado para a compressão simples, módulo de elasticidade e massa específica aparente o corpo-de-prova confeccionado com 30% de poliuretana em relação a massa de serragem e 80 kg/cm<sup>2</sup> de pressão de compactação. Estudou-se a variação da composição granulométrica da serragem e verificou-se que a resistência do compósito independe do tamanho dos grãos. Desta forma, pode-se trabalhar com a serragem sem peneirar. Com o traço do compósito já definido, realizou-se uma pesquisa verificando os ensaios de dormente ferroviários (texto da NBR-7118). Pesquisou-se a influência da absorção da água nos c.p.s, a relação de sua resistência mecânica em c.p.s secos e saturados e essa relação com c.p.s expostos por 2 meses às intempéries. Os resultados obtidos com os ensaios foram satisfatórios de acordo com o texto da NBR-7118, podendo o compósito ser trabalhado dentro da Classe II de madeira para dormente.

**Palavras-chave:** aglomerado de madeira, poliuretano, óleo de mamona, dormente.

### STUDY OF A COMPOUND OF SAWDUST AND POLYURETANE FOR MAKE RAILWAYS SLEEPERS

**Abstract:** The restructure of railways model includer improves, it has its begin with the substitution of deteriorated wooden sleepers. The study of the compound sawdust + polyuretane derived from the oil castor for production of railways sleepers using sawdust of the species Eucalyptus citriodora (*Eucalyptus citriodora*) and Pinus taeda (*Pinus taeda*), woods of reforestation, had its idea based on the real possibility of making sleepers without affecting the environment, making good wie of the rejects of wood as sawdust. It made necessary a know ledge more improved of the characteristics physical-mechanical that classifier the quality of the wood. Tests made in accord to the NBR 7190/97 – Project of the wooden structure – had as the best result to a simple comprehension, module of elasticity and apparent specific mass of the corpus-of-test made with 30% of polyurethane in relation with the sawdust mass and 80 K/cm<sup>2</sup> of compactation pressure. It was studied the variation of the granulometrical composition of the sawdust and it was verified that the resistance of the compound is independent of the size of the grains. By this way, it was possible to work with the sawdust without sifting. With the trace of the compound already defined, it was made a search checking the test of the railways sleepers (text of NBR-7118). It was search the influence of the absorption of the water in the c.t.s, the relation of its mechanical resistance on the dry and satured c.t.s, and this relation with the exposed c.t.s for 2 months to the bad weather. The results obtained with the test were satisfactory in accord to the text of NBR-7118, being possible to work the compound in Class II of wood for sleepers.

**Keywords:** wooden agglomerate, polyurethane, castor oil, sleeper.

## **1 – INTRODUÇÃO**

O uso dos produtos derivados de madeira tem-se expandido considerando-se que ocorre um maior aproveitamento da madeira e suas diversas aplicações. Um fator importante que viabiliza o desenvolvimento destes produtos é a possibilidade do uso de resíduos do processamento da madeira, sem perda da qualidade final do produto.

O aglomerado de madeira é um dos principais tipos de madeira reconstituída, que apresenta multiplicidade de usos e aplicações, tornando-a versátil e apropriada à utilização em larga escala. O aglomerado apresenta uma vantagem importante, ele não tem nós, veios ou rachaduras como a madeira maciça, que é um dos defeitos não tolerados pela NBR que classifica madeiras para dormentes ferroviários.

A combinação em estudo neste projeto é a da resina poliuretânica bicomponente derivada do óleo de mamona com a serragem da madeira Eucalipto Citriodora e Pinus Taeda, em variadas granulometrias, a fim de buscar um aglomerado em composição ideal, com relação a porcentagem de poliuretana, serragem e sua granulometria, que forneça resultados cabíveis às necessidades de confecção de um dormente.

### **1.1 Ferrovias**

Após a privatização das ferrovias os investimentos na malha ferroviária cresceram, aumentando o volume de encomendas às empresas ferroviárias.

As concessionárias de ferrovias pretendem investir R\$2,351 bilhões em 2006. O valor já foi aprovado pelos conselhos de administração das empresas e deve superar o recorde de 2005, de R\$ 2,1 bilhões. Segundo a ANTF, seis governos estaduais (Bahia, Espírito Santo, Minas Gerais, Paraná, Santa Catarina e Tocantins) planejam desenvolver projetos de engenharia para expandir as ferrovias. Todas essas informações mostram que o modal ferroviário voltou a ser um dos principais meios de transporte de cargas no Brasil, e que o estudo para confecção de dormentes tem um propósito ligado as exigências atuais do mercado.

Os dormentes ferroviários são classificados em 3 classes, sendo:

1ª Classe: madeiras de grande resistência físico-mecânica, podendo ser utilizadas, inclusive, nas linhas principais de tráfego pesado;

2ª Classe: madeiras de resistência físico-mecânica mediana, passíveis de aproveitamento nos desvios e pátios das linhas de tráfego pesado e nas linhas principais de tráfego médio;

3ª Classe: madeiras para utilização, de preferência, nas linhas de tráfego leve e muito leve.

A possibilidade de trabalhar com o compósito de serragem e poliuretana na produção de dormentes é relevante, e se faz necessário um conhecimento mais aprimorado das características físico mecânicas que classificam as qualidades da madeira.

O texto que substituirá a Norma 7511 – “Dormentes de Madeira” (ABNT 1982) e passará a ser a NBR 7118 – “Dormentes de Madeira”, cita que a madeira para produção de dormente deve se enquadrar nas características mostradas no quadro da tabela 1.

Tabela 1: Quadro com os valores mínimos de propriedades da madeira para dormente. Fonte: Texto – NBR 7118.

Propriedade	Símbolo	Unidade	Valores Mínimos	
			Classe I	Classe II
1 Densidade de massa aparente	$\rho_{ap}$	Kg/m	750,00	600,00
2 Dureza Janka	fH	Mpa	50,00	40,00
3 Resistência ao cisalhamento	fv0	Mpa	10,00	8,00
4 Resistência à tração Normal	ft90	Mpa	7,50	5,00
5 Resistência Ao fendilhamento	fS0	Mpa	0,90	0,70
6 Índice de coesão	Ic	–	3,00	2,00
7 Dureza + Res. Cisalhamento + Res. Tração normal + Res. Fendilhamento	–	–	85,00	65,00

## 1.2 Situação real das ferrovias:

Na estação ferroviária de Presidente Prudente (trecho entre Presidente Epitácio e Ourinhos), no interior de São Paulo, fotografou-se a precariedade dos dormentes, como ilustrado a seguir na figura 1:



Figura 1: Dormentes na Estação Ferroviária de Presidente Prudente

Os desgastes vistos acima podem acarretar o não espriamento correto das tensões, prejudicando a via férrea como um todo. Desse modo verifica-se a necessidade de manutenção e troca dos dormentes.

## 2. MATERIAIS

### 2.1 Serragem da madeira

A serragem utilizada da espécie Eucalipto Citriodora teve as seguintes granulometrias: material composto apenas por serragem que passa na peneira #20, material composto por 50% retido na peneira #16 misturado com 50% passante na peneira #20 e por fim serragem sem peneirar. Para o estudo com a espécie pinus utilizou-se material composto apenas por serragem que passa na peneira #20 e serragem sem peneirar. A serragem foi produzida através de pedaços de madeira.

Na figura 2, são ilustradas as granulometrias da serragem:

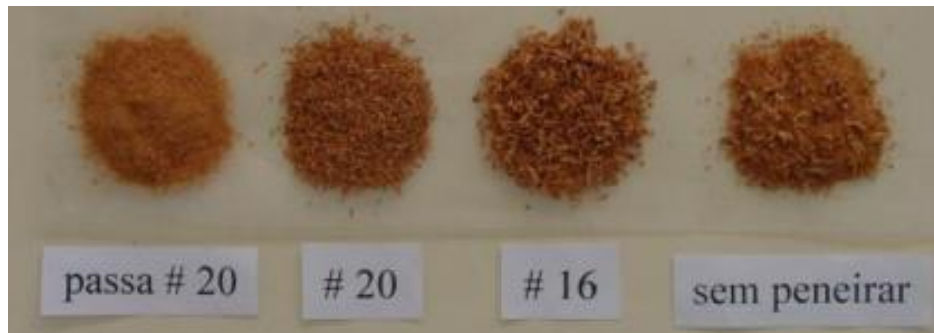


Figura 2: Serragem de eucalipto com várias granulometrias utilizadas.

## 2.2 Poliuretana bicomponente derivada do óleo de mamona:

Conhecida internacionalmente como “Castor Oil” e aqui no Brasil por Caturra o óleo de mamona tem importantes aplicações industriais e sua matéria-prima a mamona é facilmente encontrada na maioria das regiões do país.

A partir deste recurso natural e renovável é possível sintetizar polióis e prepolímeros que quando misturados a frio levam a reação de polimerização, que por sua vez conduz a reação da poliuretana (bicomponente). Segundo JESUS (2000) este polímero apresenta a característica de poder ligar-se à cadeia de celulose por meio de seus radicais livres, sua combinação resulta numa peça com resistência igual ou superior ao de uma peça maciça de madeira.

MARIN (2002) em sua pesquisa, analisou o tempo de secagem do polímero por meio de um estudo com espectrometria no infravermelho, verificando sua estabilização. Em sua pesquisa, ela disponibilizou 15 dias para a secagem da poliuretana e ainda conclui que a proporção do póliol com o prépolímero que apresentou melhor resultado foi a de 1:1 (maior resistência e menor deformação).

A poliuretana é composta pelos componentes: Prepolímero 253 e póliol 351 na proporção 1:1. A porcentagem utilizada em relação a massa de serragem foi 20% e 30%, dependendo da composição. A poliuretana foi cedida pelo Departamento de Química da Usp - São Carlos.

## 2.3 Materiais de apoio:

Tubos de PVC roscável parede grossa ( $\phi$  4mm) para água – dimensões de 9,0 cm de altura e 3,9 cm de diâmetro; base de acrílico; silicone multiuso – desmoldante; balança analítica; célula de carga de 5 toneladas;; atuador hidráulico; medidor de deformação; prensa universal de ensaios.

## 3. MÉTODOS

Toda a serragem utilizada foi trabalhada com umidade abaixo de 12%, ou seja, seca ao ar, pois este tipo de poliuretana utilizada, pode apresentar reações se entrar em contato com a água.

### 3.1 Confeção dos corpos-de-prova (C.p.s)

Pesou-se separadamente o prepolímero e o póliol e misturando-os até a homogeneização total, dando origem a poliuretana.

Despejou a poliuretana no recipiente com a serragem já pesada. Misturou-se com uma colher de metal de 5 a 10 minutos e em seguida com a mão para verificar a homogeneidade. A mistura aparentava estar seca, porém com uma granulometria maior do que a inicial.

Despejou-se, aos poucos, a mistura na fôrma de PVC e compactou-a na prensa em camadas até alcançar o topo da fôrma. O compósito permaneceu na prensa por 45 minutos, tempo em que a poliuretana deixava de reagir e de expandir o corpo-de-prova. Após 15 dias da moldagem, os c.p.s foram ensaiados em uma prensa universal.

Todos os corpos-de-prova do estudo foram confeccionados da mesma maneira e ensaiados no mesmo período de secagem

### **3.2 Ensaio de compressão simples e módulo de elasticidade**

A finalidade deste ensaio é verificar qual composição do material mais se aproxima dos valores apresentados na norma, para posteriormente adotá-lo como traço do compósito. O corpo-de-prova utilizado teve as dimensões de um c.p. para compressão simples, seguiu as recomendações da NBR 7190/97 e foi confeccionado apenas com serragem que passa na peneira #20.

### **3.3 Ensaio de compressão simples e módulo de elasticidade – granulometria variada**

Este ensaio tem o intuito de verificar a influência da granulometria da serragem na resistência mecânica do compósito. O método utilizado é o mesmo citado acima, diferenciando agora a granulometria da serragem, que apresentou 3 variações. O estudo foi realizado para a espécie Eucalipto Citriodora.

### **3.3 Confeção e ensaio dos c.p.s de tração**

Os c.p.s de tração foram confeccionados de acordo com os padrões citados pela NBR 7190/97. Realizou-se a compactação em 6 camadas, já que a fôrma apresentava 35 cm, até deixa-lo por 45 minutos na prensa. Foi necessário efetuar a compactação em pórticos, já que a estrutura anterior do atuador hidráulico não comportava a altura da fôrma.

Após 10 dias, os c.p.s foram trabalhados no torno, de maneira a apresentarem as características propostas pela norma. Os ensaios de tração foram realizados de acordo com a NBR 7190/97. A seguir na figura 3, é apresentado os c.p.s torneados antes e depois de serem ensaiados:

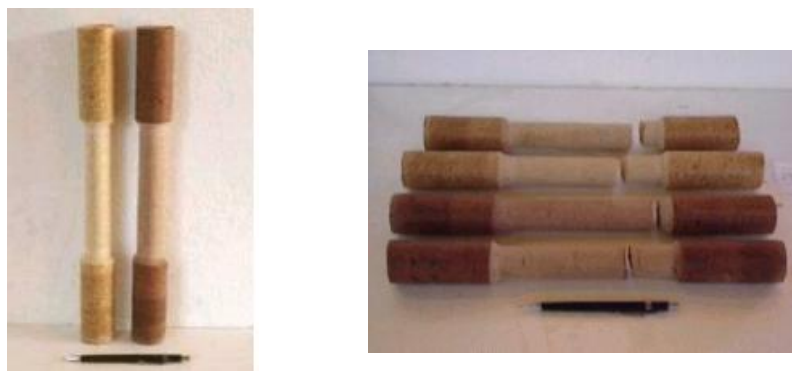


Figura 3: C.p.s de tração antes e após ensaio.

### 3.4 Confeção e ensaio dos c.p.s de cisalhamento

Os corpos-de-prova de cisalhamento por dificuldade de montagem, foram adaptados aos moldes existentes, fugindo um pouco do proposto pela norma, ajustando as dimensões para o formato cilíndrico, maneira que o compósito é moldado. A compactação foi realizada em 3 camadas, obtendo um c.p. de 8 cm que foi dividido em 2 c.p.s de cisalhamento ( $h=3$  cm). Após 10 dias os c.p.s foram cortados e lixados de maneira a apresentar as características do ensaio.

O ensaio foi realizado de acordo com a NBR 7190/97. A seguir é ilustrado na figura 4, os c.p.s de cisalhamento antes do ensaio e rompido:

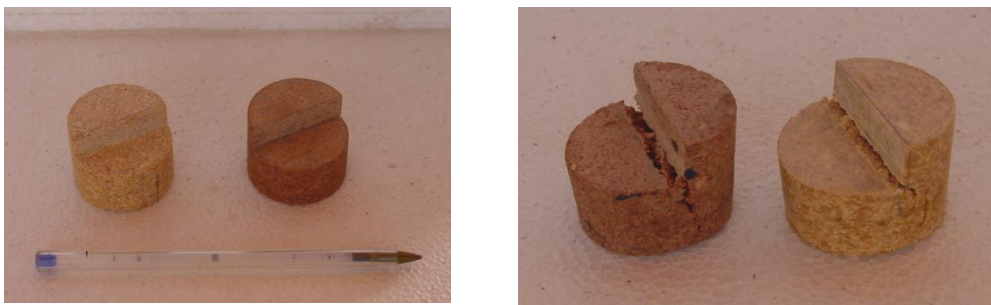


Figura 4: C.p.s de cisalhamento antes e após ensaio.

### 3.5 Confeção e ensaio dos c.p.s de dureza

Os c.p.s de dureza foram confeccionados com as dimensões propostas pela norma, ajustando as dimensões para o formato cilíndrico, que é a maneira que o compósito é moldado. O corpo-de-prova foi moldado em 5 camadas, resultando em 15 cm de altura. Os procedimentos de ensaio seguiram a NBR 7190/97. A seguir na figura 5, é ilustrado os corpos-de-prova antes e após ensaio:

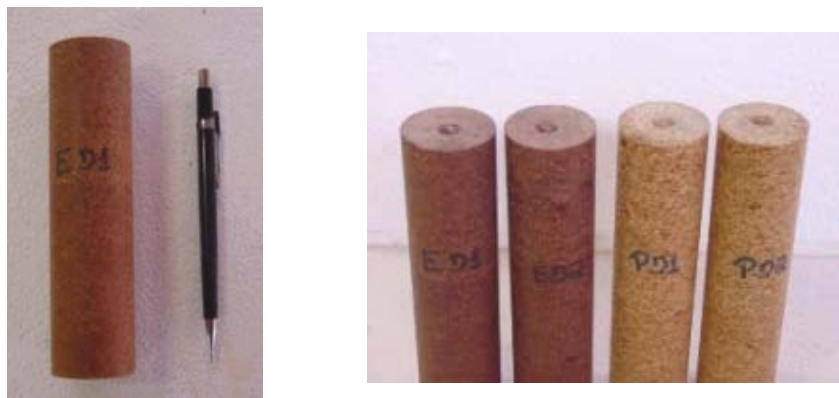


Figura 5: C.p.s de dureza antes e após realização do ensaio.

### 3.8 Ensaio de absorção

A finalidade desse estudo é avaliar o compósito, quanto a absorção e a variação de sua resistência mecânica na compressão simples em c.p.s secos e saturados.

Após sua secagem (15 dias) o compósito foi colocado em um recipiente com água para permanecerem submersos até estarem completamente saturados. Os c.p.s permaneceram submersos por 6 dias e logo após sua retirada da água foram ensaiados. A figura 6 apresenta, os c.p.s submersos e após ensaiados à compressão simples:



Figura 6: C.p.s submersos (detalhe: película de óleo na superfície da água) e após ensaio.

### 3.7 Ensaio de durabilidade em c.p.s expostos ao tempo

O ensaio proposto para a análise dos efeitos das intempéries ao compósito, apesar do tempo de exposição ser relativamente curto, tem a finalidade de avaliar sua variação da resistência à compressão simples. O terreno onde os c.p.s foram colocados foi preparado com brita, servindo como material drenante e impossibilitando contato direto dos c.p.s com o solo, simulando assim, a situação de trabalho de um dormente.

Foram expostos corpos-de-prova sem nenhum tipo de impermeabilização e corpos-de-prova impermeabilizados com 1 demão da própria poliuretana utilizada na sua confecção.

O compósito permaneceu 2 meses em exposição às intempéries antes de ser ensaiado. A seguir é ilustrado na figura 7 os c.p.s em exposição e após sua retirada do campo.



Figura 7: C.p.s no campo e c.p.s de Pinus 2 meses após exposição no tempo.

## 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

### 4.1 Compressão simples e módulo de elasticidade

Os valores do módulo de elasticidade foram obtidos por meio de gráficos feitos a partir dos resultados do ensaio de compressão simples. Da equação da reta melhor ajustada a curva Tensão x Deformação obteve-se o módulo de elasticidade.

Tabela 2: Ensaio de Compressão Simples – Pinus Taeda

C.P	%polímero	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Pruptura(kgf)	$f_c$ (MPA)	E (MPA)	$\bar{E}$ (MPA)
P4	20	40	0,658	860,0	7,06	157,09	173,02
P5	20	40	0,676	1160,0	9,52	188,96	
P6	30	40	0,834	2860,0	23,24	514,62	482,18
P7	30	40	0,858	3120,0	25,22	449,73	
P8	20	80	0,879	3900,0	31,37	544,38	519,18
P9	20	80	0,859	3890,0	31,45	494,01	
P10	30	80	0,932	5042,0	41,39	703,42	882,11
P11	30	80	0,932	5010,0	41,13	1060,8	

Tabela 3: Ensaio de Compressão Simples – Eucalipto Citriodora

C.P	%polímero	P (Kg/cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Pruptura(kgf)	$f_c$ (MPA)	E (MPA)	$\bar{E}$ (MPA)
E12	20	40	0,744	1120,0	9,05	600	579
E13	20	40	0,803	1540,0	12,48	558,01	
E14	30	40	0,880	2760,0	22,43	996,84	913,16
E15	30	40	0,845	2420,0	19,32	829,47	
E16	20	80	0,920	2680,0	22,11	922,1	892,56
E17	20	80	0,871	2240,0	18,11	863,02	
E18	30	80	0,970	4000,0	32,17	1177,5	1034,63
E19	30	80	0,932	3350,0	27,50	891,76	

Como o compósito estudado não possui fibras direcionadas, então vamos considerar o módulo de elasticidade para compressão normal às fibras ( $E_{C90}$ ) e de acordo com a norma esse valor pode ser adotado como  $E_{C,0}$  dividido por 20.

O módulo de elasticidade  $E_{C,0}$  apresentado pela norma para a espécie Pinus Taeda é obtido na classe C-30 das coníferas com valor de 14500 Mpa, onde resultaria  $E_{C90}$  igual a 725 MPa. Comparando este valor com os resultados do ensaio verifica-se que o compósito confeccionado com 30% de poliuretana e 80 kg/cm<sup>2</sup> de pressão de compactação, foi o de maior aproximação.

O módulo de elasticidade  $E_{C,0}$  apresentado pela norma para a espécie Eucalipto Citriodora é obtido na classe C-40 das dicotiledôneas com valor de 19500 MPa, onde resultaria  $E_{C90}$  igual a 975MPa. Comparando este valor com os resultados do ensaio verifica-se que o compósito confeccionado com 30% de poliuretana e 80 kg/cm<sup>2</sup> de pressão de compactação, foi o que apresentou melhor aproximação.

#### 4.2 Estudo de compressão simples e módulo de elasticidade – granulometria variada

Os valores apresentados abaixo são uma média aritmética dos melhores resultados obtidos no estudo do módulo de elasticidade em corpos-de-prova de granulometria variada, novamente 80 kg/cm<sup>2</sup> de pressão de compactação e 30% de poliuretana.

Tabela 4: Módulo de Elasticidade – Variação granulométrica – Eucalipto

Granulometria	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	$f_c$ (MPa)	E (MPa)
> # 20	0,951	29,84	1034,63
50% #16 e 50% > #20	0,96	31,52	883,70
sem peneirar	0,974	29,76	998,16

Pode-se verificar que os resultados não apresentam significativa diferença nas três grandezas apresentadas, o que mostra que as propriedades estudadas independem da granulometria da serragem e sim da percentagem de poliuretana e da pressão de compactação.

A partir deste ensaio, os corpos-de-prova foram confeccionados apenas com serragem sem peneirar.

#### 4.3 Estudo da tração

Tabela 5: Ensaio de tração

C.P.	área (cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Pruptura(kgf)	$f_t$ (MPa)	$\bar{f}_t$ (MPa)
ET4	7,116	1,056	320	4,41	5,04
ET5	6,923	1,038	400	5,67	
PT1	6,975	0,849	440	6,19	6,80
PT2	6,881	0,922	520	7,41	

Os corpos-de-prova, durante o ensaio, romperam onde existiam “lascas” maiores, pois tendo a lasca uma superfície mais lisa, a poliuretana tinha uma menor área de ação.

Os valores citados para tração na Norma para dormentes, descritos na introdução, estão entre 7,5 MPa (Classe I) e 5,0 MPa (Classe II), portanto verifica-se que o compósito pode ser utilizado dentro da Classe II, já que satisfaz o mínimo exigido pela norma.

#### 4.4 Estudo do cisalhamento

Tabela 6: Ensaio de Cisalhamento

C.P.	h (maior)	h(menor)	área cisal.(cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Pruptura(kgf)	$f_v$ (MPa)	$\bar{f}_v$ (MPa)
EC1	3,10	2,00	7,66	0,810	350	8,96	12,29
EC2	3,00	1,98	7,82	1,046	690	17,13	
EC3	3,00	1,91	7,30	0,996	420	10,78	
PC1	2,97	1,99	7,82	0,959	740	18,47	12,44
PC2	2,96	1,99	7,84	0,894	560	13,94	
PC3	2,90	1,97	8,27	0,609	210	4,90	

O ensaio mostrou que os c.p.s não apresentaram características de cisalhamento, pois o compósito é feito de partículas multidirecionadas e o cisalhamento ocorre paralelo às fibras. As características da deformação é de um efeito de esmagamento ou compressão normal às fibras.

Se adotarmos esses valores médios do ensaio como valores de cisalhamento, os mesmos encontram-se dentro dos valores de dormentes de Classe I ou na pior das hipóteses na Classe II, pois como citado no texto da norma 7118, os valores mínimos exigidos são: 10,0 MPA (Classe I) e 8,0 MPA (Classe II).

#### 4.5 Estudo da dureza

Tabela 7: Ensaio de Dureza Janka

C.P.	área (cm <sup>2</sup> )	$\rho$ (g/cm <sup>3</sup> )	Pruptura(kgf)	$f_H$ (MPa)	$\bar{f}_H$ (MPa)
ED1	0,68	1,05	1200	173,06	174,50
ED2	0,68	1,05	1220	175,94	
PD1	0,68	0,86	800	115,37	115,37
PD2	0,68	0,83	800	115,37	

Analisando os valores da tabela acima, verificou-se que o ensaio de dureza Janka forneceu valores elevados quando comparados com os mínimos exigidos pelo texto da NBR 7118. Podemos observar que, mesmo minorados, estarão dentro do intervalo necessário para a Classe I igual a 50 MPa e Classe II igual a 40 MPa.

#### 4.6 Estudo da absorção

No recipiente em que os c.p.s permaneceram submersos notou-se uma película de óleo na superfície da água. Acredita-se que a poliuretana desprende-se do compósito, criando vazios preenchidos pela água. No momento do ensaio verificou-se uma instabilidade volumétrica devido a essa água presente nos vazios. A seguir na tabela 7, são apresentados os resultados do ensaio:

Tabela 8: Ensaio de compressão simples – C.p.s saturados

C.P.	$\Delta U$ (%)	área (cm <sup>2</sup> )	Pruptura (kgf)	$f_c$ (MPa)	$\bar{f}_c$ (MPa)	$\bar{f}_c$ (MPa)
E1	14,41	12,13	3500	28,30	30,80	c.p.s secos
E2	13,46	12,07	3500	28,44		39,46
E3	12,98	12,38	4500	35,65		
P1	24,99	12,44	5250	41,39	43,55	44,25
P2	23,69	12,44	5200	40,99		
P3	18,64	12,19	6000	48,27		

Comparando a média das resistências dos c.p.s saturados com os c.p.s secos, podemos observar que os resultados são semelhantes para o Pinus e para o Eucalipto.

#### 4.7 Estudo da durabilidade em c.p.s expostos ao tempo

Visualmente, os c.p.s de eucalipto e pinus impermeabilizados não apresentaram alterações significativas após o período de exposição, já os sem impermeabilização apresentaram pequenas fissuras com o ganho e perda d'água. Os resultados mostraram uma melhor impermeabilização nos c.p.s de pinus, pois, sendo uma conífera, apresentou melhor absorção da poliuretana.

Para fins comparativos são apresentados na tabela 8, valores médios dos resultados do ensaio de compressão simples, para os c.p.s sem exposição ao tempo (secos), expostos ao tempo por dois meses, sem impermeabilização e com impermeabilização.

Tabela 9: Ensaio de compressão simples em c.p.s secos e expostos às intempéries

C.P.	$\bar{f}_c$ (MPa) secos	C.p.s expostos às intempéries	
		$\bar{f}_c$ (MPa) sem impermeabilização	$\bar{f}_c$ c (MPa) com impermeabilização
Eucalipto	39,46	36,78	34,18
Pinus	44,25	38,14	68,46

A variação de resistência no compósito de eucalipto não é muito acentuada, porém o compósito de pinus quando impermeabilizado apresenta um grande aumento na resistência devido a maior e melhor absorção da poliuretana.

## 5. CONCLUSÕES

Pode-se concluir que o estudo realizado com o compósito serragem/poliuretano variando a pressão de compactação e a percentagem de polímero teve como melhor resultado o corpo-de-prova confeccionado com 30% de poliuretana e 80 kg/cm<sup>2</sup> de pressão de compactação, apresentando resultados de compressão simples e módulo de elasticidade mais coerentes para a espécie utilizada e dentro das condições de um dormente.

O estudo dos corpos-de-prova confeccionados com granulometria variada da serragem de Eucalipto Citriodora demonstrou que os resultados não variaram significativamente, o que leva a concluir que as propriedades estudadas independem da granulometria da serragem e sim da percentagem de polímero e pressão de compactação na confecção do dormente.

Quanto ao estudo das solicitações mecânicas exigidas pelo texto da NBR 7118 - Dormentes de madeira (tração, cisalhamento, dureza), verificou-se que o compósito se enquadra nas condições mínimas e pode ser trabalhado como Classe II de madeira para dormente.

No estudo da absorção e durabilidade, os resultados dos ensaios de compressão simples, mostraram que ocorre pequena variação de resistência, não impossibilitando o uso do compósito para a finalidade em questão. A instabilidade volumétrica detectada no ensaio de absorção é uma situação em que o compósito estava saturado, situação esta difícil de ocorrer com um dormente, já que a brita em sua base serve como material drenante. Um estudo mais aprofundado quanto a durabilidade devido as intempéries é de vital importância para o sucesso da pesquisa.

Por fim, conclui-se que utilizar o compósito serragem + poliuretana derivada do óleo de mamona na confecção de dormentes ferroviários é uma alternativa viável e seu propósito de utilização é uma necessidade atual no mercado de transportes.

## 6. AGRADECIMENTOS

A FAPESP pela concessão da bolsa de auxílio à Iniciação Científica

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (1997). NBR 7190 – Projeto de Estruturas de Madeira. ABNT. Rio de Janeiro.

JESUS, J. M. H. de (2000). Estudo do Adesivo Poliuretano à Base de Mamona em Madeira Laminada Colada (MLC). São Carlos, SP. Dissertação de Doutorado – Escola de Engenharia de São Carlos.

Marin, C.P. (2002). Estudo da Proteção e Recuperação da Madeira, Utilizando Poliuretano Derivado do Óleo de Mamona. Ilha Solteira, SP. Relatório de IC apresentado a FAPESP – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira.

Texto em elaboração para a nova norma 7118 – Dormentes de Madeira. Origem: NBR 12803. CB-06 – Comitê Brasileiro Metro-Ferroviário. CE 06:100.01 – Comissão de Estudos de Dormente e lastro.

\_\_\_ Associação Nacional dos Transportes Ferroviários < Disponível em <http://www.antf.org.br/3/noticias.htm>> . <Acessado em 04/02/2006.