



DOUGLAS LAMOUNIER FARIA

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE SERINGUEIRA PARA
PRODUÇÃO DE MADEIRA LAMINADA COLADA**

**LAVRAS - MG
2018**

DOUGLAS LAMOUNIER FARIA

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE SERINGUEIRA PARA PRODUÇÃO DE
MADEIRA LAMINADA COLADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e nanocompósitos lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

Dra. Maria Alice Martins
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes
Coorientadores

**LAVRAS - MG
2018**

Ficha catalográfica elaborada pelo Sistema de Geração de Ficha Catalográfica da Biblioteca Universitária da UFLA,
com dados informados pelo(a) próprio(a) autor(a).

Faria, Douglas Lamounier.

Utilização da madeira de seringueira para produção de madeira laminada colada / Douglas Lamounier Faria. – 2018.

55 p. : il.

Orientador: José Benedito Guimarães Júnior.

Coorientadores: Maria Alice Martins; Rafael Farinassi Mendes.

Dissertação (Mestrado acadêmico) - Universidade Federal de Lavras, 2018.

Bibliografia.

1. Anatomia. 2. Densidade aparente. 3. Composição química. I. Guimarães Júnior, José Benedito. II. Martins, Maria Alice. III. Mendes, Rafael Farinassi. IV. Título.

DOUGLAS LAMOUNIER FARIA

**UTILIZAÇÃO DA MADEIRA DE SERINGUEIRA PARA PRODUÇÃO DE
MADEIRA LAMINADA COLADA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Biomateriais, área de concentração em Compósitos e nanocompósitos lignocelulósicos, para a obtenção do título de Mestre.

APROVADA em 30 de julho de 2018.

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes UFLA

Profa. Dra. Andréa Aparecida Ribeiro Corrêa UFLA

Profa. Dra. Juliana Ceccato Ferreira UFG

Prof. Dr. José Benedito Guimarães Júnior
Orientador

Dra. Maria Alice Martins
Prof. Dr. Rafael Farinassi Mendes
Coorientadores

**LAVRAS - MG
2018**

Ao Grande Arquiteto do Universo, a nossa eterna gratidão.

Ao meu pai, Vicente, à minha mãe Vera e a meu irmão Lucas, que estiveram sempre presentes, apoiando-me e me dando forças para que eu continuasse na luta durante esta etapa de minha vida. Sempre me senti seguro para continuar.

Aos amigos e colegas da UEPAM pela amizade.

A meu filho (sic) Smile, por todo companheirismo, lealdade, amor, carinho, alegria e tudo mais que um filho de quatro patas nos oferece.

AGRADECIMENTOS

À Universidade Federal de Lavras, pela oportunidade concedida.

Ao técnico de laboratório Carlos Henrique, por toda ajuda e muito prestativo na realização das amostragens.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

À CNPq e Fapemig pela ajuda com os laboratórios, salas de estudo e a todo tipo de manutenção realizada.

Às empresas Jowat do Brasil e Imperveg Poliuretano Vegetal pela doação dos adesivos.

Ao meu orientador José Benedito Guimarães Júnior por, gentilmente, ter-me ajudado e me guiado no decorrer deste trabalho.

À minha coorientadora Maria Alice Martins por toda a ajuda durante este trabalho.

Ao Prof. Dr. Francisco Antônio Rocco Lahr por todo auxílio para confecção das peças de madeira laminada colada.

À Dra. Maria Fátima do Nascimento (Fati) pela ajuda no trabalho em relação aos adesivos utilizados.

À Dra. Maria Alice Martins pela ajuda e esclarecimento de dúvidas no decorrer do trabalho.

Ao técnico de laboratório Arlei, pela ajuda nos trabalhos.

À nossa grande "mãe" Viviane, por todas as risadas, pelo excelente café, por sempre estar de bom-humor, mesmo nos dias mais sombrios.

No que diz respeito ao empenho, ao compromisso, ao esforço, à dedicação, não existe meio- termo. Ou você faz uma coisa bem feita ou não faz.

(Ayrton Senna)

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar as propriedades da madeira de seringueira (*Hevea brasiliensis*), tratada com preservativos à base de borato de cobre cromatado (CCB) e piretroide (Pentox) para produção de peças estruturais de madeira laminada colada. Seis árvores com idade próxima a 12 anos e diâmetro à altura do peito (DAP) maior que 25 cm foram obtidas. A composição química da madeira foi analisada (extrativos, lignina insolúvel, cinzas e holocelulose) e, após os tratamentos, foram realizadas observações da estrutura anatômica e determinação do pH, módulo de elasticidade (MOE), módulo de ruptura (MOR), resistência à compressão paralela, resistência ao cisalhamento, umidade de equilíbrio higroscópico, densidade aparente e retratibilidade. O tratamento preservativo com CCB foi realizado pelo método de substituição de seiva, enquanto o tratamento com Pentox foi realizado por pincelamento. As vigas de madeira laminada colada foram produzidas com 3 lamelas com dimensões de 6,0 x 2,0 x 120,0 cm por viga, num total de 5 peças por tratamento. Para fins de comparação, também foram produzidas amostras com madeira de seringueira não tratada. Dois adesivos diferentes (poliuretano vegetal e resorcinol-formaldeído) foram avaliados. As propriedades de MOE, MOR e resistência ao cisalhamento das amostras de madeira laminada colada foram determinadas. A madeira de seringueira apresentou teor de extrativos de 9,97% e lignina insolúvel de 25,84%. O tratamento com CCB causou um aumento significativo no pH da madeira. Além disso, a madeira de seringueira apresentou um índice de anisotropia maior que 1,5. Para as propriedades de MOE e resistência ao cisalhamento, foram obtidos valores de 6863,75, 6471,97, 6494,50 MPa e 10,89, 12,54, 9,41 MPa para a seringueira não tratada, com CCB e Pentox, respectivamente. Os valores de MOR e resistência ao cisalhamento das vigas de madeira laminada colada tratadas com Pentox e não tratadas não mostraram diferenças estatísticas para os dois tipos de adesivos. Para o MOE, não houve diferença estatística entre os tratamentos preservativos. Em geral, o tratamento com Pentox não prejudicou as propriedades da madeira laminada colada, enquanto o tratamento com CCB resultou em perda de resistência mecânica.

Palavras-chave: Anatomia. Densidade aparente. Composição química. Comportamento mecânico.

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) treated with preservatives based on chromated copper borate (CCB) and pyrethroid (Pentox) for production structural pieces of glued laminated timber. Six trees with age close to 12 years and diameter at breast height (DBH) higher than 25 cm were obtained. The chemical composition of the wood was analyzed (extractives, insoluble lignin, ashes and holocellulose) and after the treatments, observations were made on the anatomical structure, and the determination of pH, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), parallel compression strength, shear strength, hygroscopic equilibrium moisture, apparent density and shrinkage. The preservative treatment with CCB was performed by sap-displacement method, while Pentox treatment was performed by brushing. The beams of glued laminated timber were produced with 3 veneers with dimensions 6.0 x 2.0 x 120.0 cm by beam, in a total of 5 pieces per treatment. For comparison purposes, samples were also produced with untreated rubber wood. Two different adhesives (vegetal polyurethane and resorcinol formaldehyde) were evaluated. The properties of MOE, MOR and shear strength of the glued laminated timber samples were determined. The rubber wood showed extractives content of 9.97% and insoluble lignin of 25.84%. The treatment with CCB caused a significant increase in the pH of the wood. In addition, the rubber wood showed an anisotropy index higher than 1.5. For the properties of MOE and shear strength, values of 6863.75, 6471.97, 6494.50 MPa and 10.89, 12.54, 9.41 MPa were obtained for the rubber wood untreated, with CCB and Pentox, respectively. The values of MOR and shear strength for the glued laminated timber beams treated with Pentox and untreated did not show statistical differences for both types of adhesives. For MOE, there was no statistical difference between the preservative treatments. In general, treatment with Pentox did not impair the properties of glued laminated timber, while the treatment with CCB resulted in loss of mechanical strength.

Keywords: Anatomy. Apparent density. Chemical composition. Mechanical behavior.

LISTA DE FIGURAS

PRIMEIRA PARTE

Figura 1 - Madeira Laminada Colada.....	21
---	----

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Fig. 1 Treatment of the logs with CCB by the sap-displacement method.....	38
Fig. 2 Mean values obtained for shear strength and parallel compression strength for the treated and untreated rubber wood.	41
Fig. 3 Mean values obtained for MOE and MOR for the untreated and treated rubber wood.....	42
Fig. 4 A-F) Transversal sections of <i>Hevea brasiliensis</i> wood. A-C) Photomicrographs of <i>in natura</i> sections; D-F) Photomicrographs of permanent slides sections; A, D) untreated, vessels (v), fibers (F), rays (R), apotracheal axial parenchyma (arrow), growth layer (white arrow); B, E) Treated with Pentox, vessels (v), fibres (F), rays (R), apotracheal axial parenchyma (arrow), tylose (white arrow); C, F) Treated with CCB, vessels (V), vessels with tylose (white arrow), fibers (F), rays with CCB (black arrow), axial parenchyma with CCB (gray arrow). Scale bar: A-C= 200µm; D-F = 100 µm.....	43
Fig. 5 A-F) Tangential longitudinal sections of <i>Hevea brasiliensis</i> wood. A-C) Photomicrographs of <i>in natura</i> sections; D-F) Photomicrographs of permanent slides sections; A, D) untreated, vessel element (v), fibers (F), rays (white arrow), axial parenchyma (black arrow); B, E) Treated with Pentox, fibers (F), rays (white arrow), axial parenchyma (black arrow); C, F) Treated with CCB, rays cells with CCB (white arrow), rays without CCB (R), axial parenchyma (black arrow). Scale bar: A-E= 200µm; F = 100 µm.	44
Fig. 6 A-F) Radial longitudinal sections of <i>Hevea brasiliensis</i> wood. A-C) Photomicrographs of <i>in natura</i> sections; D-F) Photomicrographs of permanent slides sections; A, D) untreated, fibers (black arrow), rays (R), axial parenchyma (white arrow); B, E) Treated with Pentox, fibers with Pentox (black arrow), rays cells with Pentox (R), axial parenchyma (white arrow); C, F) Treated with CCB, rays (R), axial parenchyma (white arrow), crystals (black arrow). Scale bar: A-E= 200µm; F = 100 µm.	44

Fig. 7	Mean values obtained for shrinkage and anisotropy index for the untreated and treated rubber wood.*Dimensionless unit.	45
Fig. 8	Mean values obtained for MOR for the glued laminated timber produced. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.	46
Fig. 9	Mean values obtained for MOE for the glued laminated timber produced.	47
Fig. 10	Mean values obtained for shear strength on the glue line for the glued laminated timber produced. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.	48
Fig. 11	Mean values obtained for pH for the untreated and treated rubber wood. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.	49
Fig. 12	Chemical composition of the rubber wood.	50
Fig. 13	Mean values obtained for the moisture and apparent density for the untreated and treated rubber wood. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.	51

LISTA DE TABELAS

SEGUNDA PARTE – ARTIGO

Table 1 – Standards used for physical and mechanical tests on rubber wood.....	38
Table 2 – Experimental design.	40
Table 3 – Parameters for the production of the glued laminated timber beams.....	40

LISTA DE ABREVIATURAS

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
ANOVA	Análise de Variância
ASTM	American Society For Testing Materials
CCA	Arseniato de Cobre Cromatado
CCB	Borato de Cobre Cromatado
CCBS	Borato de Cobre Cromatado - tipo S
DAP	Diâmetro a altura do peito
IAWA	International Association of Wood Anatomists
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
MLC	Madeira Laminada Colada
MOE	Módulo de Elasticidade
MOR	Módulo de Ruptura
OSB	Oriented Strand Board
PAM	Produção Agrícola Municipal
PUR	Poliuretano

SUMÁRIO

	PRIMEIRA PARTE	14
1	INTRODUÇÃO	14
2	REFERENCIAL TEÓRICO	16
2.1	Madeira	16
2.1.1	<i>Hevea brasiliensis</i>	17
2.1.2	Preservação da madeira	18
2.1.2.1	Borato de Cobre Cromatado (CCB)	19
2.1.2.2	Piretroide	19
2.2	Madeira Laminada Colada (MLC)	20
2.2.1	Adesivos utilizados na produção de Madeira Laminada Colada	23
2.2.1.1	Resorcinol-formaldeído	23
2.2.1.2	Poliuretano vegetal	24
2.3	Fatores que afetam a qualidade da colagem	24
2.3.1	Características físico-químicas do adesivo	25
2.3.1.1	Viscosidade	25
2.3.1.2	Tempo de gelatinização (gel time)	25
2.3.1.3	Teor de substâncias sólidas	25
2.3.1.4	pH	26
2.3.2	Composição e características da madeira	26
2.3.2.1	Propriedades anatômicas	26
2.3.2.2	Propriedades físicas	27
2.3.2.3	Propriedades químicas	27
2.3.2.4	Propriedades mecânicas	29
3	CONSIDERAÇÕES	30
	REFERÊNCIAS	31
	SEGUNDA PARTE - ARTIGO	34
	ARTIGO 1 - STUDYING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF GLUED LAMINATED TIMBER PRODUCED WITH UNDEREXPLOITED RUBBER WOOD TREATED WITH PRESERVATIVES BASED ON CHROMATED COPPER BORATE (CCB) AND PENTOX	34

PRIMEIRA PARTE

1 INTRODUÇÃO

A seringueira é natural da Amazônia, e existem dez espécies, no Brasil, das onze conhecidas. Botanicamente, a seringueira é uma dicotiledônea do gênero *Hevea*, pertencente à família Euphorbiaceae, sendo espécies arbóreas e arborícolas (LIMA; TOURINHO; COSTA, 2000).

A área plantada com seringueira cresceu consideravelmente nos últimos anos no Brasil. Em 2005 a área plantada foi de 112.396 ha e passou para 156.066 ha em 2016 (INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE, 2016). A expansão do plantio de seringueira no país provoca um suprimento significativo da madeira dessa cultura, ao final de sua rotação (25-30 anos), o que leva ao interesse em estudos sobre essa matéria-prima. No Brasil, a madeira de *Hevea* obtida, ao final do ciclo produtivo do látex, é utilizada na maioria das vezes e, tradicionalmente, para uso como lenha, apesar de apresentar boas características de trabalhabilidade (colagem, cravação, perfuração, entre outras) e pode ser facilmente dobrada com o uso de vapor e facilmente tingida (EUFRADE JUNIOR et al., 2015).

A madeira de seringueira é viável para a produção de painéis de cimento, mostrando boa estabilidade dimensional, mesmo quando submetida à exposição à imersão em água (OKINO et al., 2004), painéis OSB, com propriedades que atingiram padrões mínimos de comercialização (OKINO et al., 2009) e painéis de partículas (MÜZEL et al., 2014). Analisando estes trabalhos, pode-se dizer que a madeira de seringueira apresenta potencial para diferentes usos, dentre eles, a produção de madeira laminada colada. É considerada um produto estrutural, formado pela associação de peças de madeira selecionadas dispostas de modo que as fibras sejam paralelas e coladas com adesivos sob pressão variando de 0,7 a 1,5 MPa (PFEIL; PFEIL, 2003). Uma das vantagens da madeira laminada colada é a melhor utilização que a união de peças de madeira de pequenas dimensões proporciona para a fabricação de vigas estruturais (SEGUNDINHO et al., 2013).

A madeira, por sua estrutura anatômica e composição química, é uma fonte de alimentação, para vários organismos xilófagos, causando uma perda econômica significativa (HU et al., 2013). Em razão deste problema, existem tratamentos preservativos que podem ser feitos para reduzi-lo e prolongar a vida útil da madeira (GERENGI et al., 2014). Entre esses tratamentos preservativos, há tratamentos solúveis em água, como os compostos por cobre,

cromo e boro (CCB) e Pentox, produzidos a partir de piretroides, ambos eficazes contra fungos e ataque de cupins.

Espera-se que o cromo no CCB proteja a superfície da madeira contra a degradação da luz UV, já que cobre e boro aumentam a resistência biológica da madeira por coincidência (PEYLO; WILLEITNER, 1995). Calil Neto et al. (2014), avaliando a influência de fatores do tipo madeira (pinho, teca, eucalipto), adesivo (Purbond e Cascophen) e tratamento (CCA e CCB), nas variáveis respostas à resistência ao cisalhamento e delaminação de madeira laminada colada, concluíram que o tratamento preservativo não altera as propriedades de colagem e resistência mecânica das vigas. Para o tratamento com Pentox, seu efeito na colagem e resistência mecânica da madeira laminada colada ainda é desconhecido.

Neste contexto, este trabalho propõe avaliar as características anatômicas, químicas, físicas e mecânicas da madeira de *Hevea brasiliensis*, especificamente o clone RRIM 600, tratado com CCB e Pentox, visando à produção de madeira laminada colada utilizando os adesivos resorcinol-formaldeído e poliuretano à base de óleo de mamona.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Madeira

Dentre os principais materiais utilizados na confecção de estruturas destaca-se a madeira, por ser um material de fonte renovável e de excelente relação resistência/densidade, chegando a ser quatro vezes superior à do aço (CALIL NETO et al., 2014).

Nos últimos anos, por grande preocupação com o impacto ambiental, sustentabilidade e necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade, juntamente com o avanço na tecnologia dos adesivos, ocorreram também grandes avanços nos produtos derivados da madeira, principalmente, pela possibilidade do emprego de madeiras provenientes de florestas plantadas, tornando esses produtos ecologicamente corretos, propiciando assim novos campos de aplicação e garantindo um sólido mercado consumidor. Além da redução dos agravos ambientais, os produtos engenheirados de madeira proporcionam um menor uso da madeira maciça e praticamente a utilização de 100% de matéria-prima para sua manufatura (CALIL NETO et al., 2014).

Durante muitos séculos, a madeira foi considerada como o material de construção predominante. Este material natural foi usado em uma variedade de construções. As principais vantagens da madeira são a leveza, a facilidade de fabricação de peças de madeira e a simpatia ambiental. As principais desvantagens da madeira são a sua vulnerabilidade ao fogo e ao clima úmido em condições (TSALKATIDIS, 2014).

A madeira é um dos materiais estruturais mais antigos utilizados pelo homem na construção de edificações. No entanto verificou-se, nas últimas décadas, uma quase total substituição da sua utilização como material estrutural pelo concreto armado e pelo aço, tendo passado a madeira apenas a ser utilizada em elementos secundários e revestimentos. Agora e, à medida que vai crescendo uma tomada de consciência para as questões de preservação do nosso planeta, o impacto ambiental dos materiais de construção torna-se cada vez mais um critério de escolha, tomando níveis de importância quase tão elevados como o preço e a qualidade.

A madeira constitui, atualmente, o único material de construção estrutural oriundo de uma fonte de regeneração contínua, a floresta, desde que sejam adaptadas regras para a sua utilização e reflorestação.

A tecnologia moderna aumentou a durabilidade da madeira, estimulou uma série de novos produtos, como madeira compensada, aglomerado e outros de painel. Em grande parte

removeu as laminações de tamanho e o processo de laminagem e de cola, desenvolveu-se, melhorou sua solidez com maior capacidade de carga. Em muitos produtos de construção, porém, ainda utiliza-se madeira no seu estado cru. A madeira é um material que foi introduzido no mercado da construção, nos últimos 20 ou mais e está atualmente sendo amplamente utilizada sob a forma de madeira serrada, que são pedaços de madeira cortados dos troncos de árvores. Árvores maduras, principalmente aquelas com folhas verdes, folhas semelhantes a agulhas, são as fontes de estrutura da madeira; o tronco, quando cortado, representa um registro a partir do qual a madeira é serrada. Como é verdade para outros materiais de construção, produtos de madeira, incluindo madeira serrada, estão disponíveis em uma série de qualidades (notas) e em uma série de tamanhos (ISSA; KMEID, 2005).

2.1.1 *Hevea brasiliensis*

Embora seja uma planta de origem amazônica, a parte do Brasil onde hoje crescem mais seringueiras não é a Amazônia, mas um conjunto formado pelo Noroeste do Estado de São Paulo, o Oeste do Triângulo Mineiro e o Nordeste do Mato Grosso do Sul, região que alia ótimas condições climáticas, alta densidade demográfica e um grande mercado consumidor. Esta inversão que parece desafiar a noção de “vocação natural” tem causas agronômicas e econômicas (SOMAIN; DROULERS, 2016).

A seringueira, pertencente ao gênero *Hevea*, da família Euphorbiaceae possui a *Hevea brasiliensis* (Willd. ex ADR. de Juss.) Muell.-Arg. como a espécie mais importante do gênero (GONÇALVES et al., 2002).

Hevea brasiliensis é uma planta de ciclo perene de origem tropical, cultivada e utilizada de modo extrativo, com a finalidade de produção de borracha natural (CAMPELO JÚNIOR, 2000). A partir da saída de seu habitat, passou a ser cultivada em grandes monocultivos, principalmente, nos países asiáticos.

Hoje o Estado de São Paulo é o maior produtor nacional de borracha natural. De acordo com os dados da Produção agrícola municipal (PAM) publicados pelo IBGE, em 2014, para uma produção nacional de borracha de 320.649 toneladas, São Paulo contribuiu com 185.274 toneladas, ou seja, 58%, seguido pelos Estados da Bahia, com 48.482 t (15%), de Mato Grosso com 28.857 t, (9%), Minas Gerais com 22.916 t (7%), Goiás com 15.066 t (5%) e Espírito Santo com 11.458t (4%) (IBGE, 2014).

2.1.2 Preservação da madeira

Para o tratamento preservativo da madeira, há vários métodos, sendo o de substituição da seiva de fácil operacionalidade e baixo custo. Esse método preventivo consiste em dispor madeira recém-abatida, contendo boa proporção de alburno, disposta verticalmente, com a base submersa em um recipiente com preservativo hidrossolúvel (HUNT; GARRATT, 1967). Para evitar que a solução preservativa se evapore, recomenda-se colocar uma fina camada de óleo sobre ela.

Freitas (1973) pontua que o intervalo de tempo entre as operações de abate e o tratamento não deve exceder a 48 horas. No entanto Galvão (1969) afirma que o intervalo de tempo entre essas operações deve ser de, no máximo, 24 horas.

Esse procedimento é de intensa importância, porque a madeira, quando viva, possui uma quantidade de água em seu xilema e floema (tecidos vasculares condutores de água e também de alimentos), assim, logo que vai para o abate e é abatida, tende a perder água pelo simples processo de evaporação.

Outro ponto que se deve considerar é que, para realizar o tratamento químico da árvore pelos processos citados acima, a madeira ainda tem que estar saturada, visto que os compostos químicos vão substituir a seiva natural da árvore, fazendo com que os produtos químicos adentrem a madeira ainda saturada, substituindo totalmente a seiva e, por fim, dependendo do tipo de produto químico utilizado, a madeira tenderá a ficar com uma coloração esverdeada, porém, em excelentes condições.

Vale salientar que todo esse procedimento é para proteção da madeira contra agentes xilófagos, como insetos e afins, que tendem a apodrecer e inviabilizar a madeira da árvore. Nesse caso, os insetos, mais conhecidos como "brocas", adentram na casca da árvore até o seu interior, deixando a casca da árvore numa situação oca.

Apesar de inúmeras vantagens, a madeira apresenta alterações indesejáveis, em sua estrutura e propriedades, decorrentes da ação de agentes físicos, químicos e, em especial, dos biológicos, principalmente, quando é utilizada em contato direto com o solo ou com a água. Por ser um material de natureza orgânica e, no estado em que é normalmente utilizada, a madeira já não apresenta vida, estando sujeita à deterioração. Os agentes físicos, químicos e biológicos, atuando em conjunto ou separadamente na madeira, aceleram seu processo de deterioração. Esse problema pode ser atenuado quando se realiza o tratamento preservativo na madeira.

2.1.2.1 Borato de Cobre Cromatado (CCB)

Em consequência de suspeitas de existir demasiada volatilização do arsênio, em determinados tipos de ambientes, em que a madeira é utilizada, surgiram preocupações sobre a exposição do usuário da madeira tratada com o produto CCA. Embora muitas pesquisas comprovem não haver riscos de contaminação de solo por lixiviação deste elemento químico (especialmente, em áreas de playgrounds), a sua volatilização ainda é encarada com preocupação, particularmente, em ambientes fechados que necessitam de calefação por tempo prolongado. Supõe-se que, em tais ambientes, além da volatilização do arsênio ser promovida por efeito do aquecimento artificial, não ocorre adequada renovação do ar (com alto teor deste contaminante), pela necessidade de manter a temperatura que se consegue pelo sistema de aquecimento de forma econômica. Pelas hipóteses acima, iniciaram-se pesquisas objetivando a substituição do arsênio do CCA, dando origem ao produto conhecido como CCB, que começou a ser comercializado na Alemanha no início dos anos 60. A combinação de cromo e boro com sais metálicos teve o início de seu desenvolvimento e uso na Alemanha, por Wolmann, em 1913 (MORESCHI, 2013).

O preservativo CCB é um produto alternativo ao CCA, tendo como diferença a utilização do elemento boro em substituição ao arsênio. Afora a diferença em sua composição com o uso do CCB, há uma sensível perda na resistência da lixiviação, especialmente, para madeiras instaladas no tempo e em contato com a água ou solo úmido por prazos prolongados. Contudo, em situações em que não ocorram fatores favoráveis, há uma lixiviação rápida do produto o qual é bastante efetivo.

2.1.2.2 Piretroide

Os preservativos de ação prolongada mais utilizados atualmente são o Creosoto, CCA, CCB e Pentaclorofenol e são responsáveis por 80% da madeira tratada mundialmente (LAVERDE, 2007). Embora tenham uma eficiência inegável, o uso destes produtos tem gerado grandes problemas do ponto de vista ambiental, tais como: contaminação do lençol freático, do solo e dos rios por meio da lixiviação, provocando danos à saúde, principalmente, das pessoas que os manipulam, além de apresentarem um custo elevado.

Os inseticidas piretroides são compostos químicos sintéticos, que têm origem na piretrina, um éster do ácido crisantêmico produzido pelas plantas do gênero *Chrysanthemum*,

usados para preservação de madeira. São indicados para controle dos insetos como brocas e cupins que atacam a madeira.

2.2 Madeira Laminada Colada (MLC)

A MLC surgiu, há mais de 100 anos, como produto industrial na Alemanha e, desde então, vem sendo utilizada em todos os tipos de estruturas, de pontes a residências, de estádios a edifícios. Utilizando-se pequenos pedaços de madeira, para formar uma peça maior, resistente e durável, a MLC permite um uso racional das florestas plantadas, garantindo assim a sustentabilidade no fornecimento. A fabricação da MLC reúne duas técnicas bastante antigas e, como o próprio nome indica, foi concebida, a partir da técnica da colagem aliada à técnica da laminação, ou seja, da reconstituição da madeira a partir de lamelas (neste caso, entendidas como tábuas).

A MLC é um produto engenheirado que consiste em uma das formas de utilização da madeira, preferencialmente de reflorestamento, que há vários anos vem sendo estudada no Brasil. Normalmente, as madeiras mais adequadas para o emprego em MLC são as de reflorestamento como as coníferas e algumas dicotiledôneas (folhosas).

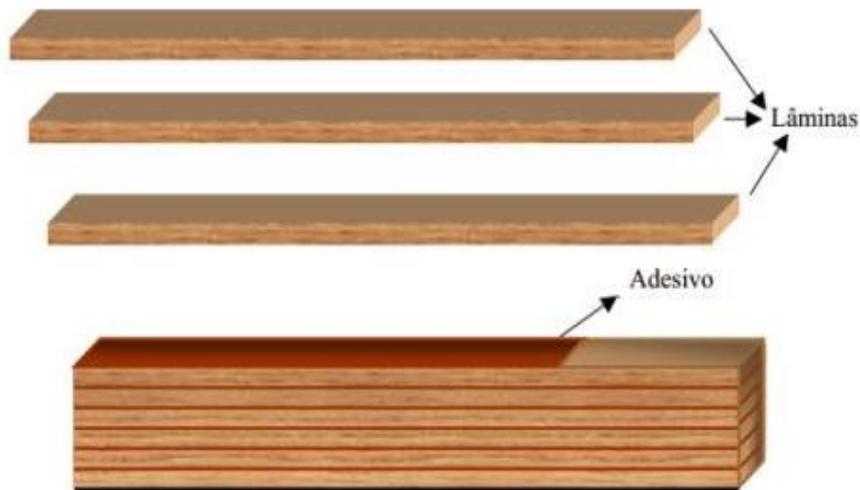
A MLC é formada basicamente por tábuas de madeira unidas longitudinalmente e depois coladas umas sobre às outras. Além disso, na produção de elementos de MLC, são necessárias lâminas grandes, as quais são obtidas por emendas dentadas. Vale mencionar que a geometria dos elementos estruturais de MLC, principalmente nas regiões das conexões, eleva o estado de tensões em níveis máximos, conduzindo a falhas localizadas dos materiais para valores de carga de serviço (FIORELLI; DIAS, 2006).

A utilização de elementos estruturais de MLC requer um estudo experimental das combinações entre a espécie de madeira e o adesivo utilizado (MOLINA; CALIL NETO; CHRISTOFORO, 2016).

Para o adequado aproveitamento da madeira como material estrutural, é indispensável o conhecimento das suas características de resistência e de rigidez. Isto deve ocorrer com todas as espécies, inclusive as alternativas, cujo potencial seja mais promissor, consideradas as múltiplas possibilidades de uso. Entre estes usos, vem ganhando cada vez mais espaço, no mercado internacional, com reflexos imediatos na construção civil brasileira, o emprego de elementos estruturais de MLC, solução compatível para uma vasta gama de problemas estruturais.

Elementos estruturais de MLC são formados por peças de madeira obtidas com lâminas de determinada seção, solidarizadas entre si sob pressão, com o emprego de adesivos (FIGURA 1).

Figura 1 - Madeira Laminada Colada.



Fonte: Zangiácomo (2003).

Uma das características da MLC é a versatilidade na obtenção das mais variadas formas geométricas para elementos estruturais. As possibilidades arquitetônicas daí resultantes são inúmeras e dependem principalmente da indispensável colaboração entre arquitetos e engenheiros (NATTERER, 1991). Tem-se como principais vantagens:

Facilidade na construção de grandes estruturas, a partir de peças de dimensões comerciais; redução de rachaduras e outros defeitos típicos de peças maciças de madeira, com grandes dimensões; possibilidade de emprego de peças de qualidade inferior em zonas menos solicitadas e de peças de melhor qualidade em zonas mais solicitadas, podendo-se combinar, assim, espécies distintas; possibilidade de aplicação de contraflechas durante o processo de fabricação; baixa relação peso/ resistência, não exigindo equipamentos pesantes para içamento, bem como conduzindo a fundações com ações de menores intensidades; bom desempenho sob a ação do fogo, em razão de seções transversais avantajadas e elevada resistência aos agentes corrosivos.

Como aspecto restritivo, pode ser citado que a MLC tem custo superior ao da madeira maciça e requer técnicas especiais, equipamentos e mão de obra especializada no processo de fabricação.

Pesquisas desenvolvidas mostram que, para os elementos estruturais em MLC, devem ser utilizadas espécies de madeira que apresentem densidade entre $0,40 \text{ g/cm}^3$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$ (FIORELLI; DIAS, 2006). Segundo a norma ASTM D 3737 (AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM, 1998), a adoção de critérios, para a classificação e posicionamento na viga, garante um aumento da resistência e da rigidez dos elementos estruturais. A classificação das lâminas pode ser realizada, visual e mecanicamente, por métodos destrutivos em corpos-de-prova e não destrutivos como o Stress Wave Method.

A MLC apresenta uma grande gama de aplicações. No Brasil, o seu emprego, na forma de cruzetas para postes de rede aérea de distribuição de energia elétrica, tem despertado a atenção de companhias do ramo, motivadas pelo potencial de emprego deste material. Dentre os fatores que influenciam o desempenho mecânico de soluções em MLC destacam-se a eficiência e a afinidade dos adesivos para com as espécies de madeiras utilizadas, o tipo de tratamento e o teor de umidade das lâminas de madeira, motivando o desenvolvimento de novas pesquisas nesta temática (CALIL NETO et al., 2014).

O adesivo se apresenta como uma das variáveis mais influentes no desempenho mecânico. A seleção do adesivo utilizado para elementos estruturais de madeira depende fundamentalmente das condições do ambiente onde este se insere e das condições de exposição (PIZZI, 1994).

Na maioria dos casos, a escolha da cola, entre caseína, resorcina ou ureia-formol e, mais recentemente a melamina, depende mais das condições de uso da estrutura do que do tipo da madeira.

Os adesivos comumente utilizados na fabricação de madeira laminada colada no Brasil são os poliuretanos e os à base de resorcinol, com cura à temperatura ambiente. Tais adesivos apresentam alta resistência à umidade, tornando- os aptos para uso exterior. Entretanto a madeira utilizada neste tipo de ambiente requer um processo de impregnação preservativa à demanda biológica. O principal problema é que os adesivos comerciais nem sempre aderem à madeira tratada de forma consistente, de maneira a satisfazer as exigências industriais referentes à resistência à delaminação (VICK; GEIMER; WOOD, 1996).

É possível colar praticamente todas as madeiras. Todavia algumas espécies possuem características físicas, químicas e anatômicas que exigem o emprego de colas especiais ou a modificação das colas normalmente comercializadas para o uso em madeiras (REVISTA DA MADEIRA, 2010).

Não só os fatores, mas também a afinidade da interação entre ambos podem acarretar em diferenças significativas no desempenho de estruturas elaboradas em MLC. Neste âmbito,

Zhang e Kamdem (2000) apontam que o tratamento por CCA pode comprometer a eficiência da adesão entre lâminas, pois os materiais metálicos insolúveis contidos no CCA precipitam sobre a parede celular da madeira, interferindo no contato madeira-resina, reduzindo a durabilidade da união interfacial.

Como a utilização de produtos de MLC ainda não é muito difundida no Brasil, é evidente que estudos devem ser realizados na investigação dos fatores espécies de madeira, adesivo e tratamento para uma caracterização das madeiras que melhor se adaptem a essa combinação (CALIL NETO, 2011), devendo ter destaque, nessas pesquisas, principalmente, as madeiras provenientes de florestas plantadas.

2.2.1 Adesivos utilizados na produção de Madeira Laminada Colada

Dentro dos tipos de adesivos, o resorcinol já é comumente utilizado, enquanto o poliuretano à base de óleo de mamona surge como uma alternativa promissora.

2.2.1.1 Resorcinol-formaldeído

Após a Segunda Guerra Mundial, novos adesivos foram desenvolvidos, podendo destacar o resorcinol-formaldeído, com custo maior que os citados anteriormente, porém com cura à temperatura ambiente e maior resistência à água. Também surgiram os primeiros adesivos poliuretanos e as emulsões de acetato de polivinila começaram a substituir adesivos à base de proteína animal.

Segundo Carrasco (1984), foi o estudo de química das macromoléculas com melhores características quanto ao seu desempenho como adesivo que possibilitou grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas vinílicas, poliéster, poliuretanas, entre outras e as aplicações de colagem com várias finalidades.

O adesivo à base de resorcinol, que é um dos mais utilizados para estruturas, apesar de garantir uma boa ligação com elevada resistência mecânica e a ação do tempo, da água e da temperatura, apresenta seu custo como um fator desfavorável, chegando a representar cerca de 30% do custo total da madeira laminada colada (FREIRE et al., 2017).

Os adesivos baseados no resorcinol têm sido amplamente utilizados na colagem de materiais de madeira, especialmente, na construção de vigas de madeira laminada e de arcos (ALBINO, 2009).

2.2.1.2 Poliuretano vegetal

Um dos adesivos mais resistentes e mais utilizados em condições de temperatura e umidade elevadas é o resorcinol-formaldeído. No entanto este adesivo é fabricado com derivados de petróleo, cujo preço tem crescido continuamente, sendo o item que mais onera o preço da madeira colada. A crescente conscientização ambiental e a consequente busca por materiais renováveis fez com que fossem desenvolvidos outros adesivos, como o adesivo poliuretano à base de mamona.

Segundo Vilar (1993), o desenvolvimento dos poliuretanos derivados do óleo de mamona teve origem nos primeiros trabalhos propostos na década de 40. O óleo de mamona obtido da semente da planta é muito abundante no Brasil e é um líquido viscoso, obtido pela compressão das sementes ou por extração com solvente. A partir do óleo de mamona, é possível sintetizar poliois e pré-polímeros com diferentes características que, quando misturados, dão origem a um poliuretano (PUR). Esta mistura poliol e pré-polímero (à base de mamona) leva à reação de polimerização da mistura. Esta reação conduz à formação da poliuretana, podendo-se variar a porcentagem de poliol, bem como o emprego de catalisador adequado a fim de aumentar a velocidade da reação (DIAS, 2005). O PUR na linha de cola tem como características a alta resistência mecânica à alta umidade e temperatura; o produto não agride o meio ambiente, pois é livre de solventes e exige menor consumo de água e atende as normas internacionais de qualidade e resistência (CUNHA; MATOS, 2011).

É uma resina à base de poliuretano vegetal (originado do óleo de mamona), bicomponente, 100% sólido (isento de solventes), não liberando vapores tóxicos, formulado pela mistura a frio de um pré-polímero (componente A) e um poliol (componente B), resultando em polímeros com diferentes características, de excepcional estabilidade físico-química, elasticidade, impermeabilidade.

2.3 Fatores que afetam a qualidade da colagem

De acordo com Iwakiri (2005), a colagem adequada de madeiras está diretamente relacionada a um conjunto de fatores que podem ser agrupados de forma genérica em quatro grupos:

- a) Características físico-químicas do adesivo.
- b) Composição e características da madeira.

- c) Procedimentos empregados na colagem.
- d) Condições de uso do produto colado.

2.3.1 Características físico-químicas do adesivo

Algumas propriedades físico-químicas do adesivo afetam a colagem, tais como viscosidade, gel time, teor de sólidos e pH.

2.3.1.1 Viscosidade

A fluidez de um líquido está relacionada com a sua viscosidade. No caso do adesivo, ela pode ser utilizada como critério de “idade” pelo aumento na sua viscosidade até o ponto máximo adequado para sua utilização (IWAKIRI, 2005).

As diferenças na magnitude da viscosidade do adesivo resultam em diferentes inter-relações com as características de utilização. Adesivo com alta viscosidade resultará em maior dificuldade de espalhamento em razão da baixa fluidez, menor penetração do adesivo na estrutura capilar da madeira, com a formação da linha de cola mais espessa, ocasionando ligação insuficiente no sistema madeira – adesivo – madeira e qualidade inferior da colagem, entre outros fatores.

Na condição de baixa viscosidade do adesivo, a situação será a maior penetração do adesivo e sua absorção pela madeira e, em situação extrema, poderá resultar em linha de cola “faminta”, significa o efeito da maior temperatura ambiente.

2.3.1.2 Tempo de gelatinização (gel time)

A importância do “gel-time” está relacionada à vida útil do adesivo ou tempo de “panela”, quando se atinge o ponto de máxima viscosidade admissível para a sua aplicação. Está também relacionada à reatividade do adesivo, que, por sua vez, influenciará no tempo de prensagem (IWAKIRI, 2005).

2.3.1.3 Teor de substâncias sólidas

O teor de substâncias sólidas é definido como a quantidade de sólidos contidos na resina, a qual é composta de componentes sólidos e líquidos voláteis, constituídos de

solventes orgânicos. Com a prensagem a quente, ocorre a evaporação dos componentes líquidos, “cura” e solidificação da resina, formando a linha de cola que é responsável pela ligação entre os substratos e transferência de tensões do sistema madeira – linha de cola – madeira (IWAKIRI, 2005).

2.3.1.4 pH

O pH de uma solução aquosa é definido como a concentração de íons dissociados de H⁺ e OH⁻ e a sua determinação é feita pela leitura direta em aparelhos denominados de pHmetros. Em se tratando de colagem de madeiras, é importante considerar a influência do pH tanto da madeira como da resina. A resina não deve ter os limites de pH ultrapassando a faixa de 2,5 a 11, pois pode resultar em degradação das fibras de madeira. Além disso, um pH muito baixo pode provocar uma formação excessiva de espuma na mistura, prejudicando sensivelmente a aplicação do adesivo (IWAKIRI, 2005).

2.3.2 Composição e características da madeira

Segundo Iwakiri (2005), as principais propriedades da madeira que influenciam no processo de formação e performance da ligação são as seguintes:

- a) Propriedades anatômicas.
- b) Propriedades físicas.
- c) Propriedades químicas.
- d) Propriedades mecânicas.

2.3.2.1 Propriedades anatômicas

A influência da anatomia da madeira está relacionada, principalmente, à sua estrutura, no que tange às diferenças nas dimensões dos elementos celulares, tamanho, disposição e frequência das cavidades celulares, que, por sua vez, estão relacionadas com a porosidade e permeabilidade da madeira.

Desta forma, a relevância da anatomia da madeira na colagem está relacionada aos seus efeitos no movimento do adesivo para o interior da estrutura da madeira, para possibilitar uma adequada “ancoragem”.

2.3.2.2 Propriedades físicas

As propriedades físicas da madeira mais importantes, em termos de colagem de madeiras, são a densidade e conteúdo de umidade. Estes fatores afetam de forma distinta a mobilidade do adesivo e tensões na linha de cola.

a) Densidade da madeira

Como foi discutido anteriormente, a densidade da madeira apresenta uma relação inversa com a porosidade e a ação de penetração de adesivos na estrutura lenhosa. Em madeiras de baixa densidade, ocorre maior penetração do adesivo e poderá resultar em linha de cola “faminta”. Outro efeito importante da densidade da madeira é no que se refere à sua alteração dimensional. Madeiras de alta densidade apresentam maiores alterações dimensionais com mudanças no conteúdo de umidade, gerando maiores tensões na linha de cola.

b) Conteúdo de umidade

O conteúdo de umidade e sua distribuição, dentro e entre as camadas individuais da madeira a ser colada, influenciam na formação e performance da ligação madeira – adesivo. Os efeitos do conteúdo de umidade da madeira, na formação da ligação adesiva, inicia-se com a quantidade e o ritmo de absorção da parte líquida do adesivo. Portanto quanto menor o conteúdo de umidade da madeira, maior será a taxa de absorção, velocidade de cura e solidificação do adesivo.

A performance da ligação adesiva é influenciada pelas alterações dimensionais da madeira, decorrentes de mudanças na umidade relativa do ambiente de uso e consequente geração de tensões na linha de cola.

2.3.2.3 Propriedades químicas

A influência de componentes químicos da madeira, na formação e performance da ligação adesiva, está relacionada à exposição de áreas de maior ou menor concentração desses componentes na superfície da madeira a ser colada.

As propriedades químicas da madeira mais importantes, na colagem de madeiras, são os extrativos, pH e teor de cinzas.

a) Extrativos

São considerados como extrativos os elementos estranhos ou impregnantes presentes no lúmen ou parede celular e são constituídos de materiais orgânicos como: graxas, óleos, gorduras, taninos, carboidratos, ácidos, gomas e resinas. Estes materiais são produzidos, principalmente, durante a formação do cerne e seus efeitos predominantes estão relacionados à redução da higroscopicidade e da permeabilidade da madeira.

De acordo com a espécie e condições de secagem da madeira, podem ocorrer a migração e a concentração excessiva de extrativos na superfície, com a formação da chamada “superfície inativa ou contaminada”, prejudicando o contacto adesivo – madeira.

b) pH

O pH da madeira varia conforme a espécie e situa-se normalmente na faixa de 3 a 6. Podem ocorrer mudanças de pH dentro de uma peça de madeira, em função da migração de extrativos de camadas mais internas para camadas superficiais, alterando as condições de colagem.

O pH dos extrativos presentes na madeira pode inibir as reações químicas de endurecimento do adesivo, prejudicando o desenvolvimento de resistência e coesão adequada da linha de cola.

O pH pode favorecer o pré-endurecimento do adesivo, impedindo a habilidade de fluidez, umectação e penetração. Adesivos como a ureia-formaldeído que curam no meio ácido podem ser prejudicado, principalmente, na colagem de chapas de madeira aglomerada de espécies com baixo pH, por acelerar a sua cura e, conseqüentemente, provocar a pré-cura do adesivo durante a fase de densificação.

c) Cinzas

O conteúdo de cinzas na madeira encontra-se geralmente abaixo de 0,5% e não afeta diretamente a performance da ligação adesiva. No entanto poderá afetar o pH ou as características de usinabilidade da madeira, em virtude da presença de minerais como a sílica e de seu efeito quanto ao desgaste excessivo das peças cortantes, prejudicando a superfície para colagem.

2.3.2.4 Propriedades mecânicas

As tensões geradas no sistema madeira–linha de cola são de suma importância no balanço geral da resistência de um produto colado. Quanto maior a resistência da linha de cola em relação à resistência da madeira, maior será a percentagem de ruptura ou falhas na madeira na interface com a linha de cola.

As tensões desenvolvidas na linha de cola se manifestam por meio de tensões de cisalhamento no plano da ligação adesiva e no sentido perpendicular à mesma. As tensões na linha de cola são resultantes de fontes internas e externas e ambas estão relacionadas à resistência da madeira quanto à magnitude destas tensões distribuídas na linha de cola.

a) Tensões internas

As diferenças nas estruturas da madeira, grã, densidade, módulo de resistência e coeficiente de retratibilidade irão gerar diferentes tensões nas interfaces madeira – adesivo, em função das alterações de temperatura e umidade do ambiente.

b) Tensões externas

As tensões externas são aquelas impostas por cargas acumulativas ou dissipativas sobre a linha de cola, e regiões de baixa resistência da madeira podem ser visualizadas em falhas na madeira. Contudo a percentagem de falhas na madeira, muitas vezes, não é um fator determinante, em decorrência de concentração de tensões e fragilidade natural da madeira em pontos críticos do sistema madeira – adesivo.

3 CONSIDERAÇÕES

Diante da importância que a madeira representa à humanidade, há a necessidade de estudar cada vez mais suas propriedades para sua correta utilização. Pelo grande supressão de florestas, faz-se necessário o estudo de outros meios de se utilizar esse recurso renovável, porém, se utilizado de forma incorreta, a tendência é que cada vez mais se torne mais escasso. Com isso, as tecnologias atuais vêm apontando cada vez mais para produtos engenheirados. Um desses produtos é a Madeira Laminada Colada.

Desta forma, este trabalho foi desenvolvido em um artigo visando à caracterização física, química, anatômica e mecânica da madeira de seringueira, bem como a caracterização mecânica da Madeira Laminada Colada.

REFERÊNCIAS

- ALBINO, V. C. S. **Estudo do comportamento da colagem da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden com adesivo termo endurecedor resorcinol-formaldeído.** 2009. 102 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2009.
- AMERICAN SOCIETY FOR TESTING MATERIALS - ASTM. **ASTM D-3737:** standard practice for establishing stresses for structural glued laminated timber. West Conshohoken: ASTM, 1998. 28 p.
- CALIL NETO, C. et al. Avaliação da resistência ao cisalhamento e à delaminação em Madeira Laminada Colada. **Ciência Florestal**, Santa Maria, v. 24, n. 4, p. 987–994, out./dez. 2014.
- CALIL NETO, C. **Madeira Laminada Colada (MLC):** controle de qualidade em combinações espécie-adesivo -tratamento preservativo. 2011. 123 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.
- CAMPELO JÚNIOR, J. H. Estimativa da transpiração em seringueira. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**, Santa Maria, v. 8, n. 1, p. 35-42, 2000.
- CARRASCO, E. V. M. **Ligações estruturais de madeira por adesivos.** Dissertação (Mestrado em Engenharias de Estrutura) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1984.
- CUNHA, A. B.; MATOS, J. L. M. Avaliação da rigidez de vigas estruturais de madeira laminada colada unidas por adesivo poliuretano. **Cerne**, Lavras, v. 17, n. 4, p. 593-600, out./dez. 2011.
- DIAS, F. M. **Aplicação de resina poliuretana a base de mamona na fabricação de painéis de madeira compensada e aglomerada.** 2005. 178 p. Tese (Doutorado em Ciências e Engenharia de Materiais) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2005.
- EUFRADE JÚNIOR, H. J. et al. Potential of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil. **Journal of Wood Science**, New York, v. 61, n. 4, p. 384-390, Aug. 2015.
- FIORELLI, J.; DIAS, A. A. Fiberglass-reinforced glulam beams: mechanical properties and theoretical model. **Materials Research**, São Carlos, v. 9, n. 3, p. 263–269, jul./set. 2006.
- FREIRE, T. C. et al. Qualidade da colagem da madeira de eucalipto com adesivo a base de resorcinol e tanino. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA E TECNOLOGIA DA MADEIRA, 3., 2017, Florianópolis. Anais... Florianópolis: [s.n.], 2017. p. 1-9.
- FREITAS, A. R. Como tratamento preservativo moirão dura mais de vinte anos. **Dirigente Rural**, São Paulo, v. 12, n. 3/4, p. 24-28, 1973.

GALVÃO, A. P. M. **Processos práticos para aumentar a duração da madeira**. Piracicaba: USP/ESALQ, 1969. 27p. (Boletim de Divulgação, 14).

GERENGI, H. et al. Impact of Copper Chrome Boron (CCB) wood preservative on the corrosion of St37 steel. **Industrial & Engineering Chemistry Research**, Washington, v. 53, n. 49, p. 19192-19198, Nov. 2014.

GONÇALVES, P. S. et al. Desempenho de clones de seringueira da série IAC 300 na região do planalto de São Paulo, **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 37, n. 2, p. 131-138, fev. 2002.

HU, J. et al. Application of hinokitiol potassium salt for wood preservative. **Journal of Environmental Sciences**, Washington, v. 25, Suppl 1, p. 32-35, Dec. 2013.

HUNT, G. M.; GARRATT, G. A. **Wood preservation**. 3. ed. New York: Mc Graw-Hill, 1967. 433 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Produção Agrícola Municipal (PAM). Culturas temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal**, Rio de Janeiro, 2014.

_____. Produção Agrícola Municipal: culturas temporárias e permanentes. **Produção Agrícola Municipal**, Rio de Janeiro, v. 43, p. 1-62, 2016.

ISSA, C. A.; KMEID, Z. Advanced wood engineering: glulam beams. **Construction and Building Materials**, Bethesda, v. 19, n. 2, p. 99–106, Mar. 2005.

LAVERDE, A. **Processo produtivo de esquadrias em madeira de Eucalipto na marcenaria coletiva do Assentamento Rural Pirituba II - Itapeva - SP**. 2007. 283 p. Dissertação (Mestrado em Arquitetura e Urbanismo) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2007.

LIMA, R. R.; TOURINHO, M. M.; COSTA, J. P. C. **Várzeas flúvio-marinhas da Amazônia brasileira**: características e possibilidades agropecuárias. Belém: FCAP, 2000. 341 p.

MOLINA, J. C.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L. Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de *Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada. **Ambiente Construído**, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 221-227, jan./mar. 2016.

MORESCHI, J. C. **Biodegradação e preservação da madeira**. 4. ed. Paraná: Departamento de Engenharia e Tencologia Florestal, 2013. v. 1, 49 p.

MUZEL, S. D. et al. Multilayer medium density particleboard using castor oil-based polyurethane resin and *Hevea brasiliensis* wood. **Advanced Materials Research**, v. 1025/1026, Stafa-Zurich, p. 559-563, Sept. 2014.

NATTERER, J. Quality criteria for timber design. In: INTERNATIONAL TIMBER ENGINEERING CONFERENCE, 2., 1991, London. **Proceedings...** London: [s.n.], 1991. p. 19-26.

OKINO, E. Y. A. et al. Cement-bonded particleboard of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. **Revista Árvore**, Viçosa, v. 28, n. 3, p. 451-457, maio/jun. 2004.

_____. Oriented strand board made of pine, cypress and rubberwood. **Floresta**, Viçosa, v. 39, n. 2, p. 457-468, jun. 2009.

PEYLO, A.; WILLEITNER, H. The problem of reducing the leachability of boron by water repellents. **Holzforschung**, Berlin, v. 49, n. 3, p. 211-216, 1995.

PFEIL, W. E.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 240 p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcel Dekker, 1994. 297 p.

REVISTA DA MADEIRA. **A madeira laminada colada**, n. 124, jul. 2010.

SEGUNDINHO, P. G. A. et al. Avaliação de vigas de madeira laminada colada de Cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm. **Cerne**, Lavras, v. 19, n. 3, p. 441-449, jul./set. 2013.

SOMAIN, R.; DROULERS, M. A seringueira agora é paulista. **Revista Franco-Brasileira de Geografia**, São Paulo, v. 27, n. 27, 2016.

TSALKATIDIS, T. Numerical simulation and analytical study of glulam timber beams. **International Journal of Engineering & Technology**, Tehran, v. 3, n. 2, p. 129-136, 2014.

VICK, C. B.; GEIMER, R. L.; WOOD, J. E. Flakeboards from recycled CCA-treated southern pine lumber. **Forest Products Journal**, Bemis, v. 46, n. 11/12, p. 89-91, 1996.

VILAR, W. D. **Química e tecnologia dos poliuretanos**. São Paulo: Grupo Pronor, 1993. 203 p.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003. 102 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

ZHANG, J.; KAMDDEM, D. P. Interaction of copper-amine with southern pine. **Wood Fiber Science**, New York, v. 32, n. 3, p. 332-339, July 2000.

SEGUNDA PARTE - ARTIGO**ARTIGO 1 - STUDYING THE MECHANICAL BEHAVIOR OF GLUED
LAMINATED TIMBER PRODUCED WITH UNDEREXPLOITED RUBBER WOOD
TREATED WITH PRESERVATIVES BASED ON CHROMATED COPPER BORATE
(CCB) AND PENTOX**

**Artigo formatado de acordo com as normas para submissão do periódico European Journal of
Wood and Wood Products**

ABSTRACT

The aim of this study was to evaluate the properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) treated with preservatives based on chromated copper borate (CCB) and pyrethroid (Pentox) for production structural pieces of glued laminated timber. Six trees with age close to 12 years and diameter at breast height (DBH) higher than 25 cm were obtained. The chemical composition of the wood was analyzed (extractives, insoluble lignin, ashes and holocellulose) and after the treatments, observations were made on the anatomical structure, and the determination of pH, modulus of elasticity (MOE), modulus of rupture (MOR), parallel compression strength, shear strength, hygroscopic equilibrium moisture, apparent density and shrinkage. The preservative treatment with CCB was performed by sap-displacement method, while Pentox treatment was performed by brushing. The beams of glued laminated timber were produced with 3 veneers with dimensions 6.0 x 2.0 x 120.0 cm by beam, in a total of 5 pieces per treatment. For comparison purposes, samples were also produced with untreated rubber wood. Two different adhesives (vegetal polyurethane and resorcinol formaldehyde) were evaluated. The properties of MOE, MOR and shear strength of the glued laminated timber samples were determined. The rubber wood showed extractives content of 9.97% and insoluble lignin of 25.84%. The treatment with CCB caused a significant increase in the pH of the wood. In addition, the rubber wood showed an anisotropy index higher than 1.5. For the properties of MOE and shear strength, values of 6863.75, 6471.97, 6494.50 MPa and 10.89, 12.54, 9.41 MPa were obtained for the rubber wood untreated, with CCB and Pentox, respectively. The values of MOR and shear strength for the glued laminated timber beams treated with Pentox and untreated did not show statistical differences for both types of adhesives. For MOE, there was no statistical difference between the preservative treatments. In general, treatment with Pentox did not impair the properties of glued laminated timber, while the treatment with CCB resulted in loss of mechanical strength.

Keywords: Anatomy, apparent density, chemical composition, mechanical behavior.

Introduction

The rubber tree is natural from the Amazon Region, and there are ten species in Brazil, of the eleven known. Botanically, the rubber tree is a dicotyledon of the genera *Hevea*, belonging to the family Euphorbiaceae, being all of them woody and arboreal species (Lima et al. 2000).

The planted area with rubber tree has considerably grown in recent years in Brazil. In 2005 the planted area was 112,396 ha and passed to 156,066 ha in 2016 (IBGE, 2016). The

expansion of the rubber tree plantation in the country causes a significant supply of the wood of this crop at the end of its rotation (25-30 years), which leads to interest in studies about this raw material. In Brazil, *Hevea* wood obtained at the end of the productive cycle of latex is used most of the time, and traditionally, for use as firewood although it presents good characteristics of workability (gluing, nailing, drilling, among others) and can be easily bent with the use of steam and easily dyed (Eufrade Junior et al. 2015).

The rubber wood is feasible for wood cement panels production, showing a good dimensional stability, even when subjected to severe exposure to water immersion (Okino et al. 2004), OSB panels, with properties that have reached minimum standards for commercialization (Okino et al. 2009) and particleboards (Müzel et al. 2014). Analyzing these works, it can be said that the rubber wood presents a potential for different uses, among them, the production of glued laminated timber. It is considered a structural product formed by the association of selected wood pieces arranged so that the fibers are parallel and bonded with adhesives under pressure varying from 0.7 to 1.5 MPa (Pfeil and Pfeil 2003). One of the advantages of glued laminated timber is the better utilization that the union of pieces of wood of small dimensions provides for the manufacture of structural beams (Segundinho et al. 2013).

The wood, because of its anatomical structure and chemical composition, is a feeding source for several xylophagous organisms, causing a significant economic loss (HU et al. 2013). Due to this problem, there are preservative treatments that can be made to reduce such problems and prolong the useful life of the wood (Gerengi et al. 2014). Among these preservative treatments there are water-soluble treatments such as those composed by copper, chromium and boron (CCB), and Pentox, produced from pyrethroids, both effective against fungi and termite attack.

The chromium in CCB is expected to protect the wood surface against UV-light degradation as copper and boron enhances the biological resistance of wood coincidentally (Peylo and Willeitner 1995). Neto et al. (2014) evaluating the influence of wood type factors (pine, teak, eucalyptus), adhesive (Purbond and Cascophen) and treatment (CCA and CCB) in the variables responses to shear strength and delamination of glued laminated timber, concluded that the preservative treatment does not alter the gluing properties and mechanical resistance of the beams. For the Pentox treatment, its effect on gluing and mechanical strength of glued laminated timber is still unknown.

In this context, this work proposes to evaluate the anatomical, chemical, physical and mechanical characteristics of the *Hevea brasiliensis* wood, specifically the clone RRIM 600,

treated with CCB and Pentox, aiming at the production of glued laminated timber using resorcinol formaldehyde and polyurethane based on castor oil adhesives.

Material and methods

Obtainment and preservative treatment of the rubber wood

Six trees of the species *Hevea brasiliensis*, specifically the clone RRIM 600 were collected with the age of 12 years. The rubber trees were harvested from a planted area (spacing 5 x 5 m) located in the southern region of the Minas Gerais state, Brazil. From each tree, logs with 1.30 m (from the base) were obtained, which were treated with CCB within 24 hours after harvesting the trees. The CCB is a water-soluble product, fungicide and insecticide based on chromated copper borate, which presents 2.5% of active ingredients, has a good mobility in wood, being indicated for the treatment of green material. The sap-displacement method was used by radial transpiration (Figure 1). After the fixation of the CCB preservative, the logs were dried for 20 days in room temperature and sectioned in planks. For the treatment based on pyrethroid preservative, it was used the Pentox (Montana Química S/A, São Paulo, Brazil). The application of the product was done by wood brushing, after sectioning and obtainment the samples for the tests.



Fig. 1. Treatment of the logs with CCB by the sap-displacement method.

Physical and mechanical tests of the rubber wood

The planks were then conditioned in an environment with temperature of 22 ± 2 °C and relative humidity $65 \pm 5\%$. Posteriorly, the samples were obtained with the dimensions according to established standards (Table 1).

Table 1 – Standards used for physical and mechanical tests on rubber wood.

Property	Dimensions (cm)	Standard
<i>MOE and MOR</i>	<i>2.5 x 2.5 x 41.0</i>	ASTM D143 (1995)
<i>II* Compression strength</i>	<i>2.5 x 2.5 x 10.0</i>	
<i>Shear strength</i>	<i>5.0 x 5.0 x 6.4</i>	NBR 7190 (1997)
<i>Moisture</i>		
<i>Apparent density</i>	<i>2.0 x 3.0 x 5.0</i>	
<i>Shrinkage</i>		

*Parallel

Anatomical structure of the rubber wood

Samples were made with untreated and treated rubber wood with Pentox and CCB. The samples were submitted to saturation in water and posteriorly transversal, radial and tangential sections (thickness 12–20 μm) were cut with a microtome Leica SM 2000R. The sections were washed, dehydrated and stained with 1% hydro-alcoholic safranin and astra blue (Johansen 1940) and fixed on permanent slides with Entellan. Photomicrographs were obtained from *in natura* sections and from the permanent slides by an optical microscope Olympus BX41TF coupled to the computer, using the software Wincell. The descriptions have been done in accordance with the *International Association of Wood Anatomists - IAWA Committee* (1989).

Chemical characterization of the rubber wood

The chemical characterization was performed for the untreated rubber wood. After the milling in a willey mill, the sawdust was separated with overlapping sieves of 40 (0.420 mm) and 60 mesh (0.250 mm), being used for the analysis only the fraction retained in the sieve of 60 mesh. The standards used for the analysis were: total extractives - NBR 14853 (2010); insoluble lignin - NBR 7989 (2010); ashes - NBR 13999 (2017). The holocellulose content was obtained by subtracting the sum of the other components considering a total of 100%.

Determination of the rubber wood pH

The pH was determined according to the methodology proposed by Lelis (1995). The treated and untreated wood was fragmented in sticks and posteriorly milled and dried at 102 ± 2 °C for 24 h. From the dry material, 5 g of the wood were immersed in distilled water for 24 h. The material was filtered, obtaining a solution in which the pH was determined by a pH meter Instrutherm pH 2600. Three measurements were performed for each sample.

Production of the glued laminated timber beams

From the planks were obtained pieces with dimensions of 25 x 70 x 1200 mm which were dried until reach the moisture of 12%. Posteriorly, the faces were planed until reach the final dimensions of 20 x 60 x 1200 mm. The pieces were classified by applying the vibration

waves with the use of the *Sonelastic* machine. For production of the glued laminated timber, the pieces were classified according to the MOE value, being the pieces with higher values applied to the faces, and the pieces with lower values applied to the core. Five glued laminated timber beams were produced for each treatment, totalizing 30 beams (Table 2). Each beam was composed by 3 veneers. The adhesives used for gluing the beams were resorcinol formaldehyde (Cascophen RS 216-M) with the addition of 15% of catalyst (Prepared catalyst F-60-M) (in relation to the adhesive mass) and the vegetal polyurethane (from castor oil), bi-component, in proportion 1: 1.5 from the component A (pre-polymer) to the component B (polyol) (Table 3).

Table 2 – Experimental design.

Treatment	Number of glued laminated timber beams	Adhesive
<i>Untreated</i>		
<i>CCB</i>	5	<i>Resorcinol formaldehyde</i>
<i>Pentox</i>		
<i>Untreated</i>		
<i>CCB</i>	5	<i>Vegetal Polyurethane</i>
<i>Pentox</i>		

Table 3 – Parameters for the production of the glued laminated timber beams.

Parameter	Resorcinol formaldehyde	Vegetal Polyurethane
<i>Apparent viscosity (25 °C)</i>	<i>500.26 cP</i>	<i>430.63 cP</i>
<i>Solid content</i>	<i>72.75%</i>	<i>79.43%</i>
<i>pH</i>	<i>7.17</i>	<i>7.0</i>
<i>Grammage</i>	<i>350 g.m⁻²</i>	
<i>Pressing / time</i>	<i>1 MPa / 24 h – room temperature</i>	

Properties of the glued laminated timber beams

After pressing, the beams were conditioned in an environment with temperature of 22 ± 2 °C and relative humidity $65 \pm 5\%$ until reach the moisture of 12%. Shear strength tests were performed on the glue line for evaluation of its quality. In total, 12 samples were obtained from the glued laminated timber produced and evaluated according to the ASTM

D905 (2009). Static bending tests were performed according to the ASTM D198 (1996), for determination of the MOE and MOR.

Statistical analysis

To evaluate the properties of the rubber wood and glued laminated timber beams, the data were submitted to analysis of variance (ANOVA) and the Tukey test, both at 5% of significance. The data were processed using the Sisvar software.

Results and discussion

Mechanical and anatomical properties of rubber wood treated with CCB and Pentox

For the property of parallel compression strength, the mean value of 46.31 MPa was obtained for the untreated wood (Figure 2). There was no statistical difference between the treatments. According to the standard NBR 7190 (1997), the parallel compression strength, when the characteristic strength is allowed to be 70% of the mean value evaluated in wood dry condition (12%), it can be said that the wood of the clone RRIM 600 (32.41 MPa) could be classified as C30 ($f_{c0k} = 30$ MPa). The applications of studying the mechanical properties of the wood are linked to its better destination, such as constructions, furniture production, boats and all commercial use that intends to expose the wood pieces to stress (Mady 2010).

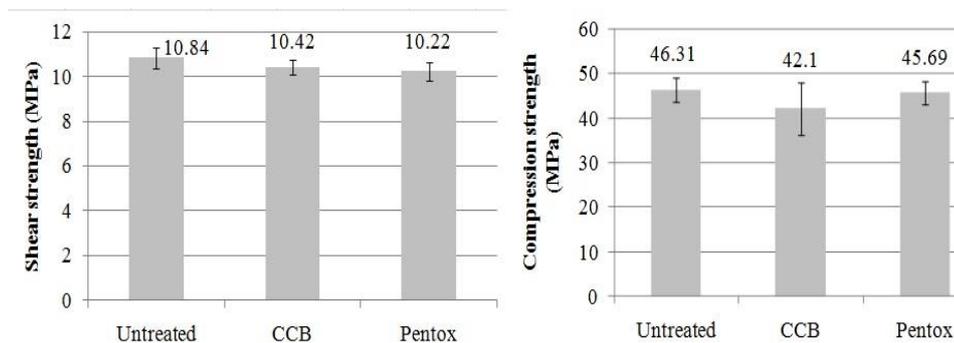


Fig. 2 Mean values obtained for shear strength and parallel compression strength for the treated and untreated rubber wood.

The value of parallel compression strength obtained when compared to values of other species studied in the literature allows include the *Hevea brasiliensis* wood in the group of species with good mechanical quality, being compatible to many woods traditionally used in civil

construction and the furniture industry. Euftrade Junior et al. (2015) studying the *Hevea brasiliensis* wood, clone RRIM 600 with 30 years, obtained mean values of 43.53 MPa for parallel compression strength, values similar to those obtained in this study; Majumdar et al. (2014) found values between 46.3 and 50.0 MPa for *Hevea brasiliensis* wood with age of 25 years. The results obtained in this study are close to those observed in the literature.

There was no statistical difference between the treatments for the shear strength. The values obtained for shear strength were close to those obtained by Euftrade Junior et al. (2015) (9.60 MPa) for trees with age higher than 30 years and mean apparent density of 0.678 g.cm^{-3} . Higher values were observed by Ratanawilai et al. (2015) (18.6 MPa) studying the physical and mechanical properties of rubber wood with age higher than 25 years under different drying methods. The property of parallel shear strength resistance has a great importance in applying wood for the manufacture of structural pieces, as beams and pillars of glued laminated timber, for example, since the shear consists of the fibers separation by a tension applied parallel to them (Hara et al. 2014).

There was no statistical difference between the treatments for the MOE values. It was observed a reduction of 5.70% in strength for the wood treated with CCB and of 5.37% for the rubber wood treated with Pentox. The values were lower in comparison to the obtained by Riyaphan et al. (2015) (10400 MPa) studying the RRIM 600 clone with 13 years of age and apparent density 0.59 g.cm^{-3} .

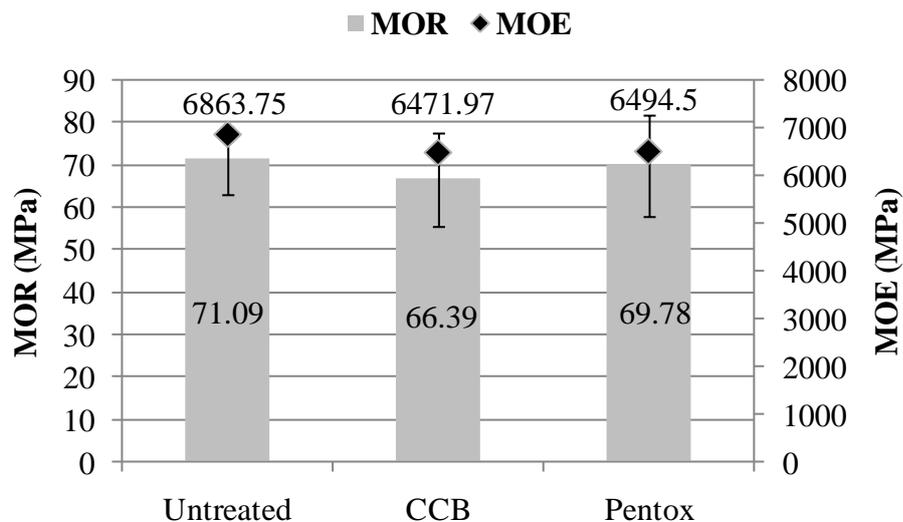


Fig. 3 Mean values obtained for MOE and MOR for the untreated and treated rubber wood.

Majumdar et al. (2014), when studying *Hevea brasiliensis* wood, obtained the values ranging between 8605 and 8973 MPa for the same property. For MOR values, all treatments showed statistically equal mean values. Riyaphan et al. (2015) studying the technical properties and use of the rubber wood, obtained mean values of 108 for MOR when evaluating the clone RRIM 600 with 13 years of age and apparent density of 0.59 g.cm^{-3} . Therefore, the rubber wood presents good quality for the production of glued laminated timber beams. In the different anatomical planes of the rubber wood, it can be seen the impregnation of the fibers by the preservative liquids, as well as the appearance of the vessels and different types of parenchyma (Figures 4, 5 and 6).

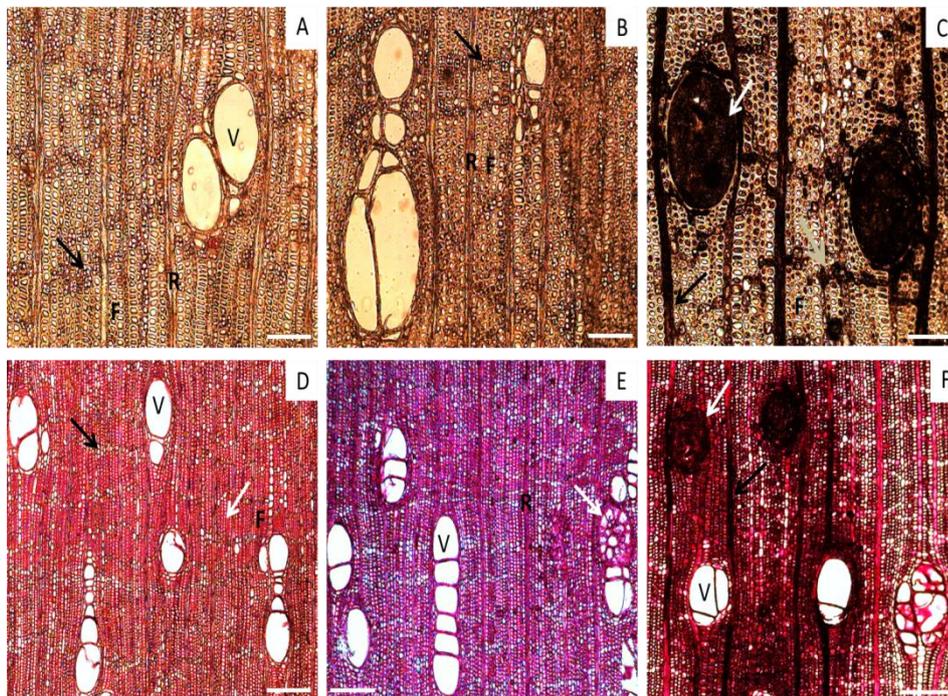


Fig. 4 A-F) Transversal sections of *Hevea brasiliensis* wood. A-C) Photomicrographs of *in natura* sections; D-F) Photomicrographs of permanent slides sections; A, D) untreated, vessels (v), fibers (F), rays (R), apotracheal axial parenchyma (arrow), growth layer (white arrow); B, E) Treated with Pentox, vessels (v), fibres (F), rays (R), apotracheal axial parenchyma (arrow), tylose (white arrow); C, F) Treated with CCB, vessels (V), vessels with tylose (white arrow), fibers (F), rays with CCB (black arrow), axial parenchyma with CCB (gray arrow). Scale bar: A-C= 200 μm ; D-F = 100 μm .

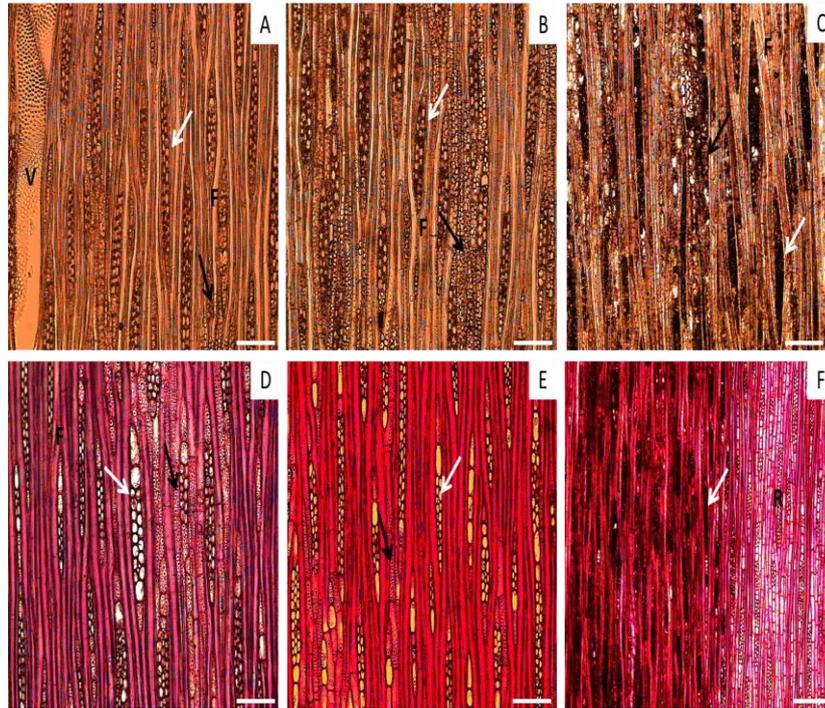


Fig. 5 A-F) Tangential longitudinal sections of *Hevea brasiliensis* wood. A-C) Photomicrographs of *in natura* sections; D-F) Photomicrographs of permanent slides sections; A, D) untreated, vessel element (v), fibers (F), rays (white arrow), axial parenchyma (black arrow); B, E) Treated with Pentox, fibers (F), rays (white arrow), axial parenchyma (black arrow); C, F) Treated with CCB, rays cells with CCB (white arrow), rays without CCB (R), axial parenchyma (black arrow). Scale bar: A-E= 200 μ m; F = 100 μ m.

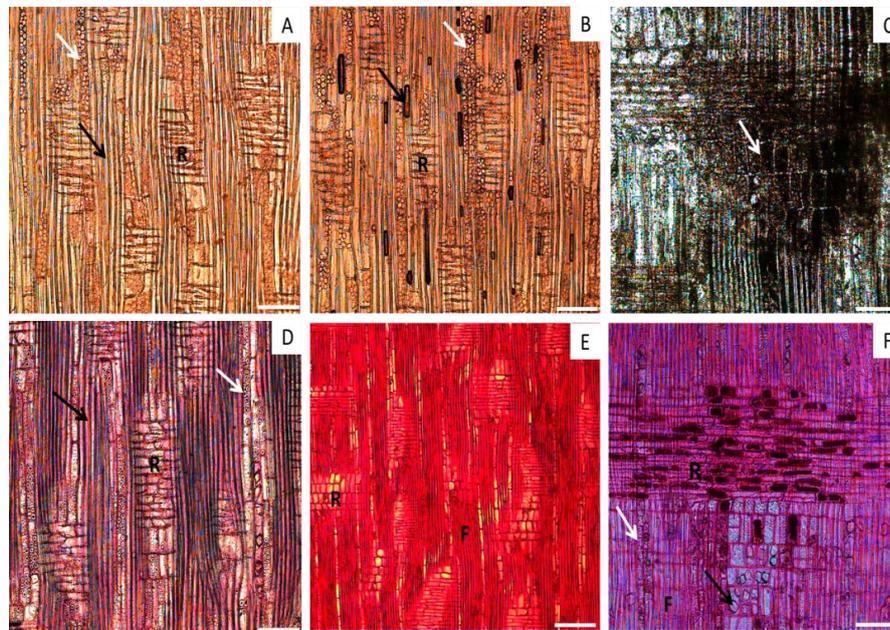


Fig. 6 A-F) Radial longitudinal sections of *Hevea brasiliensis* wood. A-C) Photomicrographs of *in natura* sections; D-F) Photomicrographs of permanent slides sections; A, D) untreated, fibers (black arrow), rays (R), axial parenchyma (white arrow); B, E) Treated with Pentox, fibers with Pentox (black arrow), rays cells with Pentox (R), axial parenchyma (white arrow); C, F) Treated with CCB, rays (R), axial parenchyma (white arrow), crystals (black arrow). Scale bar: A-E= 200 μ m; F = 100 μ m.

The vessels are diffuse, mostly solitary, multiple radial from 2 to 12 and multiples of 2-3, with simple perforation plate and presence of tyloses (Fig 4A-F). Growth layers demarcated by fibrous zones with the thicker cell wall and tangentially flattened (Fig 4D). Apotracheal axial parenchyma, consisted of thin concentric lines (with up to two cells wide), continuous, sinuous and sometimes interrupted (Figs 4A-F, 5A-F and 6A-F). It has also scarce paratracheal axial parenchyma (Fig 4A-F). The rays are heterogeneous; uniseriate composed by erect and square cells, and multiseriate with predominance of horizontal cells instead the erect and square (Fig 5A-F and 6A-F). The fibers are libriform, non-septate, thin wall and sometimes gelatinous fibers (Figs 4A-F, 5A-F and 6A-F). Prismatic crystals present (Fig 6F).

The latex extraction influences the quantitative characteristics of the rubber wood such as the rays width, length and fiber width, cell wall thickness, rays height, frequency and diameter of the vessel elements, and proportion of normal fibers, gelatinous fibers and axial parenchyma (Ramos et al. 2018).

The distribution of preservative treatment liquids were visualized on the fibers treated with Pentox (Fig 6B) and in the radial and axial parenchyma cells of the wood treated with CCB (Figs 4C, F, 5C, F and 6C, F). Although vessels are considered structures of greater importance in relation to conduction, the presence of CCB in the tyloses (Fig 4C, F) suggests that the permeability is limited by them. In general, the sap-displacement treatment of rubber wood promoted a more efficient impregnation for CCB compared to the surface treatment performed for the Pentox. It can be noted that the vessels and rays were reached by the CCB treatment.

There were no statistical differences for the shrinkage measured between the radial planes and tangential planes of the samples of untreated and treated rubber wood (Figure 7).

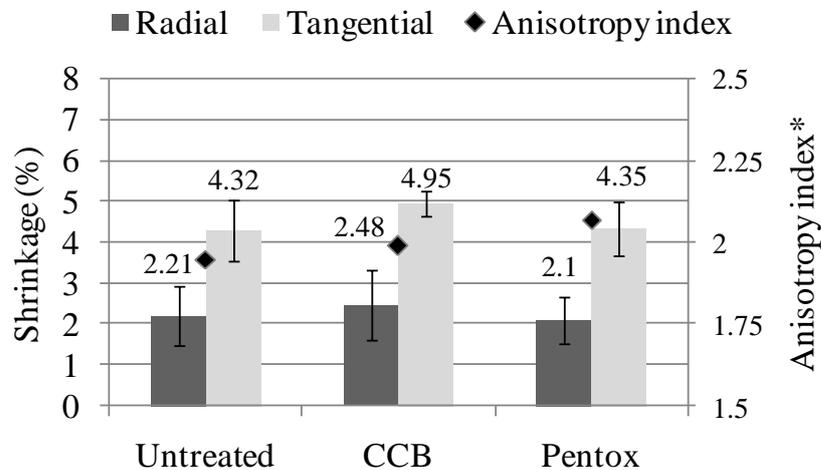


Fig. 7 Mean values obtained for shrinkage and anisotropy index for the untreated and treated rubber wood.*Dimensionless unit.

The shrinkage is the variation of the dimensions of the wood piece and can occur in radial, tangential and longitudinal direction. This shrinkage occurs when the wood is at its fiber saturation point or below it and loses or gets moisture, occurring the variation of its dimensions. The mean values for radial and tangential shrinkage found by Majumdar et al. (2014) for trees with 25 years of age were 2.10% and 4.70%, respectively. These values were similar to those found in this study. The result obtained for the anisotropy index for the studied rubber wood was between 1.5 and 2.1, which characterizes a medium to low anisotropy (Klitzke 2007).

Mechanical characterization of the glued laminated timber beams of Hevea brasiliensis

The mean values obtained for MOR for glued laminated timber presented statistical differences for the different preservative treatments. The beams produced with rubber wood treated with CCB showed the lowest mean values for MOR. The mean value was 38.89 MPa for the adhesive resorcinol formaldehyde and 45.79 MPa for the polyurethane vegetal adhesive. There was a reduction of 40.84% for the beams produced with resorcinol formaldehyde and of 33.73% for beams produced with vegetal polyurethane (Figure 8).

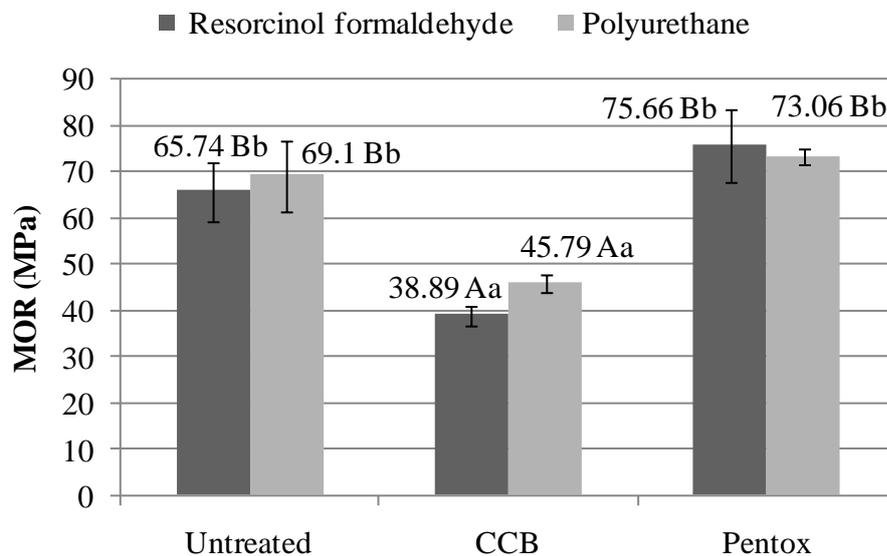


Fig. 8 Mean values obtained for MOR for the glued laminated timber produced. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.

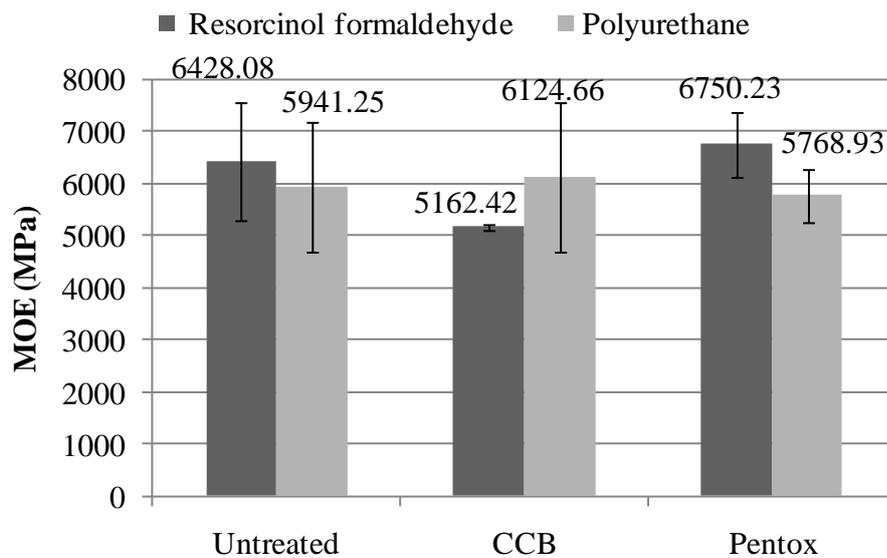


Fig. 9 Mean values obtained for MOE for the glued laminated timber produced.

The literature reports the obtaining of values ranging from 40 to 70 MPa for glued laminated beams with reinforcement of glass fibers and basalt (Thorhallsson et al. 2017). The wood treated with CCB showed the lowest mean value for MOR. This strength loss occurs between 0 and 20% depending on the product retention and severity of the drying temperature applied (Awpa 1994).

Water-based preservative treatments generally reduce the mechanical properties of the wood, and its effects are directly related to several characteristics of the material and the pre-treatment, treatment, and post-treatment process, such as: species, mechanical property, chemical or type of chemical, product retention and type of product (Winandy et al. 1992). On the other hand, in general, the water-based preservative treatment does not affect the properties of MOE when considering wood under standard conditions (Awpa 1994). For MOE, there was no statistical difference between the treatments. Segundinho et al. (2013) obtained mean values of 11188 and 10727 MPa for beams produced with *Pinus oocarpa* wood treated (CCA/CCB) and untreated, respectively.

It was observed that the rubber wood treated with CCB showed lower mean values for shear strength on the glue line for both types of adhesives (Figure 10).

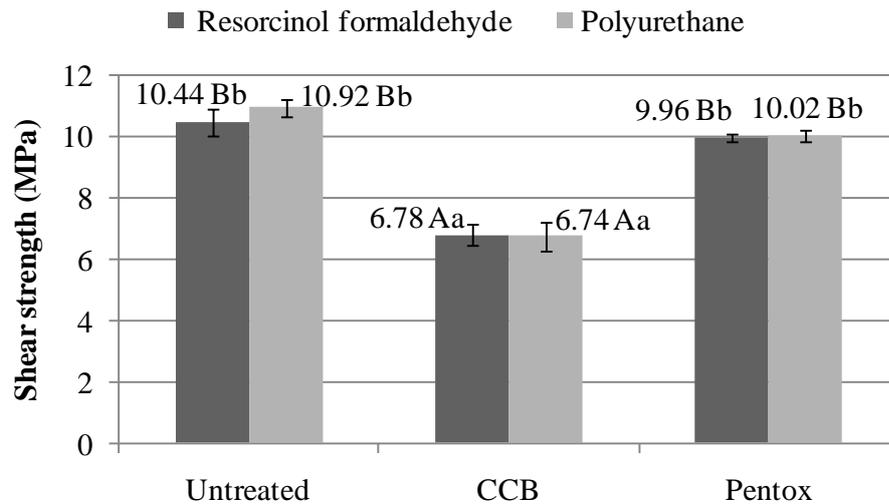


Fig. 10 Mean values obtained for shear strength on the glue line for the glued laminated timber produced. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.

Similar behavior was related by Segundinho et al. (2017) evaluating the gluing efficiency with polyurethane adhesive, in which they obtained mean values for shear strength of 12.05 and 8.29 MPa for the untreated and treated wood with CCB, respectively. The low values for wood treated with CCB may be due to the fact that the preservative treatments alter the wood surface characteristics, reducing the porosity required for adhesion (Vick 1999). In this specific case, it can be inferred that the presence of the salts in the treated wood had a negative influence on its stability. In addition, the low shear strength in the glue line of the wood treated with CCB may be explained by the interaction of the adhesive in the presence of the preservative. This interaction may be impaired by the chemical adhesion of the preservative to the cell walls, which blocks part of the molecular attraction forces (Bertolini et al. 2014).

Physical and chemical properties of the rubber wood

The pH of the wood extractives may also have impaired the strength by inhibiting chemical reactions in adhesive solidification, as well as other properties of the raw material, such as anatomical, physical or mechanical (Iwakiri 2005). However, there are controversies regarding pH, since the treatment with Pentox did not cause mechanical property losses for any of the evaluated tests. This fact may have occurred due to the form of treatment used. Pentox was applied superficially to the wood, which generally does not cause effective

penetration into the cell walls and did not reach the most internal anatomical elements such as vessels and parenchyma.

All the treatments were statistically different for the pH of the rubber wood. The wood treated with CCB obtained the highest mean value for pH (Figure 11).

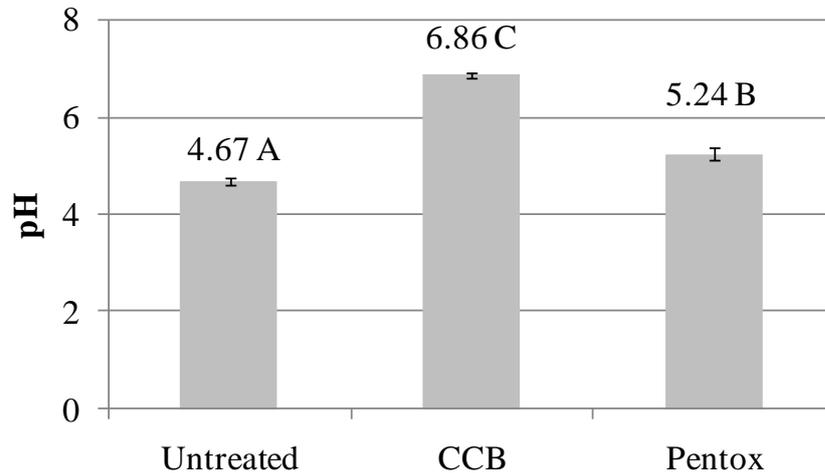


Fig. 11 Mean values obtained for pH for the untreated and treated rubber wood. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.

The pH of the wood varies according to species and usually ranges from 3 to 6, values close to those found in this study. The pH may contribute to the pre-solidification of the adhesive, impairing the ability of fluidity, moistening and penetration (Iwakiri 2005). It was noted that the highest mean value for the pH was obtained for the wood treated with CCB. During the fixation reaction, impregnated products become insoluble, avoiding the preservative leaching during the use of the wood.

As the resorcinol and polyurethane adhesives solidify in basic and acidic environment, respectively. Therefore, wood with high acidity presents greater difficulty in gluing with the resorcinol adhesive, while wood with basic pH shows greater difficulty in gluing with the polyurethane adhesive. The wood chemical composition, besides the direct relation with the production of the cellulosic pulp, is determinant for other types of wood application (Braz et al. 2014). The total extractives content obtained for the RRIM 600 rubber clone was 9.97% (Figure 12).

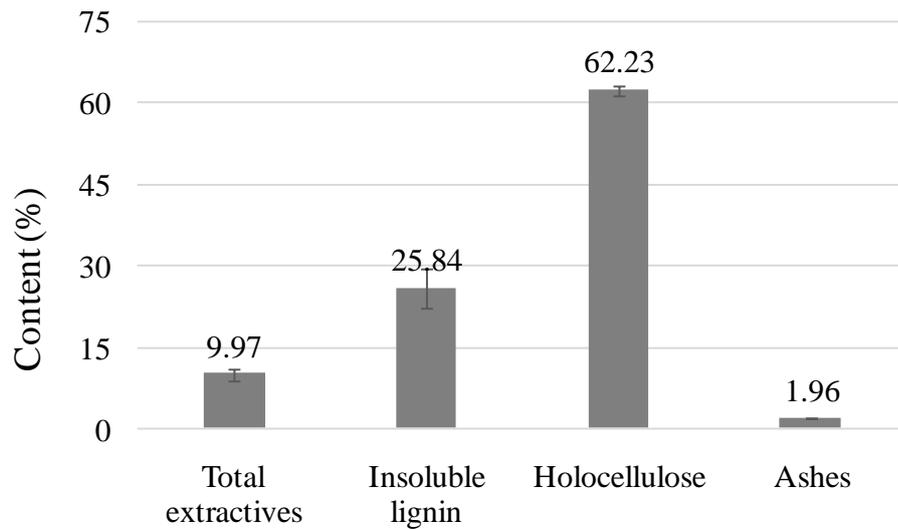


Fig. 12 Chemical composition of the rubber wood.

The wood is composed by cellulose, lignin, hemicelluloses and by several compounds called extractives. The extractives are responsible for the color, odor and resistance to rotting and attack of xylophages agents (Paes et al. 2013). The results obtained for the extractives content present in the rubber wood are of great importance, since the wood in study has low resistance to the attack of xylophages agents. Higher contents of these chemical compounds tend to reduce the useful life of structural elements where rubber wood will be used, in this case, for production of glued laminated timber beams.

It is important to emphasize the effect of the total extractives in the wood. As defended by several authors, its high concentration impairs in the gluing stage, since the extractives are the main contributors to the surface inactivation. Another problem generated by the extractives is the weak moistening of the wood, since the extractives are hydrophobic and concentrate on the surface after high temperatures. In this way, the adhesives may have an impaired penetration. For the lignin content, Riyaphan et al. (2015) obtained mean value of 21.0% for rubber wood with age of 13 years, while Honorato-Salazar et al. (2015) obtained values close to 19.84%. This chemical compound offers to the trees a structure with greater rigidity and strength (Braz et al. 2014).

The results obtained for holocellulose in this study (62.23%) are close to those found by Riyaphan et al. (2015) (71.5%) for rubber wood. The cellulose, due to its structure and arrangement in microfibrils, is responsible for the high wood axial traction strength, and the hemicelluloses and lignin added to the cellulose molecules give consistency to the cell wall, giving elasticity and compression strength to the wood (Tsoumis 1991).

The ash content was slightly higher in comparison to other studies, for example, 0.7 to 1.0% in trees with 13 years of age (Riyaphan et al. 2015) and 0.32 and 0.60% in trees with age between 17 and 41 years (Okino et al. 2010). This fact is associated with the high crystal content observed in the wood (see Figure 6-F). The effect of the wood chemical composition on the gluing quality is mainly related to the extractives concentration on the surface to be glued and also to the ash content and the wood. These characteristics may influence both the adhesive solidification time and the bond strength (Boa et al. 2014).

The moisture obtained for the wood was consistent with the local equilibrium humidity, close to 12% (Figure 13). The results were due to the fact that the wood was kept in a room with temperature of 22 ± 2 °C and 65 ± 5 % of relative humidity, presenting hygroscopic equilibrium moisture.

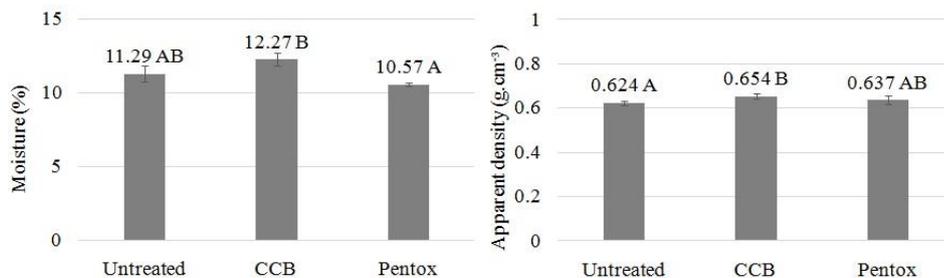


Fig. 13 Mean values obtained for the moisture and apparent density for the untreated and treated rubber wood. Means followed by the same letter do not differ by Tukey test at 5% significance.

The highest mean values of moisture were obtained for the rubber wood treated with CCB. Generally treated wood presents higher moisture content, being able to stay higher than the fiber saturation point (Winandy 1998). The wood density can be considered as a good indicator of the wood strength properties. Higher density species are more recommended when higher durability and mechanical strength of the structure are desired (Abruzzi et al. 2012). Therefore, a higher wood density reflects in a greater quantity of material per volume, offering a greater strength to the material (BRAZ et al. 2014). There was a significant difference in apparent density for the treatments studied, in which the rubber wood treated with CCB showed the highest mean value (0.654 g.cm^{-3}). The literature reports results for apparent density for the RRIM 600 rubber clone of 0.590 g.cm^{-3} (Riyaphan et al. 2015) and 0.655 g.cm^{-3} for the RRIM 605 (Kadir and Jantan 2016).

Conclusion

The quality of the gluing of the glued laminated timber veneers is directly related to the chemical composition of the wood chosen, as well as to the treatments performed in the wood. The extractives and ash content, which presented values of 9.97 and 1.96%, were consistent with the present literature results. The values of hygroscopic equilibrium moisture and apparent density for the rubber wood were 11.29% and 0.624 g.cm^{-3} , respectively. The tangential and radial shrinkage did not change with the preservative treatments. Regarding to the parallel compression strength (46.31 MPa), the rubber wood studied was compatible with several woods traditionally used in civil construction and furniture industry and meets the requirements of the standard. For the properties of MOE and shear strength, the values 6863.75 MPa and 10.84 MPa, obtained respectively for untreated rubber wood were according to those found in literature, and the performance of the preservative treatments did not affect the mechanical resistance. For the properties of glued laminated timber beams, it was observed that they presented results consistent with the literature, therefore making rubber wood an option instead pine and eucalyptus, traditionally used for the production of glued laminated timber. The results showed that CCB treatment impaired the mechanical properties of MOE, MOR and shear strength. On the other hand, the treatment with Pentox did not result in significant loss of mechanical strength of the glued laminated timber.

Acknowledgements

The authors thank to the company Imperveg by the donation of the Polyurethane. Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de Minas Gerais – FAPEMIG, Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoa de Nível Superior – CAPES, Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, Brazilian Research Network in Lignocellulosic Composites and Nanocomposites – RELIGAR. To Mr. Vádi for kindly allows the achievement of this research in his rubber tree plantation.

References

- Abruzzi RC, Pires MR, Dedavid BA et al. (2012) Relationship between mechanical properties and density of the eucalyptus wood poles with their deterioration statures. *Revista Árvore* 36:1173-1181
- ASTM D 905-08 (2013) Standard test method for strength properties of adhesive bonds in shear by compression loading. American Society For Testing And Materials, Pennsylvania

- ASTM D-143 (1995) Standard methods for conducting machining tests of wood and wood base materials. American Society For Testing And Materials, Philadelphia
- ASTM D198 (1997) Standard test methods of static tests of lumber in structural sizes. American Society For Testing And Materials, Philadelphia
- ABNT (2017) NBR 13999: Paper, board, pulps and wood - Determination of residue (ash) on ignition at 525°C. Brazilian Association of Technical Standards, Rio de Janeiro
- ABNT (2010) NBR 14853: Determination of soluble matter in ethanol-toluene and in dichloromethane and in acetone. Brazilian Association of Technical Standards, Rio de Janeiro
- ABNT (1997) NBR 7190: Design of wooden structures. Brazilian Association of Technical Standards, Rio de Janeiro
- ABNT (2010) NBR 7989: Pulp and wood - Determination of acid-insoluble lignin. Brazilian Association of Technical Standards, Rio de Janeiro
- AWPA (1994) The AWPA Book of Standards". American Wood Preservers' Association, Woodstock, MD.
- Bertolini MS, Christoforo AL, Ferro FS et al. (2014) Wood treated with CCA and CCB in the production of particle board: comparative performance. In: Brazilian Meeting on Timber and Timber Structures. 14:28.
- Boa AC, Gonçalves FG, Oliveira JTS et al. (2014) Eucalypts timber wastes glued with urea formaldehyde resin at room temperature. *Scientia Forestalis* 42:279-288
- Braz RL, Oliveira JTS, Rosado AM et al. (2014) Anatomical, physical and chemical characterization of Eucalyptus clones grown in areas subject to action of winds. *Ciência da Madeira (Brazilian Journal of Wood Science)*. <http://doi.org/10.12953/2177-6830.v05n02a07>
- Eufrade Jr HJ, Ohto JM, Silva LL et al. (2015) Potential of rubberwood (*Hevea brasiliensis*) for structural use after the period of latex extraction: a case study in Brazil. *J Wood Sci* 61:384-390
- Gerengi H, Tascioglu C, Akcay C et al. (2014) Impact of Copper Chrome Boron (CCB) Wood Preservative on the Corrosion of St37 Steel. *Industrial & Engineering Chemistry Research*. <https://doi.org/10.1021/ie5033342>
- Hara MM, Matoski A, Magajewski C et al. (2014) Resistance to shear parallel to wood fiber by stress induced puncturing. *Revista Engenharia e Construção Civil*, 1:40-54
- Honorato-Salazar JA, Coloti-Hernández G, Apolinar-Hidalgo F et al. (2015) Main wood chemical constituents of *Ceiba pentandra*, *Hevea brasiliensis* and *Ochroma pyramidale*. *Madera y Bosques* 21:131-146
- Hsing TY, Paula NF, Paula RC (2016) Dendrometric and chemical traits and basic density wood of *Eucalyptus grandis* x *Eucalyptus urophylla* hybrids. *Ciência Florestal*. <https://doi.org/10.5902/1980509821119>
- Hu J, Shen Y, Pang S et al. (2013) Application of hinokitiol potassium salt for wood preservative. *Journal of Environmental Sciences*. [https://doi.org/10.1016/S1001-0742\(14\)60621-5](https://doi.org/10.1016/S1001-0742(14)60621-5)

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Produção Agrícola Municipal - Culturas temporárias e permanentes. v. 43, 64 p., 2016. Disponível em: <https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/periodicos/66/pam_2016_v43_br.pdf>.

International Association Of Wood Anatomists. List of microscopic features for hardwood identification. IAWA Bulletin, Cham, v. 10, n. 3, p. 221-359, 1989.

Iwakiri S (2005) Panels wood reconstituted. Fupef, Curitiba

Kadir R, Jantan M (2016) Enhancement of *Hevea brasiliensis* properties through chemical application. Annals of the Brazilian Academy of Sciences. <https://dx.doi.org/10.1590/0001-3765201620150650>

Klitzke RJ (2007) Drying of wood. In: Oliveira J. T. S.; Fiedler, N. C.; Nogueira, M. Publishers, Jerônimo Monteiro

Lelis R (1995) On the importance of the core constituents of compulsorily harvested conifer trees in the production of moisture-resistant and biologically resistant chipboard, using the example of Douglas fir (*Pseudotsuga menziesii* Mirb. Franco). Tesis, University of Göttingen

Lima RR, Tourinho MM, Costa JPC (2000) Fluvial-navy floodplains of the Brazilian Amazon: Characteristics and agricultural possibilities. Faculdade de Ciências do Pará, Belém

Mady FTM (2010) Course in Physics of Madeira, Mechanical Properties. Universidade Federal do Amazonas. Available in: www.conhecendoamadeira.com/fisica/10_propriedades_mecanicas.pdf

Majumdar MSM, Das AK, Shams MI et al. (2014) Effect of age and height position on physical and mechanical properties of rubber wood (*Hevea brasiliensis*) of Bangladesh. Bangladesh Journal of Scientific and Industrial Research 49:79-84

Muzel SD, Lima LR, Gava M et al. (2014) Multilayer Medium Density Particleboard Using Castor Oil-Based Polyurethane Resin and *Hevea brasiliensis* wood. Advanced Materials Research 1025-1026:559-563

Neto CC, Christoforo AL, Filho SLMR et al. (2014) Evaluation of strength to shear and delamination in glued laminated wood. Ciência Florestal 24:989-996

Okino EYA, Resck IS, Santana MAE et al. (2010) Evaluation of wood chemical constituents of *Hevea brasiliensis* and Cupressus decomposed by *Gloeophyllum striatum* using CP/MAS 13C NMR and HPLC techniques. Journal of Tropical Forest Science 22:184–196

Okino EYA, Souza, MR, Santana MAE et al. (2004) Cement-bonded particleboard of *Hevea brasiliensis* Müll. Arg. Revista Árvore. <https://doi.org/10.1590/S0100-67622004000300016>

Okino EYA, Teixeira DE, Souza MR et al. (2009) Oriented strand board made of pine, cypress and rubberwood. Floresta 39:457-468

Paes JB, Neto PNM, Lima CR et al. (2013) Effects of extractives and ash on natural resistance of four woods to xylophagous termites. Cerne 19:399-405

Peylo A, Willeitner H (1995) The problem of reducing the leachability of boron by water repellents. Holzforschung 49:211-216

Pfeil W, Pfeil M (2003) Wooden structures. LTC, Rio de Janeiro

Ramos LMA, Latorraca JVF, Lima HRP et al. (2018) Intra-specific variation in the anatomy of *Hevea brasiliensis* (Willd. Ex A. Juss.) Mull. Arg. related to tapping activity. Floresta. DOI: 10.5380/RF.V48 I2.55584

Ratanawilai T, Nuntadusit C, Promtong N (2015) Drying characteristics of rubberwood by impinging hot-air and microwave heating. Wood Research 60:59-70

Riyaphan J, Phumichai T, Neimsuwan T et al. (2015) Variability in chemical and mechanical properties of Pará rubber (*Hevea brasiliensis*) trees. ScienceAsia . <http://doi.org/2306/scienceasia1513-1874.2015.41.251>

Segundinho PGA, Carreira MR, Neto CC et al. (2013) Evaluation of the modulus of elasticity of glued laminated timber beams obtained by transverse vibration. Ambiente Construído 13:7-14

Segundinho PGA, Gonçalves FG, Gava GC et al. (2017) Efficiency of the glue line in the treated wood *Eucalyptus cloeziana* F. Muell for glued laminated (glulam) beams production. Revista Matéria. <https://doi.org/10.1590/S1517-707620170002.0140>

Thorhallsson ER, Hinriksson GI, Snaebjornsson JT (2017) Strength and stiffness of glulam beams reinforced with glass and basalt fibres. Composites Part B. <https://doi.org/10.1016/j.compositesb.2016.09.074>

Vick CB (1999) Bonding Wood and Wood Products IN: “Wood Handbook: Wood as an Engineering Material”, Washington, Forest Products Laboratory USDA/FS. Cap.9.

Winandy JE (1988) Effects of treatment and redrying on mechanical properties of wood. 54-62.

Winandy JE, Barnes HM, Michell PH (1992) The effect of initial and post-treatment drying temperature on the tensile strength of CCA-treated Southern Pine. Journal of Materials in Civil Engineering 4:240-251