

FRANCIELE OLIVEIRA DE CÓRDOVA

**DESEMPENHO TECNOLÓGICO DE VIGAS EM
MADEIRA LAMINADA COLADA DE PARICÁ
(*Schizolobium amazonicum*) TRATADAS
QUIMICAMENTE**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, da Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo

LAGES
2015

C796d

Córdova, Franciele Oliveira de

Desempenho tecnológico de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum*) tratadas quimicamente / Franciele Oliveira de Córdova. - Lages, 2015.

128 p. : il. ; 21 cm

Orientador: Rodrigo Figueiredo Terezo

Bibliografia: p. 109-119

Dissertação (mestrado) - Universidade do Estado de

Santa Catarina, Centro de Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

1. Material não convencional. 2. Estruturas de madeira. 3. Floresta plantada. I. Córdova, Franciele Oliveira de. II. Terezo, Rodrigo Figueiredo. III. Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal. IV. Título

Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Setorial do
CAV/ UDESC

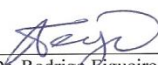
FRANCIELE OLIVEIRA DE CÓRDOVA

**DESEMPENHO TECNOLÓGICO DE VIGAS EM MADEIRA LAMINADA COLADA DE PARICÁ
(*Schizolobium amazonicum*) TRATADAS QUIMICAMENTE**


Dissertação apresentada ao curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal como requisito parcial para a obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Banca Examinadora


Orientador: _____


Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo
Departamento de Engenharia Florestal
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV

Membro: _____


Prof. Dr. Leonardo de Brito Andrade
Departamento de Engenharia Rural
Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC

Membro: _____


Prof. Dr. Carlos Augusto de Paiva Sampaio
Departamento de Agronomia
Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/CAV

Lages, 27/02/2015

AGRADECIMENTOS

À Deus pela força para enfrentar todos os momentos e por todas as graças recebidas hoje e sempre.

Ao professor Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo, meu orientador, pela confiança, pelo apoio e estímulo para seguir na carreira acadêmica, pela dedicação em me orientar e por ser um exemplo de grande professor e ser humano.

Ao meu esposo Felipe, pelo amor, dedicação, companheirismo e incentivo nesta jornada, seria bem mais difícil seguir sem ter seu apoio.

À minha mãe e irmã por acreditarem mais uma vez em mim e estarem sempre ao meu lado torcendo pelo meu sucesso.

Em especial ao meu pai, pelo apoio, dedicação e conselhos dados, por me incentivar no início deste trabalho e por sempre acreditar que concluiria esta jornada, mesmo sabendo que não estaria mais presente fisicamente ao final desta etapa. Acredito que ainda estás me abençoando.

Aos professores por partilharem seus conhecimentos.

Aos colegas Bruna, Matheus, Talitha, Francisco, Douglas, Camila e Helena, pela amizade e apoio que foram fundamentais para a conclusão desta etapa.

Ao Sr. João Francisco de Deus Neto e empresa Tramontina Belém S/A pela doação e beneficiamento da madeira e a todos que contribuíram para a chegada deste material à UDESC; à

empresa TRATTAR pelo tratamento químico; Ao SENAI e principalmente Sr. Darci pelo beneficiamento das lâminas e vigas; A toda equipe do Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE), do departamento de engenharia civil, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), pelo apoio nos ensaios realizados;

Ao CNPq pelo projeto que acaba de ser aprovado e CAPES pela bolsa de estudos;

Ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal.

RESUMO

CÓRDOVA, Franciele Oliveira de. **Desempenho tecnológico de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium amazonicum*) tratadas quimicamente**. 2015. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2015.

Elementos estruturais em madeira laminada colada (MLC) são constituídos, em sua maioria, com madeiras exóticas de florestas plantadas. Entretanto, são poucas as pesquisas que avaliem o desempenho de espécies nativas de floresta plantada no Brasil para uso em MLC. Este trabalho tem como objetivo avaliar o desempenho tecnológico da espécie nativa de floresta plantada, o paricá (*Schizolobium amazonicum*) na composição de vigas em MLC, tratada quimicamente. Foram realizados ensaios para caracterização mecânica, bem como o seu desempenho mediante a preservação e a colagem. Foram realizados três tratamentos: vigas MLC sem tratamento químico; vigas MLC com lâminas tratadas quimicamente e vigas MLC tratadas quimicamente depois da colagem de lâminas não tratadas. As vigas eram de dimensões aproximadas de 5,0x10,0x240,0 cm compostas por quatro lâminas. A posição das lâminas se deu conforme classificação por meio de teste não destrutivo em que foi determinado o módulo de elasticidade. Foi realizada uma comparação entre a deformação analítica, esta determinada por meio do Método de Homogeneização da Seção (MHS) e deformação experimental, esta determinada por meio de ensaio de flexão a quatro pontos.

Os experimentos com MLC de paricá imunizado quimicamente, mostraram que não houve perda de resistência significativa, sendo equivalentes para vigas MLC tratadas e não tratadas quimicamente, e sua colagem também não é prejudicada pelo tratamento químico. As deformações analíticas e experimentais também foram equivalentes. Com base nos resultados pode-se afirmar que tanto o tratamento químico de lâminas, como o tratamento da viga MLC como o todo, não afetam significativamente o desempenho mecânico das vigas em MLC de paricá.

Palavras-chave: material não convencional; estruturas de madeira; floresta plantada

ABSTRACT

CÓRDOVA, Franciele Oliveira de. **Technological performance of glue-laminated timber beams paricá (*Schizolobium amazonicum*) chemically treated.** 2015. 128 f. Dissertation (MSc in Forest Engineering - Area: Wood Technology) - Santa Catarina State University. Postgraduate Program in Forest Engineering, Lages, 2015.

Structural elements in glued laminated timber (GLT) are made mostly with exotic wood from planted forests. However, are little studies to evaluate the performance of native forest species planted in Brazil for use in GLT. This work aims to evaluate the technological performance of the native species of planted forest, paricá (*Schizolobium amazonicum*) in the composition of beams GLT, chemically treated. Assays were performed to mechanical characterization, as well as its preservation and performance by gluing. It was conducted three treatments: GLT beams without chemical treatment; GLT beams with blades chemically treated and GLT beams chemically treated after bonding of untreated blades. The beams were of approximate dimensions 5,0x10,0x240,0 cm consisting of four blades. The position of the blades according to the classification given by way of non-destructive testing has been determined that the modulus of elasticity. A comparison between the analytical strain was performed by means of this particular section of the Homogenization Method (HMS) and experimental deformation determined by this bending test at four points. Experiments with GLT paricá chemically immunized, showed that there is no significant resistance loss, being equivalent to MLC beams treated and untreated chemically, and your collage is also not affected by the chemical treatment. Based on the results, it can be stated that

both the chemical treatment blades such as the treatment of GLT beam as the whole, do not significantly affect the mechanical performance of the beams in GLT paricá.

Keywords: unconventional materials; timber structures; planted forest

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Árvores jovens de paricá	37
Figura 2 - Árvore jovem (6 meses) de <i>Schizolobium amazonicum</i>	39
Figura 3 - Aspecto final das peças após aplainamento.....	40
Figura 4 - Desbaste com 8 anos de idade para laminação.....	41
Figura 5 - Esquema e montagem de uma viga de madeira laminada colada.....	46
Figura 6 - Tipos de emendas utilizadas em ligações longitudinais em MLC	47
Figura 7 - Construção de grande porte em MLC. Residência em Búzios – RJ.....	50
Figura 8 - vigas em MLC pronta para o transporte. Viamão-RS	51
Figura 9 - Estruturas com curvatura: (a) Florianópolis-SC e (b) Shopping em Fortaleza – CE.....	51
Figura 10 - Usos MLC: (a) Residência em Búzios – RJ e (b) Ginásio em Lages –SC	52
Figura 11 - Aplicações de vigas MLC: (a) Pavilhão Atlântico, Lisboa; (b) Escada, Porto Alegre – RS; (c) Biblioteca, SP; (d) Ponte em Luzern, Suíça; (e) Haras; (f) Cobertura de piscina, Gramado – RS;.....	54
Figura 12 - Esquadrejamento das lâminas.....	66
Figura 13 - Peça descartada por rachadura.....	67
Figura 14 - Esquema de obtenção da deformação das lâminas: (a) lâmina pronta para o teste; (b) Peso aplicado na lâmina; (c) Régua medindo a deformação; (d) visão geral do esquema para o teste.....	69
Figura 15 - Composição da viga	70
Figura 16 - Esquema de classificação das lâminas	71

Figura 17 - Aplainamento das lâminas.....	72
Figura 18 - Incorporação do adesivo e pó endurecedor	73
Figura 19 - Confeção das vigas: (a) Aplicação do adesivo; (b) Contenção lateral da viga.	74
Figura 20 - Prensagem das vigas: (a) Vigas na prensa; (b) Detalhe da contenção lateral na prensa	75
Figura 21 - Acabamento das vigas: a) Destopo; b) Aplainamento	76
Figura 22 - Aspecto final do produto	76
Figura 23 - Medição das vigas: a) comprimento; b) largura; c) altura.....	77
Figura 24 - Geometria (dimensões em cm) e MOE dos elementos componentes da viga: a) Seção original; b) Seção transformada.....	79
Figura 25 - Esquema do ensaio de flexão a quatro pontos.....	83
Figura 26 - Diagrama carga x flecha na flexão	84
Figura 27 - Diagrama de carregamento para determinação da rigidez à flexão	85
Figura 28 - Teste de flexão: (a) esquema de ensaio a quatro pontos; e (b) posicionamento dos transdutores de deslocamento entre os pontos de aplicação de carga.	86
Figura 29 - Máquina Universal de Ensaaios	87
Figura 30 - Corpo de prova de tração normal à linha de cola (dimensões em mm).	88
Figura 31 - Corpo de prova de cisalhamento paralelo à linha de cola (dimensões em mm).....	89
Figura 32 - Testes de resistência da linha de cola (a) teste de tração normal e (b) teste de cisalhamento	89
Figura 33 - Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaios: (a) cisalhamento paralela à linha de cola; (b) tração normal à linha de cola.....	104

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Características e área de plantios florestais com outros grupos de espécies no Brasil, 2010-2012	35
Tabela 2 - Propriedades mecânicas do paricá.	44
Tabela 3 - Propriedades físicas do paricá.	44
Tabela 4 - Módulos de Elasticidade das lâminas da seção original; propriedades geométricas e módulo de referência E_c (em negrito) da seção transformada para diversas vigas de MLC.	94
Tabela 5 - Comparação entre valores analíticos e experimentais de flechas máximas obtidas nas vinte e uma vigas de MLC ensaiadas a flexão a quatro pontos.	95
Tabela 6 - Resumo da comparação entre os tratamentos das flechas analíticas e experimentais.	98
Tabela 7 - Resultado estatístico ANOVA para flechas analíticas e experimental.	98
Tabela 8 - Teste de normalidade	99
Tabela 9 - Resumo da comparação entre os tratamentos: MOE.	99
Tabela 10 - Resultado estatístico ANOVA para MOE.	99
Tabela 11 - Módulos de elasticidade (MOE) determinados através do ensaio de flexão a quatro pontos.	100
Tabela 12 - Teste de normalidade: cisalhamento paralelo à linha de cola.	102
Tabela 13 - Teste de normalidade: tração normal à linha de cola.	102
Tabela 14 - Resistência característica ao cisalhamento paralelo à linha de cola.	102

Tabela 15 - Resistência característica à tração normal à linha de cola.	103
Tabela 16 - Resultado estatístico ANOVA para cisalhamento paralela à linha de cola.	105
Tabela 17 - Resultado estatístico ANOVA para tração normal à linha de cola.....	105

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	29
1.1 GENERALIDADES.....	29
1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA	31
1.2 OBJETIVOS.....	31
1.2.1 Objetivo Geral	31
1.2.2 Objetivos Específicos.....	32
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	33
2.1 MADEIRAS DA FLORESTA AMAZÔNICA	33
2.2 FLORESTA PLANTADA.....	34
2.3 PARICÁ	37
2.3.1 Potencialidades da espécie	41
2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas	43
2.4 MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)	45
2.4.1 MLC no Brasil	48
2.4.2 Vantagens.....	49
2.4.3 Usos.....	53
2.5 ADESIVOS	55
2.5.1 Poliuretano.....	57
2.5.2 Resorcina Formaldeído.....	57
2.6 CONTROLE DE QUALIDADE EM MLC	58
2.7 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS	59
2.8 PRESERVANTES QUÍMICOS.....	60
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	64
3.1 OBTENÇÃO DAS LÂMINAS	64
3.1.1 Classificação visual.....	66
3.1.2 Determinação do Módulo de Elasticidade	68
3.2 TRATAMENTO QUÍMICO	71
3.3 CONFECÇÃO DOS ELEMENTOS DE MLC	72
3.3.1 Colagem das lâminas.....	72
3.3.2 Esquadrejamento	75
3.4 MÉTODO DE HOMOGENEIZAÇÃO DA SEÇÃO (MHS)	77
3.5 ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA.....	82
3.6 CARACTERIZAÇÃO DAS LINHAS DE COLAGEM....	87

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO	90
3.7.1 Kolmogorov-Smirnov.....	90
3.7.2 Shapiro-Wilk (SW).....	91
4 RESULTADOS E DISCUSSÕES	93
4.1 MÉTODO DE HOMOGENEIZAÇÃO DA SEÇÃO (MHS)	93
4.2 FLEXÃO ESTÁTICA	98
4.3 RESISTÊNCIA DE LINHA DE COLA	101
5 CONCLUSÃO	106
6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS	108
REFERÊNCIAS	109
APÊNDICES.....	121

1 INTRODUÇÃO

1.1 GENERALIDADES

Como as exigências do mercado consumidor de produtos florestais tem aumentado a cada dia, as indústrias requerem cada vez mais florestas altamente produtivas e matéria-prima com altos padrões de qualidade e uniformidade, a fim de obter produtos com melhores características e que agreguem maior valor (BERGER, 2002).

No Brasil existem florestas plantadas de espécies de árvores exóticas como as dos gêneros *Eucalyptus* e *Pinus*, que são os principais. Sem contar que a região amazônica brasileira apresenta imenso contingente de espécies de madeiras ainda inexploradas (ALMEIDA *et al*, 2013).

Apesar de na Amazônia ainda não existir a tradição de plantios de espécies nativas, as florestas plantadas vem ganhando espaço, sendo uma das soluções alternativas para a recuperação econômica de áreas degradadas, com espécies de rápido crescimento. Esta atividade vem se apresentando como uma excelente alternativa de produção e comercialização de madeira nos últimos vinte anos, na região Amazônica (TEREZO, 2010).

O paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber), espécie amazônica de grande potencial econômico, tem conquistado cada vez mais destaque entre as espécies plantadas no Brasil, pois possui incrementos em altura e diâmetro que possibilitam sua utilização em poucos anos (ALMEIDA *et al*, 2013).

De acordo com Marques *et al*. (2006), a madeira de paricá apresenta facilidade em relação à remoção da casca, laminação, secagem, prensagem e excelente acabamento. Silva e Leão (2006) descrevem que a madeira paricá é de baixa durabilidade natural, sendo suscetível ao ataque de organismos xilófagos, Portanto, um tratamento preservativo é necessário

para que esta madeira possa ser empregada como elemento não temporário (TEREZO, 2010).

Nos últimos anos, devido à grande preocupação com o impacto ambiental, sustentabilidade e necessidade de utilizar elementos estruturais de qualidade, ocorreram grandes evoluções 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, 2011).

Partindo dessa realidade, têm surgido no cenário madeireiro, novas tecnologias e pesquisas para o uso da madeira no âmbito da construção civil, no Brasil. Sendo assim, a Madeira Laminada Colada (MLC), também conhecida na literatura como *glued laminated timber* ou *glulam*, apresenta-se como uma alternativa para o aproveitamento racional da madeira serrada. A MLC pode ser dimensionada para atender uma disponibilidade geométrica antes não disponível para a madeira serrada, sendo possível utilizar peças de madeira com seções transversais e espessuras menores. A possibilidade de formar arcos e componentes estruturais com curvaturas e grandes vãos aumentou a popularidade da MLC em países da Europa e nos Estados Unidos. No Brasil, existem poucas fábricas no setor, porém um número significativo de trabalhos acadêmicos tais como as pesquisas de CALIL NETO (2011), CALIL NETO et al (2012), CAVALHEIRO (2014), FAGUNDES e SZUCS (1998), FIORELLI (2005), FURTADO (2014), GROHMANN e SZUCS (1998), LA ROVERE (1998), MACEDO e CARLIL JUNIOR (1999), MIOTTO e DIAS (2009), TELES (2009), TEREZO (2010), ZANGIÁCOMO

(2003), têm sido desenvolvido nos últimos 10 anos, aumentando o número de informações a respeito do assunto.

1.2 FORMULAÇÃO DO PROBLEMA

Pesquisas realizadas por Terezo (2010) revelam que a madeira de paricá pode ser empregada em elementos estruturais na forma de MLC, pois sua classe de resistência é equivalente a C-20 (Resistência de 20 MPa à tensões de compressão paralela às fibras da madeira). Entretanto, sua baixa durabilidade compromete seu uso como um bem durável e principalmente como elemento estrutural. Neste sentido, esta pesquisa tenta-se responder os seguintes questionamentos: (1) é possível produzir MLC com paricá imunizado quimicamente?; (2) Existe perda de resistência mecânica ao se utilizar lâminas tratadas de paricá?; e (3) É possível que se obtenha uma perda de resistência na linha de colagem quando se utiliza lâminas de paricá tratadas quimicamente?

A pesquisa proposta permitirá a aplicação da madeira de paricá em produtos alternativos como vigas de MLC para uso estrutural entre outros no setor da construção civil como: clear blocks e caixilhos com lâminas sem defeitos coladas por finger-joints.

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo Geral

O objetivo da presente pesquisa consiste em analisar o desempenho mecânico de vigas em Madeira Laminada Colada utilizando madeiras tratadas de parica (*Schizolobium amazonicum*) provenientes de floretas plantadas da Amazônia.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os objetivos específicos desta pesquisa são:

- Aplicar e analisar uma metodologia simplificada de ensaio de análise simplificada das lâminas para a composição de vigas MLC;
- Avaliar o desempenho da linha de colagem das vigas MLC com e sem o tratamento químico da madeira;
- Avaliar o potencial da espécie em composições com melhor rendimento de lâminas tratadas e não tratadas quimicamente sob as vigas estruturais de MLC;
- Avaliar a influência do tratamento químico sobre a resistência das vigas;
- Determinar as relações de desempenho das propriedades mecânicas das vigas de MLC antes e depois do processo de tratamento químico.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 MADEIRAS DA FLORESTA AMAZÔNICA

A Amazônia Brasileira abriga recursos florestais imensuráveis, ou seja, um terço das florestas tropicais do mundo, com volume estimado em 60 bilhões de metros cúbicos de madeira em tora, cujo valor econômico potencial pode alcançar 4 trilhões de reais em madeira serrada; além de abrigar algumas milhares de espécies de árvores, das quais cerca de 350 já estão sendo extraídas para fins madeireiros (BARROS e VERÍSSIMO, 2002).

Desde o início da colonização, a extração de madeira na Amazônia era praticada em pequena escala, principalmente por comunidades ribeirinhas. Entretanto, no final da década de 70, a construção de rodovias e o esgotamento dos estoques de madeira nas florestas do Sul e Sudeste do Brasil provocaram uma mudança significativa na exploração madeireira (UHL *et al.*, 1997).

Na Amazônia, a atividade se concentra ao longo de um arco que vai do estado de Rondônia passando pelo Mato Grosso até o Pará, o principal produtor de madeira da região. Aproximadamente 80% do volume explorado vêm das florestas de terra firme, enquanto a produção originária da várzea representa apenas 20%. Nas regiões mais remotas, os madeireiros entram na floresta em busca apenas de espécies altamente valiosas e nas áreas mais próximas, de fácil acesso, o baixo custo de transporte permite a exploração de mais de cem espécies (REMADE, 2001).

Na Amazônia, as empresas madeireiras foram aglomerando-se em centros urbanos que estavam sendo criados ao longo das rodovias, formando os polos madeireiros. Esses polos tendem a se desenvolver em áreas que concentram serviços, infraestrutura como energia, comunicação, saúde e sistemas bancários e mão-de-obra disponível. Uma localidade é

considerada um polo madeireiro quando o volume de sua extração e consumo anual de madeira em tora é igual ou superior a 100 mil metros cúbicos (VERÍSSIMO et al., 1998). Estes polos madeireiros hoje são cidades e migraram do extrativismo para o plantio florestal.

Das espécies nativas da floresta Amazônica, a exploração florestal tem, há décadas, priorizado as árvores de espécies produtoras de “madeira nobre”, como as de *Cedrela* sp, *Amburana cearensis*, *Tabebuia* sp, dentre inúmeras outras (BRASIL, IMAZON, 2010). No entanto, verifica-se um gradativo aumento na demanda de árvores de outras espécies de rápido crescimento e que produzem madeira de qualidade para a indústria de laminação, serraria, etc., como o *Schizolobium amazonicum* (paricá), a *Ceiba pendantra* (samauma) e a *Hura crepitans* (assacu), etc. (BARBOSA et al., 2001; TEREZO e SZUCS, 2010).

2.2 FLORESTA PLANTADA

Para a economia brasileira e para a sociedade em geral, o setor de florestas plantadas contribui com uma parcela importante na geração de produtos, tributos, empregos e bem-estar. O setor é estratégico no fornecimento de matéria-prima e produtos para a exportação e favorece, de maneira direta, a conservação e preservação dos recursos naturais. A produção de florestas possui a característica de ser um investimento de longo prazo que exige consciência e diligência na política e planejamento, mas, sobretudo, nas práticas de gestão, a fim de evitar impactos negativos (ABRAF, 2013).

As florestas plantadas oferecem uma variada gama de produtos madeireiros e não madeireiros, tanto para investidores corporativos como para pequenos produtores que buscam fins comerciais ou de subsistência. Além de seus produtos, as florestas plantadas disponibilizam uma série de serviços sociais

e ambientais, que vão desde a reabilitação de terras degradadas, o combate à desertificação do solo, sequestro e armazenamento de carbono, até a amenização das paisagens. As florestas plantadas também contribuem para complementar e suplementar as iniciativas para reduzir as emissões de gases de efeito estufa por desmatamento e a degradação florestal em países em desenvolvimento (ABRAF, 2013).

Segundo a ABRAF (2013), em 2012, a área ocupada por plantios florestais de espécies não convencionais, como Acácia, Araucária, Pópulus, Teca, Seringueira e Paricá, foi de 521.131 ha, representando 7,2% da área total de plantios florestais no Brasil. Em relação a 2011, a área plantada com essas espécies apresentou um aumento de 6,5% (Tabela 1).

Tabela 1 - Características e área de plantios florestais com outros grupos de espécies no Brasil, 2010-2012

Espécies	Nome Científico	Estados	Área de Plantios (ha)		
			2010	2011	2012
Acácia	<i>Acacia mearnsii</i> e <i>Acacia mangium</i>	AP, MT, PR, RR, RS, AM	127.600	146.813	148.311
Seringueira	<i>Hevea brasiliensis</i>	SP, MS, TO	159.500	165.648	168.848
Paricá	<i>Schizolobium amazonicum</i>	PA, MA, TO	85.470	85.473	87.901
Teca	<i>Tectona grandis</i>	MT, PA, RR	65.440	67.693	67.329
Araucária	<i>Araucaria angustifolia</i>	PR, RS, SC, SP	11.190	11.179	11.343
Pópulus	<i>Populus</i> spp.	PR, SC	4.221	4.220	4.216
Outras	-	-	8.969	8.256	33.183
Total			462.390	489.282	521.131

Fonte: Anuário ABRAF (2012), Associadas individuais e coletivas da ABRAF (2013)

O paricá é uma espécie florestal indicada para plantações na região amazônica e atualmente é considerada uma das mais importantes espécies florestais nativas, tanto para a ecologia, como para a economia florestal brasileira, especialmente a amazônica. Possui extraordinária capacidade de dispersão, e é componente importante na sucessão secundária da floresta tropical úmida, estando presente como espécie pioneira na regeneração natural da floresta (RIBEIRO, 1997).

O plantio com paricá em escala comercial na cidade de Dom Eliseu (PA) teve início no final de 1993 e é uma das poucas espécies florestais com silvicultura relativamente fácil, sendo um destaque a desrama natural. O principal cuidado é a limpeza nos primeiros anos para evitar o mato competição (AMATA, 2009).

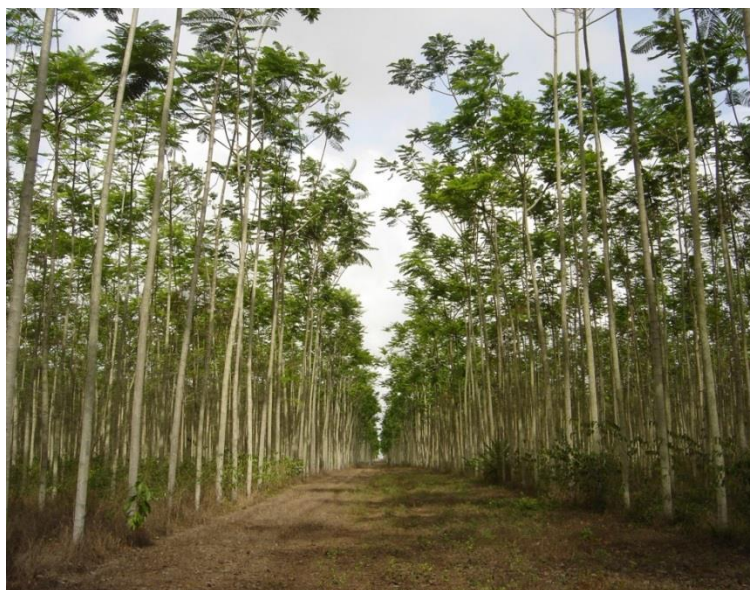
Em menos de uma década, aproximadamente 50 mil hectares de paricá foram implantados, com retorno esperado a uma taxa que ultrapassa os 20% ao ano. O sucesso do uso dessa espécie deveu-se aos resultados da pesquisa em silvicultura, a utilização de novos equipamentos para o desdobro das toras, e o empreendedorismo das empresas. A pesquisa silvicultural com o paricá remonta da década de 70, quando diversos ensaios foram realizados em várias partes da Amazônia. Os resultados preliminares já demonstravam que a espécie era de fácil propagação por sementes, apresentava rápido crescimento e a árvore era de fuste reto, desprovido de galhos, o que reflete favoravelmente na qualidade da madeira. Somente na década de 90, foi que os reflorestamentos começaram a ganhar escala. Para tanto, houve importante contribuição das instituições de pesquisas que atuam na região, divulgando os seus resultados e demonstrando as tecnologias desenvolvidas por meio do plantio do paricá, em sistema

agrossilvipastoril, especialmente na região de Paragominas no Pará, Brasil (YARED, 2007).

2.3 PARICÁ

O paricá, *Schizolobium amazonicum*, Herb. pertence à família *Leguminosae* e subfamília *Caesalpinaceae*, é uma árvore que pode atingir altura de 20 a 30 m e com tronco de até 1 m diâmetro, com ocorrência praticamente em todo o Brasil, com exceção da região Sul. De acordo com Matsubara (2003) apresenta tronco bem cilíndrico, bem formado e reto, sem nós, revestido por casca grossa. Nas árvores jovens (Figura 1), o tronco tem coloração verde acentuada e com cicatrizes transversais deixadas pela queda das folhas. Às vezes, apresenta sapopemas basais. O fuste mede até 25 m de comprimento.

Figura 1 - Árvores jovens de paricá



Fonte: Terezo, 2010.

Na floresta Amazônica está presente na mata primária e secundária de terra firme e várzea alta dos estados de Rondônia, Amazonas, Pará e Mato Grosso, apresentando crescimento excessivamente rápido (Figura 2) (MARQUES, 2004). Quisen *et al.* (1999) também descrevem que o paricá possui crescimento inicial vigoroso, chegando aos quinze anos com 55 cm de Diâmetro à Altura do Peito (DAP) (medida tomada a 1,30 m da base do tronco podendo ser obtida diretamente com suta (compasso florestal) ou indiretamente com fita métrica ou fita diamétrica, assumindo-se que a secção transversal do tronco é um círculo para fazer a conversão da medida de circunferência em diâmetro.) e aproximadamente 150 a 340 m³/hectare, dependendo da densidade do plantio. O paricá apresenta rápido desenvolvimento, em altura e em diâmetro e, por isso, está incluído na seleção de espécies de leguminosas para consórcios agroflorestais na Amazônia (MARQUES, 2004).

Figura 2 - Árvore jovem (6 meses) de *Schizolobium amazonicum*.



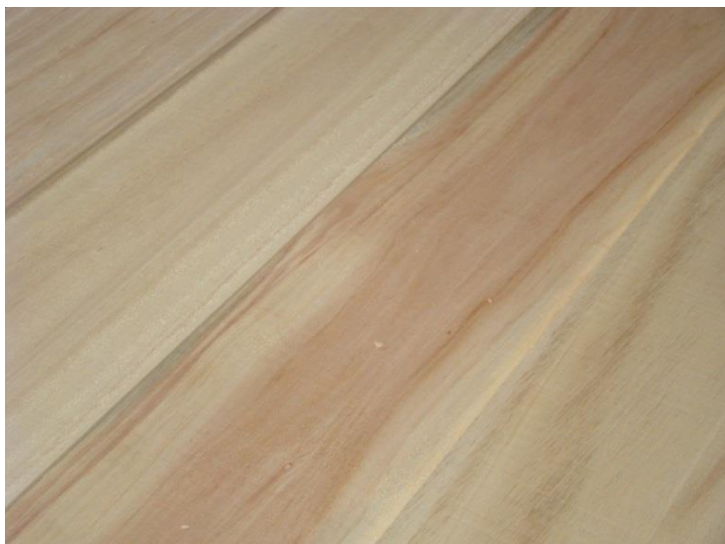
Fonte: AMATA, 2009

O paricá possui cerne e albarno pouco distintos, cor branca e camadas de crescimento indistintas. Sua grã foi considerada ondulada, de textura média e com brilho acentuado. Seu cheiro é imperceptível e macia quanto ao corte transversal manual. É indicada para embarcação, embalagens, paletes, brinquedos, artigos de esporte e palitos de fósforo. Sua densidade básica é de 490 kg/m³. Esta madeira é comumente conhecida também como: bacurubu, bacuruva, birosca, bandarrra, caixeta, ficheiro, pinho cuiabano, guapiruvu, guapuruvu e guapuruva (CORADIN *et al.* 1993).

“Evitar a dependência da liberação de planos de manejo e garantir o fornecimento da própria matéria-prima, que estava escassa”: estes foram alguns dos motivos para empresários do Pará investirem no paricá. A escolha se deve ao fato dele ser

uma espécie de rápido crescimento, com abundância de sementes, excelentes desenvolvimentos em plantios comerciais, facilidade na produção de mudas e produção de madeira de cor clara, homogênea e sem nó (Figura 3), que conquistou o mercado interno e externo (AMATA, 2009).

Figura 3 - Aspecto final das peças após aplainamento



Fonte: TEREZO, 2010

Torna-se, então, de grande importância conhecer o desempenho destas espécies em regime de plantios florestais, visando à diminuição de perdas, ao melhoramento genético e ao manejo florestal, criando-se condições para o desenvolvimento de novos produtos nos quais se utilizem desbastes silviculturais (TEREZO, 2010).

2.3.1 Potencialidades da espécie

A incessante busca de conhecimentos sobre o paricá quer seja de caráter experimental ou empresarial, reflete o grande interesse por essa espécie. A principal razão dessa notabilidade é a crescente demanda industrial por madeira de lâminas e compensados para a qual a espécie é de comprovada utilização (MARQUES *et al*, 2006). Os desbastes são realizados aos 8 anos de idade, que é utilizado por indústrias produtoras de laminados, compensados, aglomerados e painéis. Sua laminação dá-se a partir de 13 cm de diâmetro (Figura 4). Devendo-se tal prática à tecnologia de processamento mecânico desenvolvida para madeiras de florestas plantadas.

Figura 4 - Desbaste com 8 anos de idade para laminação



Fonte: TEREZO, 2010

Segundo informações obtidas junto às principais empresas produtoras de compensado, localizadas na região de Dom Eliseu, no estado do Pará, a madeira do paricá permite uma redução significativa nos custos de produção do compensado, pois reduz extremamente as despesas de colheita e transporte, pela homogeneidade e boa localização dos reflorestamentos e pela redução dos custos durante a industrialização da madeira. As empresas que produzem compensado com madeira de paricá conseguem lançar seu produto nos mercados externo e interno a um custo reduzido, quando comparado com outras empresas que usam espécies nativas diferentes. Tal fato tem estimulado várias empresas a buscar alternativas de redução dos custos de produção, utilizando madeira oriunda de reflorestamento com espécies nativas. O valor do compensado de paricá varia entre 340 a 500 dólares por metro cúbico, dependendo das dimensões e acabamentos. Já as lâminas para capa de primeira qualidade ficam em torno de 700 reais por metro cúbico entregue na região sul (AMATA, 2009).

Terezo e Szücs (2010) destacam que é possível o emprego da madeira de paricá, proveniente de florestas plantadas, em elementos estruturais para a construção civil, já que sua madeira é classificada com pertencente a classe C-20 de resistência, comprovando seu uso para fins estruturais. Por serem obtidas de plantios com árvores de pequeno e médio porte, as vigas de madeira laminada colada de paricá tornam-se uma real opção de emprego e comercialização no mercado brasileiro. Mostrou-se apropriado o uso de árvores com idade acima de 10 anos, uma vez que as características das fibras, como a espessura da parede, tendem a se estabilizar (TEREZO, 2010).

O paricá é também uma espécie promissora para a produção de pasta para celulose, destacando-se seu fácil branqueamento e as excelentes resistências obtidas com o papel

branqueado (PEREIRA *et al.*,1982). Apresenta alto teor de lignina (34,70 %), mas pode ser facilmente deslignificada. Quanto à energia, produz lenha de qualidade razoável, podendo seu poder calorífico ser superior ao gênero *Eucalyptus* com 4,217 kcal/kg e um pouco inferior ao *Pinus elliottii* com 4,786 kcal/kg.

2.3.2 Propriedades físicas e mecânicas

Para melhor utilização da madeira como material estrutural, conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas, entre outras é fundamental de forma que permitam utilizar esse material de maneira racional, empregando-as de maneira correta nas edificações. Ultimamente, as pesquisas a fim de elucidar as propriedades da madeira estão evoluindo, porém, ainda há muito a se descobrir, principalmente em relação às novas espécies que estão sendo reflorestadas no Brasil, tornando indispensável o conhecimento aprofundado de suas propriedades (MORALES, 2005; APRILANTI, 2010). Determinar suas propriedades e sua respectiva variabilidade conduzirá o engenheiro a empregar a madeira em uma obra de maneira segura e econômica (TEREZO, 2010).

O paricá é considerado uma madeira leve, apresentando massa específica média aparente no estado anidra de 0,39 g/cm³; a massa específica aparente a 12% de umidade é de 0,42 g/cm³ e a massa específica básica média é de 0,36 g/cm³ (MATSUBARA, 2003). Nas tabelas 2 e 3 são mostrados suas características físicas e mecânicas.

Tabela 2 - Propriedades mecânicas do paricá.

PROPRIEDADES MECÂNICAS									
Condição	Flexão Estática		Compressão		Dureza Janka		Tração	Fendilhamento	Cisalhamento
	MOR	MOE	//	⊥	//	⊥	⊥		
	(Kgf/cm²)	(Kgf/cm²)	Resist.Rup. (Kgf/cm²)	Resist.LP (Kgf/cm²)	(Kgf)	(Kgf)		Resist.Rup. (Kgf/cm²)	
Verde	543	94.000	236	44	388	331	34	36	74
Seca			341	46	457	266	27	37	110

MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidade; Resist. Rup.: Resistência à Ruptura; Resist. LP: Resistência no Limite de Proporcionalidade; //: Paralela às Fibras; ⊥: Perpendicular às Fibras. Fonte: AMATA, 2009.

Tabela 3 - Propriedades físicas do paricá.

PROPRIEDADES FÍSICAS							
Densidade (g/cm ³)			Contração- de saturada a seca em estufa (%)				Contração Tangencial/ Contração Radial
Seca	Verde	Básica	Aparente	Tangencial	Radial	Volumétrica	
0,55	1,13	0,49	0,47	5,12	4,3	11,1	1,19

Fonte: AMATA, 2009.

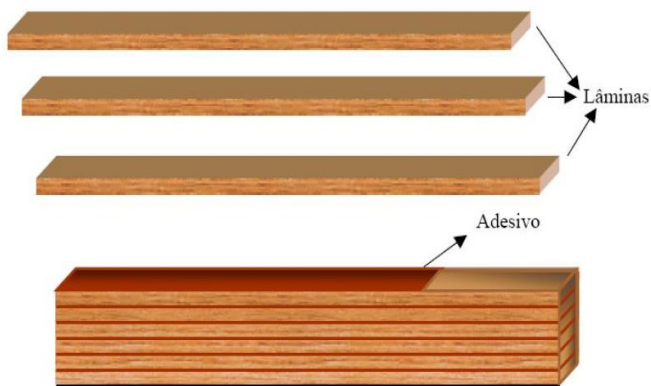
A madeira possui fibras variando de “muito curta” a “curta” (35 μ ; 65 μ) e largura de estreita a média (32 μ ; 68 μ), comprimento relativo de 36,73 e coeficiente de flexibilidade de 0,60. Possui madeira leve com 3000 kg/m³, de cor branca (JESUS *et al*, 2003). Segundo Le Cointe (1947) *apud* Jesus et al (2003), essas características são determinantes para a utilização na fabricação de forros, palitos, fósforos, canoas e papel.

2.4 MADEIRA LAMINADA COLADA (MLC)

A construção de um auditório em Basel, Suíça, em 1893, é frequentemente citada como a primeira utilização da MLC. Devido à patente obtida por Otto Karl Frederick Hertzner, em Wiemar, Alemanha, essa técnica de colagem de lâminas ficou conhecida inicialmente como Hertzner System. Naquela época, boa parte das aplicações da MLC ficou limitada às condições de uso protegidas da umidade. Foi somente após a Segunda Guerra Mundial, com o desenvolvimento dos adesivos sintéticos à prova de água, que a MLC ganhou espaço também nas estruturas sujeitas às intempéries, especialmente em pontes e passarelas (MIOTTO e DIAS, 2009).

Szücs (1992) *apud* Terezo (2010) denominou "Madeira Laminada Colada" – MLC, como sendo peças de madeira reconstituídas a partir de lâminas de madeira (tábuas), que apresentam dimensões relativamente reduzidas se comparadas às dimensões da peça final assim constituída. Essas lâminas, que são unidas por colagem, ficam dispostas de tal maneira que as suas fibras ficam paralelas entre si (Figura 5). Essa técnica, que de alguma maneira surgiu também da necessidade de utilização da madeira de reflorestamento, utilizou basicamente o *Pinus*, que se apresentava em abundância nos países europeus.

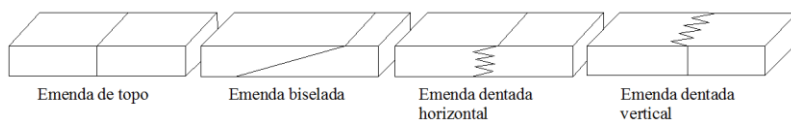
Figura 5 - Esquema e montagem de uma viga de madeira laminada colada



Fonte: ZANGIÁCOMO, 2003

Na produção de peças de MLC com grandes comprimentos, geralmente é necessária a execução de emendas nas lâminas, e para essas situações, a emenda dentada ou *finger joint*, tem dentes com aproximadamente 28 mm de comprimento, é frequentemente utilizada. Outras configurações são também aceitáveis, contanto que alcancem as exigências de resistência e durabilidade requeridas (MIOTTO e DIAS, 2009). Segundo Macêdo e Calil Junior (1999) várias são as configurações que podem ser citadas para serem utilizadas para emendas longitudinais, tais como: emendas de topo (*butt joints*), emendas biseladas (*scarf joints*) e emendas dentadas (*finger joints*) (Figura 6).

Figura 6 - Tipos de emendas utilizadas em ligações longitudinais em MLC



Fonte: Adaptado MACÊDO e CALIL JUNIOR, 1999.

Se apropriadamente produzidas, as emendas dentadas devem ter o potencial de alcançar pelo menos 75% da resistência da madeira sem defeitos. Todavia, para que as emendas apresentem esse alto desempenho, é indispensável um controle rigoroso de cada estágio do processo de união das lâminas (MIOTTO e DIAS, 2009).

Para que sejam realizadas as ligações entre peças de madeira comumente são utilizados os seguintes elementos: parafusos, pregos anéis e adesivos. Estes elementos presentes na ligação têm a função de transmitir os esforços de uma peça à outra, devendo eles próprios também resistir a esses esforços. Muitas vezes os elementos de ligação possuem resistência superior à resistência das peças que estão sendo ligadas. Uma ligação eficiente deve ser, além de resistente, dúctil (BREMER e CARRASCO, 2013).

Alguns fatores que influenciam na resistência da MLC são massa específica da madeira; teor de umidade das lamelas; espessura e número de lâminas; classificação da madeira; nós e inclinação da grã; posição das emendas de topo; adesivos; pressão de colagem e cura do adesivo.

A densidade da madeira utilizada é um fator primordial para a eficiência dos elementos estruturais de MLC. Zangiácomo (2003) e Fiorelli (2005) afirmam que uma faixa de densidade entre 0,40 e 0,75 g/m³ é considerada ideal para a confecção de MLC e que, preferencialmente, possuam baixo coeficiente de retração. Madeiras com densidade acima desse valor indicado apresentam dificuldade para a colagem, em

função de uma baixa penetração do adesivo. Segundo a Norma NBR 7190 (1997), madeiras do gênero *Pinus* são indicadas para o uso de MLC por possuírem densidade em torno de 0,50 g/m³.

Dentre os adesivos utilizados para colagem das lamelas, entre as emendas longitudinais e emendas verticais, devem ser escolhidos de acordo com as condições climáticas de utilização da MLC. As classes de utilização são: I (uso interior); II (uso exterior coberta); III (uso exterior). Os principais adesivos utilizados na confecção da MLC são: fenol-formaldeído, wonderbond, poliuretano de óleo de mamona e purbond (DIAS, 2006; CALIL NETO, 2011).

Antes da preparação das lâminas de madeira, deve-se realizar uma classificação do material para a eliminação dos defeitos e para o emprego das melhores peças nas zonas de maior solicitação (TEREZO, 2010). Bodig e Jayne (1982) relatam que para um melhor desempenho de vigas em MLC é necessária a classificação prévia das lâminas que irão compor as vigas. Essa classificação deverá levar em conta a resistência mecânica (módulo de elasticidade) e os defeitos (nós, rachaduras, brocas, entre outros), sendo as melhores lâminas posicionadas no terço superior e inferior das vigas (região de maior esforço) e as de menor qualidade no terço interior das vigas (TEREZO e SZUCS, 2010).

2.4.1 MLC no Brasil

No Brasil, a empresa pioneira na industrialização e confecção de MLC foi a Esmara Estruturas de Madeira Ltda, fundada em 1934 em Curitiba (PR) com tecnologia trazida por alemães (TELES, 2009).

Apesar de a MLC ser um produto do século XIX, no Brasil existem apenas quatro indústrias de MLC, sendo uma no Rio Grande do Sul, uma em Goiás e duas no estado de São

Paulo. O custo da MLC nessas indústrias é da ordem de R\$ 4.000,00 (quatro mil reais), algo em torno de US\$ 1.700,00 (mil e setecentos dólares estadunidenses) por metro cúbico, o que reduz, no momento, a sua competitividade com madeiras serradas tropicais e de reflorestamento. Somente para informação a MLC no Chile custa 750 dólares por metro cúbico e, nos Estados Unidos e Canadá na ordem de 1000 dólares por metro cúbico (CALIL NETO, 2014).

Como o processo de fabricação de MLC está em fase de disseminação no Brasil, evidencia-se a necessidade de estudos no sentido de se proceder em cada região ou estado, uma investigação por espécie e ou adesivo, por exemplo, para uma caracterização das madeiras que melhor possam se adaptar a essa técnica. Devem ter destaque nessa investigação principalmente as madeiras provenientes de florestas plantadas (CALIL NETO *et al*, 2012).

2.4.2 Vantagens

Como já mencionado, o potencial madeireiro do Brasil é destaque em todo o mundo. As extensas áreas de florestas tropicais, somadas às áreas de reflorestamento, sugerem que esse recurso seja explorado adequadamente. Diante desse contexto, a madeira laminada colada (MLC) se revela como uma alternativa profícua, pois espécies de baixa densidade e até mesmo as peças de qualidade estrutural inferior podem ser utilizadas na sua produção, reduzindo, assim, a demanda por madeira de elevada qualidade (MIOTTO e DIAS, 2009).

Para Szücs (1992), além das vantagens naturais da madeira, como baixo peso próprio em relação à capacidade de carga, a técnica do laminado colado confere ainda às estruturas de madeira, as seguintes vantagens:

- Em comparação com as estruturas de madeira feitas com peças maciças, os elementos concebidos em MLC

exigem um número bem menor de ligações, uma vez que são previstos para grandes dimensões (Figura 7);

Figura 7 - Construção de grande porte em MLC. Residência em Búzios – RJ



Fonte: TEREZO, 2010.

- A possibilidade de realizar secções de peças, não limitadas pelas dimensões e geometria do tronco das árvores;
- A possibilidade de fabricar peças de comprimento limitado apenas pelas circunstâncias de transporte (Figura 8);

Figura 8 - vigas em MLC pronta para o transporte. Viamão-RS



Fonte: TEREZO, 2010.

- A possibilidade de obter peças com raio de curvatura reduzido, variável e até mesmo em planos diferentes (Figura 9);

Figura 9 - Estruturas com curvatura: (a) Florianópolis-SC e (b) Shopping em Fortaleza – CE



Fonte: TEREZO, 2010

- A possibilidade de vencer grandes vãos livres;
- A eliminação inicial de defeitos naturais, o que permite uma reconstituição que conduz a uma distribuição aleatória dos defeitos residuais no interior do produto final;
- Sob o ponto de vista "normalização" permite ainda a atribuição aos elementos estruturais de MLC, de uma tensão admissível ligeiramente superior às da madeira maciça de qualidade equivalente (cerca de 10%);
- A vantagem da pré-fabricação, o que pode ser traduzido em racionalização da construção e ganho de tempo na montagem e entrega da obra;
- É de uma qualidade estética indiscutível, o que pode ser largamente explorado pelos arquitetos e engenheiros, na composição de um conjunto agradável e perfeitamente integrado ao ambiente (Figura 10);

Figura 10 - Usos MLC: (a) Residência em Búzios – RJ e (b) Ginásio em Lages –SC



(a)

(b)

Fonte: TEREZO, 2010.

- A leveza dessas estruturas oferece também maior facilidade de montagem, desmontagem e possibilidade de ampliação. Além disso, o peso sendo menor, se

comparado com outros materiais, pode significar economia nas fundações.

Outra vantagem desta técnica é poder usar madeiras de diferentes espécies e consequentemente várias resistências numa mesma peça. Conforme a solicitação a que for ser submetida é possível distribuir convenientemente, ao longo da altura e do comprimento as lâminas menos resistentes onde as solicitações forem menores e as lâminas mais resistentes onde estas forem maiores (BREMER e CARRASCO, 2013).

2.4.3 Usos

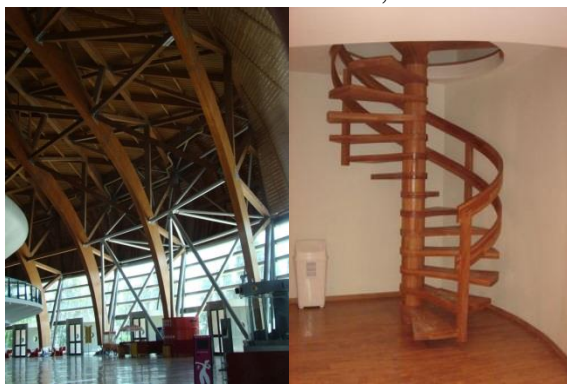
Pelo que se tem conhecimento, a sua aplicação concreta teve início no século XIX. O exemplo mais marcante que pode ser citado é o de arcos compostos por lamelas (tábuas) encurvadas e sobrepostas, mantidas unidas por ligações mecânicas (CALIL NETO, 2014).

A indústria de madeira laminada colada, na atualidade, se encontra extremamente desenvolvida em países da América do Norte e da Europa. A aplicação da técnica pode ser vista sob as mais variadas formas estruturais. O seu emprego vai desde pequenas passarelas, escadas e abrigos até grandes estruturas concebidas sob as mais variadas formas estéticas. São destinadas a cobrir vãos de até 100 metros sem apoio intermediário. Apenas para ilustrar o potencial do mercado das estruturas de MLC, verifica-se que só na França, chegou a existir mais de 40 indústrias trabalhando na fabricação de estruturas de MLC, distribuídas nas diversas regiões do país (ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2011).

A MLC tem seus usos mais frequentes em estruturas de cobertura, elementos estruturais principais para pontes, torres de transmissão, edifícios, embarcações, entre outros (Figura 11). Isso se deve ao fato de adaptar-se a uma significativa variedade de formas e apresentar alta resistência a solicitações

mecânicas, em função de seu peso próprio relativamente baixo (ZANGIÁCOMO; LAHR, 2007).

Figura 11 - Aplicações de vigas MLC: (a) Pavilhão Atlântico, Lisboa; (b) Escada, Porto Alegre – RS; (c) Biblioteca, SP; (d) Ponte em Luzern, Suíça; (e) Haras; (f) Cobertura de piscina, Gramado – RS;



(a)

(b)



(c)

(d)



(e)

(f)

Fonte: On-line em Carpinteria, 2014 e ESMARA, 2014.

A escolha da MLC para as estruturas pode ser de fundamental importância, principalmente quando se tratar de estruturas que ficarão expostas a um meio corrosivo, ou então, quando existir o risco de incêndio (TEREZO, 2010).

2.5 ADESIVOS

Parte importante no controle de qualidade dos elementos estruturais em madeira laminada colada é o adesivo. Existem vários tipos de adesivos que são utilizados para aplicações estruturais em interiores e exteriores, sendo recomendados ensaios para a qualificação dos adesivos (CALIL NETO, 2008).

Os adesivos de madeira vêm sendo utilizados e aperfeiçoados durante muitas décadas na medida em que as pesquisas avançam. Estes adesivos apresentam uma enorme importância industrial uma vez que mais de dois terços dos produtos de madeira hoje no mundo são totalmente ou parcialmente unidas utilizando-se um tipo de adesivo. A razão é que a ligação adesiva oferece muitas vantagens frente a outros métodos de junção para componentes de madeira (PIZZI; MITTAL, 2011 *apud* CAVALHEIRO, 2014).

A *American Society for Testing and Materials* (ASTM, 1994) define um adesivo como uma substância capaz de unir materiais por meio do contato entre suas superfícies. As condições físicas e químicas da superfície durante a adesão são extremamente importantes para que ela tenha um desempenho satisfatório, uma vez que o adesivo líquido tem que umedecer e se espalhar livremente nas superfícies para que se estabeleça um contato efetivo entre elas.

Os adesivos podem ser classificados a partir de diferentes parâmetros como origem dos componentes primários, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química, entre outros. CAMPOS e LAHR (2004)

classificam a partir da composição química do adesivo, podendo os mesmos ser inorgânicos ou orgânicos:

- Adesivos inorgânicos

Dentre os adesivos inorgânicos mais comuns podem ser destacados os que são à base de silicatos, produzindo ligações com elevada resistência mecânica, sendo difícil a diferenciação entre o adesivo e o cimento. Nos adesivos inorgânicos a ligação acontece pela desidratação do solvente dos adesivos, são cimentos são formados através de reações químicas.

- Adesivos orgânicos

Em geral, costuma-se dividir os adesivos orgânicos em dois grupos: sintéticos e naturais. Os adesivos orgânicos sintéticos são os mais empregados pela indústria madeireira devido à sua grande resistência à água e, por não permitir ação de microrganismos. Os adesivos sintéticos são classificados em termofixos e termoplásticos.

- ✓ Termofixos – adesivos que endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores. São resistentes a umidade e ao calor. Dentre os principais adesivos podemos destacar: fenol-formaldeído, uréia-formaldeído, resorcinol formaldeído e os poliuretanos.
- ✓ Termoplásticos – apresentam como característica principal a sua cura reversível. Podem ser difundidos ou amolecidos quando é aumentada a temperatura, tornando a solidificar ao serem resfriados. São usados como solução ou em dispersão em água. Os adesivos naturais são obtidos de proteínas animais e vegetais, tanino, celulose, gomas naturais e amidos, entre outros.

A seleção do adesivo utilizado para elementos estruturais de madeira depende fundamentalmente das condições do ambiente onde ela se insere e das condições de exposição (PIZZI, 1984). Os adesivos, comumente utilizados na fabricação de madeira laminada colada no Brasil são as

poliuretanas e os à base de resorcinol, com cura à temperatura ambiente. Tais adesivos apresentam alta resistência à umidade, tornando-os aptos para uso exterior (CALIL NETO, 2014).

2.5.1 Poliuretano

Para a união de peças de madeira, o sistema adesivo requer a umidade contida na madeira. Pode-se prescindir totalmente de solvente e formaldeído. Os elementos de madeira são colados automaticamente e em toda a sua superfície. A quantidade de adesivo necessária por m² e por linha de cola é de aproximadamente 200 gramas. Através da pressão exercida, bem definida, obtém-se uma colagem de alta qualidade. No processo de colagem, a água contida no substrato reage com uma parte do isocianato liberando dióxido de carbono (CO₂) e formando uma amina. Durante a reação, o adesivo expande-se ligeiramente a semelhança do dióxido de carbono contido nas bebidas gasosas. Seguidamente, a amina reage muito rapidamente com um outro grupo isocianato, resultando uma estrutura reticulada como nos sistemas bicomponentes (CALIL NETO, 2011).

2.5.2 Resorcina Formaldeído

Adesivo à base de resorcinol é uma resina sintética, em solução de álcool ou água, especialmente recomendada para colagens resistentes à água fria ou fervente, muitos solventes orgânicos, a fungos e mofo, ao calor seco ou úmido, etc. Este adesivo é fabricado pela ALBA Química Indústria e Comércio Ltda., sendo totalmente à prova d'água, indicado para colagem de madeira pelo processo de cura a frio. Dentre suas aplicações, destacam-se barcos, escadas, caixas d'água, hélices, vigas de MLC entre outros, onde a colagem ficará exposta temporária ou definitivamente à ação da intempérie (CALIL NETO, 2011).

O Cascophen RS-216 M é um adesivo bicomponente, formulado a partir de uma resina à base de resorcinol formoldeído, e preparado com o Endurecedor FM60M. Os dois componentes, depois de misturados, resultam em um adesivo de alto desempenho, à prova d'água (fria ou fervente), resistente a diversos solventes orgânicos, fungos e às intempéries (CALIL NETO *et al*, 2012).

2.6 CONTROLE DE QUALIDADE EM MLC

A tecnologia da MLC ainda é incipiente no Brasil. Furtado (2014) em seu estudo, encontrou somente produtos que já utilizam a tecnologia MLC, mas somente utilizando como matéria prima a madeira de pinus e/ou eucalipto, ou seja, não foram encontrados registros de MLC produzida comercialmente feita com madeira de paricá oriunda de florestamentos de madeira nativa.

Uma maneira de aumentar o uso comercial de MLC de madeiras nativas de florestas plantadas seria um incentivo governamental. O governo federal desenvolve ações através do Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP-H) visando implantar no setor da construção civil uma melhoria na qualidade das habitações e modernização da cadeia produtiva. Este atua em parceria com o setor privado estimulando programas de desenvolvimento sustentável para o habitat urbano (MEIRA, 2003 *apud* FURTADO, 2014).

Entretanto, a MLC ainda não participa de programas de qualidade, tais como, o Programa Nacional de Qualidade da Madeira (PNQM) e o Programa Brasileiro da Qualidade e Produtividade do Habitat (PBQP – H) (FURTADO, 2014).

Estudos aprofundados sobre análise de viabilidade econômica em MLC possivelmente contribuirão para a participação do produto nestes programas. Furtado (2014) realizou um estudo sobre o controle de qualidade em MLC de

paricá, fazendo uma análise econômica do processo produtivo em laboratório. O autor destaca pontos críticos e que requerem ações de controle de qualidade com objetivo de resultar num produto dentro dos padrões mínimos de qualidade, padrões necessários para atingir, ganhar e manter mercado diferenciado frente aos demais produtos. Entre estes pontos críticos pode-se destacar a classificação mecânica através de ensaios não destrutivos.

2.7 ENSAIOS NÃO DESTRUTIVOS

O Ensaio Não Destrutivo (END) é a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de um dado material sem alterar as suas capacidades de usos finais, e usar essas informações para o uso em aplicações apropriadas do material. Nesse sentido, o END de madeiras assume um importante papel, pois permite obter e analisar o maior número de informações sobre o material, objetivando não apenas maior precisão dos resultados, como também estabelecer critérios práticos de classificação e caracterização do material (TELLES, 2009).

As primeiras pesquisas relativas à aplicação de ensaios não-destrutivos na determinação das propriedades físicas e mecânicas da madeira foram realizadas na década de 1950, nos Estados Unidos. Ainda que detenham a primazia de conhecimentos nessa área específica, alguns países como Suíça, Romênia, Alemanha, Japão e Reino Unido, entre outros, também já se destacam nesse cenário (TARGA et al, 2005).

Atualmente existem diversas técnicas de avaliação não destrutiva aplicáveis à classificação estrutural da madeira, e entre estas citam-se a classificação visual, o ultrassom, o MSR (*Machine Stress Rated*), o raio-X, as ondas de tensão e a vibração transversal. Todas essas técnicas de avaliação não-destrutiva empregam um estimador para avaliar as

propriedades mecânicas da madeira (CARREIRA e CANDIAN, 2008).

Furiati (1981) realizou ensaios não destrutivos de flexão aplicando uma carga no centro do vão livre de 3,00m, em peças de Peroba Rosa (*Aspidosperma polyneuron*) com seção transversal de 6,0 x 16,0 cm. Idealizou o “ensaio de obra”, utilizando instrumentos simples, com pequenas variações no ponto de aplicação de carga, pouca precisão na leitura dos deslocamentos e algumas vezes executados por pessoas não treinadas. O carregamento era um bloco com 20 ou 50 Kg pendurado na viga. Em seguida, as mesmas vigas foram ensaiadas em laboratório com o mesmo esquema estático e carregamentos controlados de 10MPa/min. Comparando os resultados do módulo de elasticidade à flexão, demonstrou que as médias eram estatisticamente equivalentes a um nível de significância de 95%, encontrando-se ainda um coeficiente de variação de 21,72% nos ensaios de obra e 17,36% nos ensaios de laboratório e com análise de regressão linear obteve o coeficiente de correlação igual a 0,8741 entre esses módulos de elasticidade. Estimou um tempo médio de dois minutos para os ensaios de obra e de dez a quinze minutos para os ensaios em laboratório (PIGOZZO *et al*, s.d.).

Os ensaios não destrutivos são técnicas altamente valiosas, uma vez que permitem o controle das propriedades dos materiais, com economia de tempo e dinheiro, e permitem que o material testado volte intacto para o local de trabalho após a inspeção.

2.8 PRESERVANTES QUÍMICOS

Nos últimos anos, a madeira tratada vem ganhando mercado nas mais diversas regiões do país, com as principais usinas de preservação de madeira distribuídas predominantemente nas Regiões Sudeste e Sul, onde se

concentram as maiores áreas reflorestadas do país. Em 2012, estima-se que a produção de madeira tratada alcançou 1,6 milhão de m³. O aumento da procura por esse produto se deve ao maior esclarecimento dos compradores em relação à qualidade do produto e suas diversas aplicabilidades. Além da qualidade, a madeira tratada é uma substituta das madeiras nativas, colaborando assim com a preservação das florestas nativas (ABRAF, 2013).

Segundo Calil Neto (2011), a preservação de madeiras, da forma como ela é praticada hoje, consiste da impregnação da madeira com substâncias tóxicas aos organismos xilófagos, a fim de que estes não possam mais utilizar como alimento para sua sobrevivência e multiplicação.

Para madeiras de baixa durabilidade natural, a preservação adquire grande importância, pois prolonga sua vida útil. A maioria destas espécies pode ser tratada com sucesso, obtendo desse modo, uma proteção adequada contra organismos xilófagos (MANUAL..., 1998 *apud* FERRO, 2013).

Silva e Leão (2006) descrevem que a madeira paricá é de baixa durabilidade natural, sendo suscetível ao ataque de organismos xilófagos. Portanto, um tratamento preservativo é necessário para que esta madeira possa ser empregada como elemento não temporário.

Para uma proteção satisfatória da madeira, é extremamente importante a escolha correta do método de aplicação do preservante, pois nenhum produto irá conferir devida proteção se não for corretamente aplicado (LELIS *et al*, 2001).

Preservativos de madeira são toda e qualquer substância química capaz de provocar o envenenamento dos nutrientes celulares da madeira, tornando-a resistente ao ataque e desenvolvimento de organismos xilófagos. Abaixo são descritas algumas propriedades necessárias que os

preservativos de madeira devem apresentar (CALIL NETO, 2011):

- ser tóxico a um grande número de organismos xilófagos;
- ter baixa toxidez aos organismos não xilófagos;
- possuir ação duradoura;
- possuir alta fixação na madeira;
- não alterar as características da madeira;
- não provocar alterações nos materiais que estejam em contato com a madeira;
- de preferência, ser incolor, inodoro e insípido;
- não ser inflamável e;
- econômico e de fácil obtenção no mercado.

De acordo com Lelis *et al.* (2001) e Moreschi (2011) os preservantes de madeira podem ser agrupados em 3 categorias:

- a) Preservativos oleosos: produtos cuja natureza é oleosa; são essencialmente representados pelos derivados do alcatrão e hulha. Como exemplo pode-se citar o creosoto, naftenatos e quinolinolato de cobre – 8.
- b) Preservativos oleossolúveis: produtos que são dissolvidos em algum tipo de solvente orgânico; são à base de compostos de natureza orgânica e/ou organometálica. Como exemplo mais comum pode-se citar o pentaclorofenol (PCP).
- c) Preservativos hidrossolúveis: produtos cujo solvente é a água. Exemplos desses preservantes são o arseniato de cobre cromatado (CCA), borato de cobre cromatado (CCB), cromato de cobre ácido (ACC) e o arseniato de cobre amoniacal (ACA).

Os preservantes hidrossolúveis são os mais eficientes no tratamento de madeira contra agentes deterioradores e, dentre os apresentados anteriormente, Bertolini (2011) relata que o CCA e CCB são os de maior aplicação no Brasil.

Como a utilização de produtos de MLC ainda não é muito difundida no Brasil, é evidente que estudos devem ser realizados no requisito de Espécie-Adesivo-Tratamento para uma caracterização das madeiras que melhor possam se adaptar a essa técnica. Devem ter destaque nessa investigação, principalmente as madeiras provenientes de florestas plantadas. Na maioria dos casos a escolha da cola, entre caseína, resorcina ou uréia-formol, e mais recentemente a melamina, depende mais das condições de uso da estrutura do que do tipo da madeira. Logo, é preciso levar em consideração principalmente o meio a que a estrutura vai estar submetida, ou seja, temperatura e teor de umidade. (CALIL NETO, 2011).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

3.1 OBTENÇÃO DAS LÂMINAS

Apesar da imensa quantidade de espécies disponibilizadas pelas florestas brasileiras, optou-se pelo emprego de madeiras provenientes de áreas reflorestadas; com essa escolha, pretende-se incentivar o uso das madeiras procedentes das florestas plantadas, na construção civil, principalmente para fins estruturais. Assim, a espécie selecionada o *Schizolobium amazonicum*, conhecido popularmente como paricá é proveniente de florestas plantadas do Estado do Pará.

As amostras de madeira serrada foram retiradas de árvores com idades de 6 e 10 anos das florestas plantadas da empresa Tramontina – Belém S/A, no município de Aurora do Pará, e de árvores de 19 e 28 anos da propriedade particular do Sr. João de Deus, no município de Tomé-Açu.

O plantio do município de Aurora do Pará está situado no paralelo 2°10' de latitude Sul e 47°34' de longitude Oeste. O clima da região é classificado, conforme as classes de Köppen, como pertencente ao grupo A. Este grupo é caracterizado por apresentar clima tropical quente e úmido, sem estação fria, com chuvas periódicas. A temperatura média anual é entre 25 e 27°C. Apresenta uma precipitação anual que varia entre 2.250 mm e 2.500 mm, distribuída de maneira a caracterizar duas épocas distintas: a mais chuvosa e a menos chuvosa, sendo que a sua maior concentração (cerca de 80%) se dá entre os meses de janeiro e junho (JESUS, 2004). O solo é do tipo Latossolo Amarelo, de textura variável, possuindo baixo teor de matéria orgânica e alta lixiviação.

No município de Tomé-Açu a floresta plantada está situada no paralelo 02°40' de latitude Sul e 48°16' de longitude Oeste (BAENA e FALESI, 1999). O clima da região é

classificado conforme as classes de Köppen como pertencente ao grupo Ami. Clima mesotérmico e úmido. A temperatura média anual é elevada em torno de 25 °C. O período mais quente com médias mensais em torno de 27,9 °C, o seu regime pluviométrico é próximo a 2.500 mm. As chuvas, apesar de regulares, não se distribuem igualmente durante o ano, sendo de novembro a junho sua maior concentração (BAENA e FALESI, 1999). Segundo pesquisas realizadas por Baena e Falesi (1999), o solo é do tipo latossolo amarelo distrófico, textura argilosa média e concrecionário laterítico.

As amostras de madeira serrada foram secas em estufa, classificadas e posteriormente doadas à UDESC. Elas foram condicionadas no Prédio de Mecanização Agrícola do CAV, até chegar a umidade de equilíbrio.

Após este processo, as lâminas foram esquadrejadas, tendo suas dimensões reduzidas, com o uso de uma serra circular, procurando sempre utilizar as dimensões de 6,0 x 2,5 x 250,0 cm para a confecção das vigas (Figura 12), porém como não havia uniformidade nas lâminas, teve variação destas medidas, principalmente na base que variou de 4,48 cm até 5,58 cm.

Figura 12 - Esquadrejamento das lâminas



Fonte: produção do próprio autor

3.1.1 Classificação visual

Segundo Kikuti, Fier e Calori (1996), a madeira de melhor qualidade é aquela que apresenta menor quantidade de defeitos, os quais lhes são intrínsecos (genéticos) ou resultantes do processo de corte, transporte, desdobro e/ ou secagem da madeira.

A classificação visual consiste na inspeção não destrutiva das faces, lados (bordas laterais) e extremidades de cada peça. Devem-se examinar todo o comprimento das peças e avaliar a localização e natureza dos nós e outros defeitos presentes na sua superfície (CALIL NETO, 2011; CARREIRA, 2003). (ALMEIDA et al., 2013)

As lâminas passaram, inicialmente, pelo processo de classificação visual, através de uma amostragem aleatória do material sem levar em consideração a idade das madeiras, já

que em todas foram classificadas como C-20 por Terezo (2010), sendo selecionadas sempre as peças isentas de defeitos, ou seja, tábuas sem rachaduras, com tortuosidades excessivas ou comprometidas por agentes xilófagos. A figura 13 representa as peças descartadas por algum destes problemas.

Figura 13 - Peça descartada por rachadura



Fonte: produção do próprio autor

Como já descrito, a madeira de paricá apresentam poucos defeitos, tendo um bom aproveitamento, sendo então selecionadas 84 lâminas.

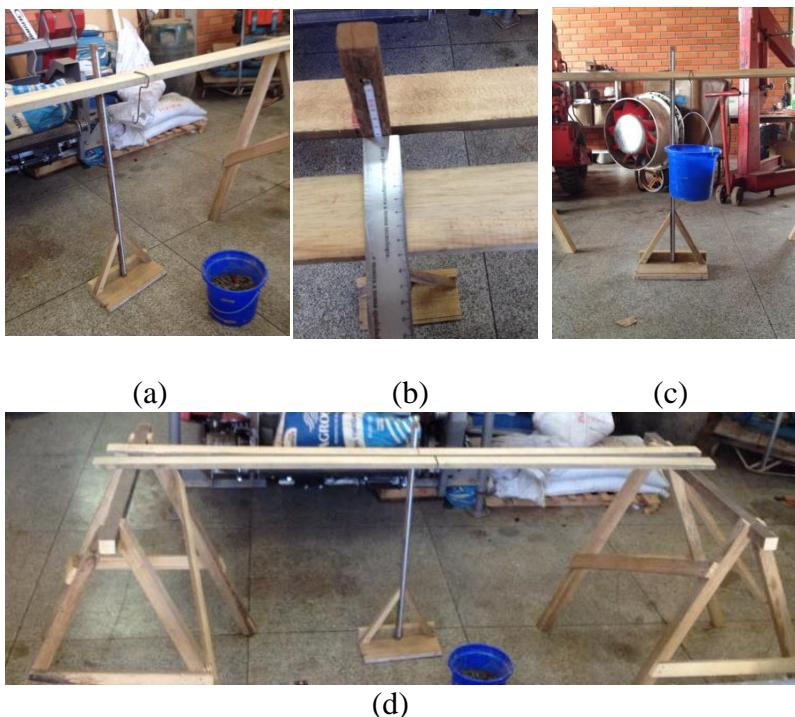
Após a classificação visual, foi necessário realizar a classificação mecânica da madeira por intermédio de ensaios laboratoriais, para determinação de suas propriedades de resistência e rigidez (ALMEIDA *et al.*, 2013).

3.1.2 Determinação do Módulo de Elasticidade

As peças selecionadas passaram por uma avaliação não destrutiva, método estático, conforme indicado pela norma ASTM D 4761 (2002), em que através da deformação específica da lâmina, foi determinado o Módulo de Elasticidade (MOE), classificando assim as peças para a composição da viga.

O módulo de elasticidade foi calculado a partir da flecha medida no sentido de menor inércia (*flatwise*). Para isso, foram utilizados dois cavaletes como apoio, distantes a um vão de 230 cm e um carregamento que não ultrapassassem a região elástica da lâmina, nesse caso um peso de 7,5 kg no centro da peça. Com o auxílio de uma régua foi realizada a leitura da deformação específica nas duas faces da lâmina (Figura 14).

Figura 14 - Esquema de obtenção da deformação das lâminas: (a) lâmina pronta para o teste; (b) Peso aplicado na lâmina; (c) Régua medindo a deformação; (d) visão geral do esquema para o teste.



Fonte: produção do próprio autor

A partir da equação 1, foi determinado o MOE das lâminas.

$$MOE = \frac{PL^3}{48\delta l} \quad (\text{Eq. 1})$$

Onde:

MOE = Módulo de elasticidade (MPa)

P = carga concentrada (Kg)

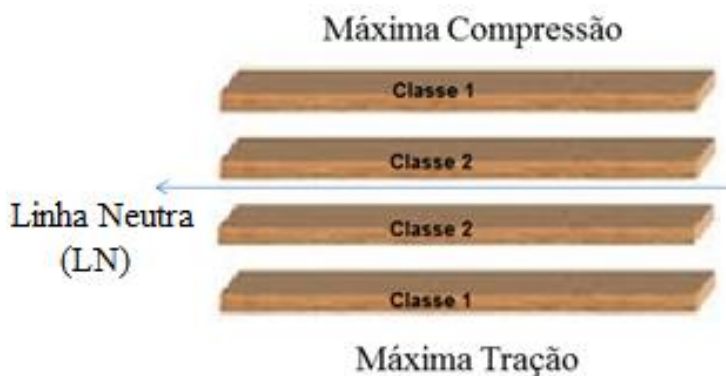
L = vão livre (cm)

δ = flecha (cm)

I = momento de inércia (cm⁴)

A partir desses resultados, as lâminas foram separadas em duas classes, sendo elas: classe 1 para as mais resistentes (maior valor de MOE, totalizando 42 lâminas) e classe 2 para as menos resistentes (menor valor de MOE, totalizando 42 lâminas). As lâminas de classe 1 foram dispostas nas regiões mais solicitadas da peça e as lâminas de classe 2 foram colocadas nas regiões de menor solicitação, totalizando quatro lâminas, duas de classe 1 e duas da classe 2 de resistência (Figura 15).

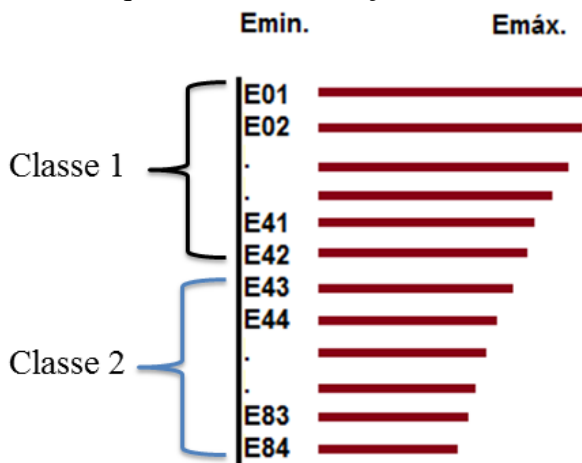
Figura 15 - Composição da viga



Fonte: produção do próprio autor

Para compor as vigas, ordenaram-se os módulos de elasticidade de forma crescente, sendo a primeira lâmina com maior MOE e a última lâmina com o menor MOE (Figura 16). As duas primeiras peças foram combinadas com as duas últimas e assim sucessivamente, para que houvesse mínimas interferências no resultado do MOE final de cada viga.

Figura 16 - Esquema de classificação das lâminas



Fonte: produção do próprio autor

Após determinada a composição das vigas através do MOE, separou-se de forma aleatória as peças para cada tratamento, sendo eles: vigas MLC sem tratamento químico (ST); vigas MLC com lâminas tratadas quimicamente (LT) e vigas MLC tratadas quimicamente depois da colagem de lâminas não tratadas (VT). O tratamento LT contém sete amostras, já os tratamentos VT e ST contêm seis repetições cada.

3.2 TRATAMENTO QUÍMICO

A preservação química se deu em duas etapas do processo, sendo a primeira o tratamento apenas das lâminas e a segunda etapa o tratamento das vigas já coladas. Em ambos os casos, a preservação química foi realizada na empresa TRATTAR, localizada no município de Lages/SC. A forma de impregnação da madeira com substâncias químicas se deu por meio de ciclos de pressão variável em autoclave, em que fosse aplicado o preservante hidrossolúvel do tipo Arseniato de

Cobre Cromatado (CCA) nas vigas já coladas e nas lâminas antes do processo de colagem.

Após o processo, as peças foram condicionadas no Prédio de Mecanização Agrícola do CAV, por no mínimo trinta dias, até chegar novamente à umidade de equilíbrio.

3.3 CONFECÇÃO DOS ELEMENTOS DE MLC

3.3.1 Colagem das lâminas

Para o processo de colagem, as lâminas passaram por um aplainamento em suas duas faces, realizado no laboratório de marcenaria do SENAI, em Lages/ SC (Figura 17). O aplainamento foi realizado para melhores resultados na interação adesivo – madeira, sempre tomando o cuidado para fazer a colagem logo após o processo (em até sete dias), para que os poros da madeira não se fechassem.

Figura 17 - Aplainamento das lâminas



Fonte: produção do próprio autor

Foi utilizada uma resina sintética à base de Resorcinol-Formol conhecido pelo nome comercial de Cascophen RS-216-M e usual na produção de elementos estruturais de MLC, na indústria. Uma balança digital foi utilizada para a pesagem da mistura entre adesivo e endurecedor FM-60-M, até que atingisse o valor necessário para uma gramatura de 500 g/m² que é recomendado pelo fabricante para madeira de baixa densidade. (Figura 18).

Figura 18 - Incorporação do adesivo e pó endurecedor



Fonte: produção do próprio autor

Foram coladas por bateria três vigas, em função da otimização do processo. A colagem das lâminas foi realizada face a face, com o auxílio de um rolo de borracha, em um tempo máximo de 30 minutos, até o fechamento da prensa. Para auxiliar na contenção lateral das vigas, foram utilizados no mínimo três grampos (conhecidos popularmente como sargentos), nas regiões mais críticas (Figura 19).

Figura 19 - Confeção das vigas: (a) Aplicação do adesivo; (b) Contenção lateral da viga.



(a)

(b)

Fonte: produção do próprio autor

A prensagem das vigas se deu em prensa manual (Figura 20), localizada no Prédio da Mecanização do CAV. O tempo de prensagem a frio foi de 24 horas, superior ao mínimo recomendado pelo fabricante, que é de 10 a 14 horas a uma temperatura média de 20°C.

Figura 20 - Prensagem das vigas: (a) Vigas na prensa; (b) Detalhe da contenção lateral na prensa



(a)



(b)

Fonte: produção do próprio autor

Na confecção das vigas não foi necessário unir as lâminas através de *finger joints*, já que as mesmas foram classificadas visualmente, além da característica da madeira ser isenta, na maioria, de defeitos. As emendas seriam necessárias para vigas de grande porte.

3.3.2 Esquadrejamento

Após o período de cura, as vigas foram encaminhadas para o seu aparelhamento (Figura 21), que foi realizado também no laboratório de marcenaria do SENAI, tendo em média como dimensões finais de 5x10x240 cm. A Figura 22 mostra o aspecto final das vigas.

Figura 21 - Acabamento das vigas: a) Destopo; b) Aplainamento



(a)

(b)

Fonte: produção do próprio autor

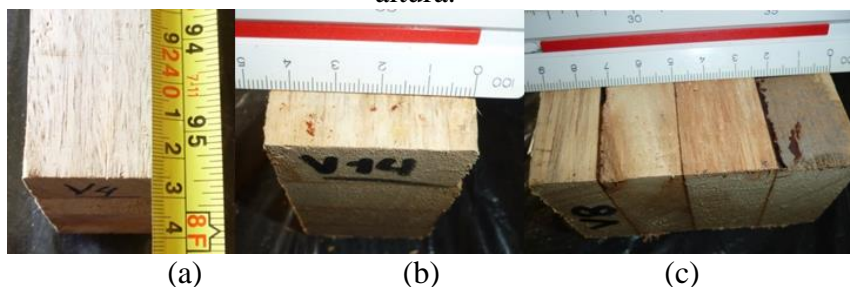
Figura 22 - Aspecto final do produto



Fonte: produção do próprio autor

Como não havia uniformidade no tamanho das lâminas, as vigas não ficaram todas com a mesma dimensão, principalmente na largura, apresentando muita oscilação entre elas, chegando a um coeficiente de variação de 5,41%. Já para a altura o coeficiente de variação foi de 3,41%. Então as vigas foram todas medidas para que suas geometrias fossem determinadas com precisão e assim calculadas as deformações específicas em cada ensaio de flexão (Figura 23).

Figura 23 - Medição das vigas: a) comprimento; b) largura; c) altura.



Fonte: produção do próprio autor

As dimensões medidas irão compor uma geometria para a peça, na qual influi diretamente na inércia e consequentemente na determinação da flecha, conforme pode ser observado na equação 1. Através da base e altura de cada peça é que se determina o valor da inércia.

3.4 MÉTODO DE HOMOGENEIZAÇÃO DA SEÇÃO (MHS)

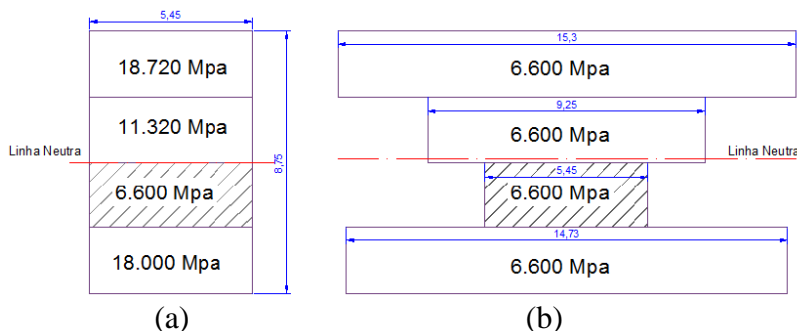
O Método de Homogeneização da Seção (MHS) consiste em substituir a seção transversal de uma peça de material heterogêneo em uma seção equivalente de material homogêneo. Existem duas formulações do MHS quando

aplicado a seções laminadas optou-se pela formulação mais geral e mais simples, tanto no que se refere ao cálculo de flechas levando em conta o efeito do esforço cortante, como para a obtenção das tensões de cisalhamento ao longo da altura da seção. A formulação consiste em modificar a largura das lâminas na seção transformada e manter as propriedades mecânicas do material de uma das lâminas (LA ROVERE, 1998).

A finalidade deste método foi determinar um MOE equivalente para toda a viga a partir dos MOE's de cada lâmina e assim prever a flecha que poderá acontecer para uma determinada carga.

A figura 24 é a viga V01, do tratamento LT que exemplifica este método.

Figura 24 - Geometria (dimensões em cm) e MOE dos elementos componentes da viga: a) Seção original; b) Seção transformada.



Fonte: produção do próprio autor

Como modelo, obteve-se o estudo realizado por La Rovere (1998) para vigas em MLC confeccionada em pinus e teve a seguinte sequência:

- a) Definir a largura das lâminas da seção transformada, escolhendo como base a lâmina com menor módulo de elasticidade, utilizando a seguinte fórmula (Eq. 2):

$$b^* = b \frac{E_i}{E_c} \quad (\text{Eq. 2})$$

Onde:

b^* = nova base para a lâmina (cm);

b = base da lâmina escolhida (cm);

E_i = MOE da lâmina (MPa);

E_c = MOE da lâmina escolhida (MPa).

- b) Determinar a nova área para a lâmina e posteriormente para a viga (Eq. 3):

$$A^* = b_i^* * t \quad (\text{Eq. 3})$$

Onde:

A^* = nova área para a lâmina (cm^2)

b_i^* = nova base da lâmina determinada (cm)

t = altura da lâmina (cm)

c) Como a nova viga teve sua geometria alterada, é necessário redefinir o centróide da seção transformada, por onde passa a linha neutra, que deve ser calculada pela expressão (Eq. 4):

$$y_{ln} = \frac{\sum_{i=1}^n A_i^* \cdot d_i}{\sum_{i=1}^n A_i^*} \quad (\text{Eq. 4})$$

Onde:

d_i = distância entre o centro da lâmina i e um eixo horizontal arbitrário e y_{ln} a distância entre o centróide da seção e este eixo arbitrário.

d) Definir o momento de Inércia (I^*) de uma área composta (Eq. 5):

$$I^* = I + A^* d^2 \quad (\text{Eq. 5})$$

Onde:

I^* = momento de Inércia de uma área composta (cm^4);

I = momento de Inércia de cada lâmina (cm^4);

A^* = nova área da lâmina (cm^2);

d = distância entre a linha neutra da peça e a linha neutra da lâmina.

e) Definir o momento estático (Q^*_x) (Eq. 6):

$$Q^*_x = \sum A_i^* \cdot y_i \quad (\text{Eq. 6})$$

Onde:

Q^* = momento estático

y_i = distância entre o centro da lâmina e o centro de gravidade da peça.

f) Definir o fator de forma (χ^*) para a nova peça (Eq. 7):

$$\chi^* = \frac{A^*}{(I^*)^2} \sum_{i=1}^n \frac{1}{b_i^*} \int (Q^*)^2 dy \quad (\text{Eq. 7})$$

Assim como no trabalho de La Rovere (1998), foi adotado a Regra de Simpson para avaliar numericamente a integral contida na expressão acima (Eq. 8):

$$\int_{lâmina} (Q^*)^2 dy = \frac{t}{6} [Q^{*2}(y_s) + 4Q^{*2}(y_c) + Q^{*2}(i)] \quad (\text{Eq. 8})$$

Onde y_s , y_c e y_i são coordenadas y superior, central e inferior das lâminas, respectivamente.

g) Definir módulo de cisalhamento (G_c), que é aceito mundialmente e recomendado pela U.S. Forest Service (Eq. 9):

$$G_c = \frac{E_c}{16} \quad (\text{Eq. 9})$$

Onde:

G_c = módulo de cisalhamento

E_c = MOE da lâmina escolhida (Mpa).

h) Cálculo da flecha máxima (Eq. 10):

$$\delta = \frac{Pa}{48E_c I^*} (3l^2 - 4a) + \frac{Pa\chi^*}{2G_c A^*} \quad (\text{Eq. 10})$$

Onde:

δ = flecha máxima (cm)

P = carga total - estimada (KN)

Para o cálculo da flecha analítica foi utilizado uma carga total (P) de 5,86 kN através da seguinte equação (Eq. 11):

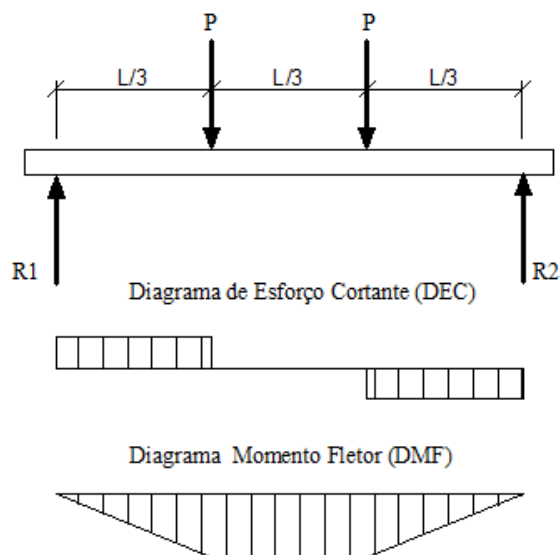
$$P_{estimado} = \frac{3,1 * W * 2}{\frac{l}{3}} \quad (\text{Eq. 11})$$

Em que W é o módulo de resistência (cm³), sendo utilizado o valor médio das vigas que foi de 71,90 cm³, L correspondente ao vão (cm) das lâminas, sendo de 228 cm e 3,1 KN da resistência à flexão da madeira sólida de paricá realizado por Terezo (2010).

3.5 ENSAIO DE FLEXÃO ESTÁTICA

Para obtenção dos valores das flechas foi realizado um ensaio de flexão “a quatro pontos”, em que o carregamento aplicado é distribuído em dois pontos sobre a viga, conforme a norma ASTM 4761-96 – *Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material*, desta maneira não se tem a influência do cisalhamento, que é nulo na região entre a aplicação de forças, conforme mostra a Figura 25. O vão livre utilizado foi de 210 cm com a distância entre os aplicadores de carga igual a 70 cm.

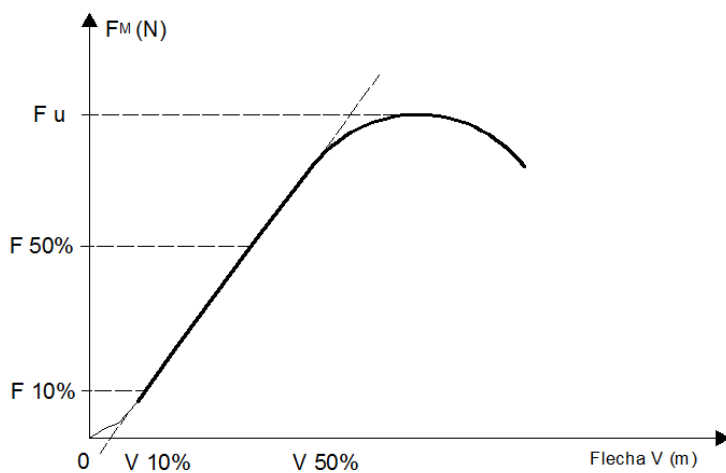
Figura 25 - Esquema do ensaio de flexão a quatro pontos



Fonte: produção do próprio autor

A rigidez da madeira à flexão é caracterizada pelo módulo de elasticidade determinado no trecho linear do diagrama carga x deslocamento, indicado na Figura 26.

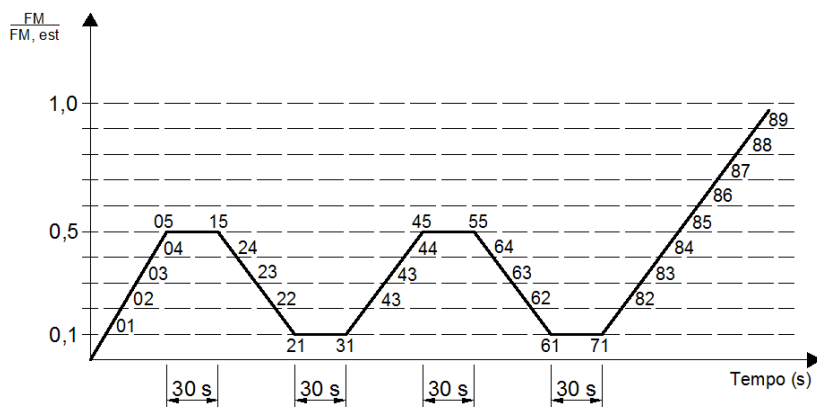
Figura 26 - Diagrama carga x flecha na flexão



Fonte: NBR 7190/97

O carregamento da carga utilizado também seguiu as normas da NBR - 7190/97, sendo aplicados dois ciclos de carga, até 50% da carga de ruptura, intercalados com dois ciclos de descarga, até 10% da carga de ruptura, sendo utilizadas as deformações correspondentes às cargas, conforme mostra a Figura 27.

Figura 27 - Diagrama de carregamento para determinação da rigidez à flexão



Fonte: NBR 7190/97

Os ensaios nas vigas de MLC foram realizados no Laboratório de Experimentação em Estruturas (LEE), do departamento de engenharia civil, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O sistema de teste foi montado sob uma laje de reação, sendo que as vigas foram apoiadas sobre cavaletes em ferro e nelas fixados roletes nas extremidades para o encaixe de barras em alumínio, posicionadas lateralmente, que foram utilizadas servindo de apoio aos transdutores de deslocamento, posicionada paralelamente à linha neutra da viga (Figura 28).

Os demais elementos do sistema de teste foram: pórtico de reação em aço, atuador hidráulico com capacidade de 20 tf e sistema de pressão de óleo elétrico, sistema de distribuição de carga para dois pontos rotulados, célula de carga Kratos® com capacidade de 20 tf e equipamento de aquisição de dados modelo Spider da HBM.

Figura 28 - Teste de flexão: (a) esquema de ensaio a quatro pontos; e (b) posicionamento dos transdutores de deslocamento entre os pontos de aplicação de carga.



(a)

(b)

Fonte: produção do próprio autor

Para o ajuste dos equipamentos foram utilizadas duas vigas sem tratamentos, confeccionadas para esta finalidade. Após a calibração iniciou-se o procedimento, em todas as vigas de cada tratamento, totalizando assim 21 testes e após estes testes no laboratório, partiu-se para o cálculo dos coeficientes.

A flecha experimental foi calculada através da carga padrão utilizada no cálculo analítico, e se deu através da seguinte equação (Eq. 12):

$$\delta = \frac{PL^3}{48EI} \quad (\text{Eq. 12})$$

Onde:

δ = flecha (m)

P = carga padrão (5,86 kN);

L = vão analítico (228 cm)

E = módulo de elasticidade experimental (MPa)

I = inércia da viga (m⁴).

3.6 CARACTERIZAÇÃO DAS LINHAS DE COLAGEM

Os ensaios empregados para a avaliação do desempenho das linhas de colagem foram os de tração normal e de cisalhamento, realizado nas dependências do Laboratório de Tecnologia da Madeira da UDESC, usando a Máquina Universal de Ensaios da marca EMIC, modelo DL3.000 (Figura 29). Esta máquina é eletromecânica e operada com auxílio de um programa computacional, onde são inseridos os dados referentes à velocidade de aplicação da carga para cada ensaio, dimensões dos corpos de prova, carga máxima a ser aplicada e deslocamento máximo permitido.

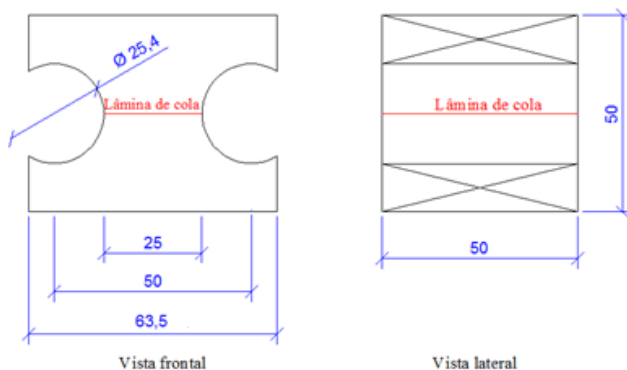
Figura 29 - Máquina Universal de Ensaios



Fonte: produção do próprio autor

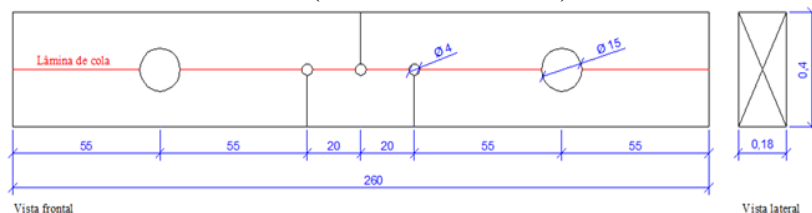
Os ensaios seguiram as recomendações do Anexo B da NBR - 7190/97, porém o corpo de prova de cisalhamento foi adaptado da NF B 5-32, para melhor ajuste com a máquina. O uso da norma brasileira não foi aceitável neste caso em função das dimensões das vigas que não foi possível a confecção do corpo de prova e pelo corpo de prova apresentar um esforço de segunda ordem. A Figura 30 e 31 mostram as dimensões e a disposição das linhas de colagem nos corpos de prova de cisalhamento e de tração normal, respectivamente.

Figura 30 - Corpo de prova de tração normal à linha de cola (dimensões em mm).



Fonte: produção do próprio autor

Figura 31 - Corpo de prova de cisalhamento paralelo à linha de cola (dimensões em mm).

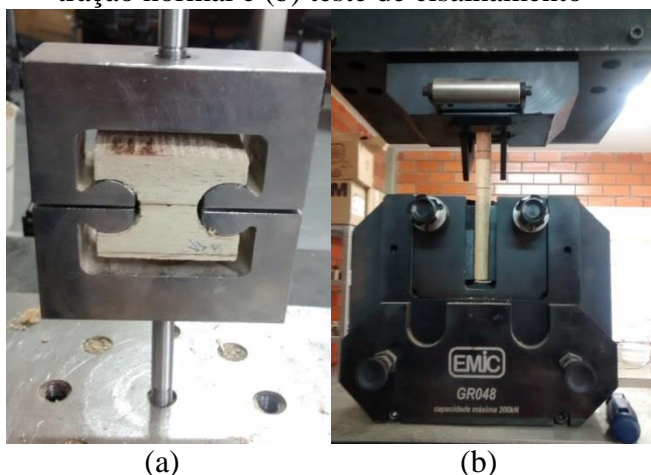


Fonte: produção do próprio autor

Os corpos de prova foram extraídos das vigas ensaiadas, selecionando-se regiões de bom aproveitamento e separadas para a confecção dos corpos de prova, que resultaram em sete unidades para cada teste.

Antes do ensaio as peças foram medidas com paquímetro digital para posterior cálculo da área rompida. A Figura 32 mostra a posição de cada corpo de prova para a realização do ensaio.

Figura 32 - Testes de resistência da linha de cola (a) teste de tração normal e (b) teste de cisalhamento



Fonte: produção do próprio autor

3.7 TRATAMENTO ESTATÍSTICO

3.7.1 Kolmogorov-Smirnov

No Teste de Normalidade dos Resíduos K-S, avalia-se se o erro do modelo de uma distribuição normal. Isto é feito comparando o maior valor (D) em módulo, determinado através da subtração da distribuição normal acumulada (calculada com a média e desvio padrão conhecidos da amostra de tamanho n) pela distribuição acumulada da amostra, com o valor crítico ($D_{\alpha}(n)$) da tabela de Nanni. A hipótese de normalidade é aceita se $D < D_{\alpha}(n)$.

O uso da análise de variância não paramétrica (ANOVA) na comparação de grupos está baseado na relação da variabilidade das médias entre os grupos. Primeiramente, determinam-se a soma dos quadrados dos resíduos das médias de cada grupo com respeito à média total (SQG) e a soma dos quadrados dos resíduos com respeito à média de cada grupo (SQR). Posteriormente, são calculadas as médias quadradas do grupo (MQG) e dos resíduos (MQR). Ao final é determinado o valor F , dado pelo quociente entre MQG e MQR, o qual é comparado ao valor tabelado (Tabela ANOVA) definido pela significância desejada, número de grupos menos os graus de liberdade e o número total de amostras menos o número de grupos ($F_{\alpha}(V-1, N-V)$).

$$SQG = \sum_j n_j (x_j - x_{..})^2 \text{ (Eq. 13)}$$

Onde n_j = número total de amostras; x_j = média do grupo; $x_{..}$ = média total.

$$SQG = \sum_{ij} (x_{ij} - x_j)^2 \text{ (Eq. 14)}$$

Onde x_{ij} = amostra; e \bar{x}_j = média do grupo.

$$MQG = \frac{SQG}{(V-1)} \quad (\text{Eq. 15})$$

Onde V = número de grupos.

$$MQR = \frac{SQR}{(N-V)} \quad (\text{Eq. 16})$$

Onde V = número de grupos; e N = número total de amostras.

3.7.2 Shapiro-Wilk (SW)

Esse teste, proposto em 1965, calcula uma estatística W que testa se uma amostra aleatória de tamanho n provém de uma distribuição normal. Valores pequenos de W são evidência de desvios da normalidade e pontos percentuais para a estatística W , podem ser obtidos via simulação de Monte Carlo. A estatística SW é calculada de acordo com a seguinte equação (Eq. 17):

$$SW = \frac{\left(\sum_{i=1}^n a_i x_{(i)} \right)^2}{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (\text{Eq. 17})$$

Em que os $x_{(i)}$'s são os valores amostrais ordenados e os a_i 's são constantes geradas das médias, variâncias e covariâncias das estatísticas de ordem de uma amostra aleatória de tamanho n de uma distribuição normal. Em comparação a outros testes de ajuste, esse teste comporta-se bem (JOHNSON e WICHERN, 2007).

Para a verificação da Normalidade por meio dos testes de Kolmogorov-Smirnov (K-S) e de Shapiro-Wilk (SW), existem diversas ferramentas e programas estatísticos, dentre os quais o *Statistical Package for Social Sciences* (SPSS) versão 17.0 (SPSS, 2008). O SPSS é usado para a análise de dados e permite manipular, transformar, criar tabelas e gráficos que resumam as informações obtidas. As suas potencialidades vão além da análise descritiva de um conjunto de dados. É possível realizar com este software procedimentos mais avançados como inferência estatística, testes de hipóteses e estatísticas multivariadas para dados qualitativos e quantitativos.

Os testes K-S e S-W fornecem o parâmetro valor de prova (valor-p, *p-value* ou significância), que pode ser interpretado como a medida do grau de concordância entre os dados e a hipótese nula (H_0), sendo H_0 correspondente à distribuição Normal. Quanto menor for o valor-p, menor é a consistência entre os dados e a hipótese nula. Então, a regra de decisão adotada para saber se a distribuição é Normal ou não é rejeitar H_0 : (i) se $\text{valor-p} \leq \alpha$, rejeita-se H_0 , ou seja, não se pode admitir que o conjunto de dados em questão tenha distribuição Normal; (ii) se $\text{valor-p} > \alpha$, não se rejeita H_0 , ou seja, a distribuição Normal é uma distribuição possível para o conjunto de dados em questão (LOPES *et al*, 2013).

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1 MÉTODO DE HOMOGENEIZAÇÃO DA SEÇÃO (MHS)

O módulo de elasticidade de cada lâmina, numeradas a partir do maior valor, foram obtidos a partir de ensaios de flexão a três pontos, como descrito na seção 3.1.2 e estão mostrados na Tabela 4 para as diversas vigas.

Tabela 4 - Módulos de Elasticidade das lâminas da seção original; propriedades geométricas e módulo de referência E_c (em negrito) da seção transformada para diversas vigas de MLC.

Tratam.	Viga	E1 (MPa)	E2 (MPa)	E3 (MPa)	E4 (MPa)	I* (cm ⁴)	A* (cm ²)	χ^*
LT	1	18.718,46	11.318,14	6.666,84	18.025,19	782,79	97,84	1,80
	4	13.518,89	7.849,67	7.978,36	13.518,89	446,95	57,47	1,88
	7	12.807,37	8.848,72	8.848,72	12.478,97	429,74	57,95	1,98
	10	12.167,00	9.012,59	9.182,64	12.167,00	386,62	55,32	1,97
	13	11.870,24	9.359,23	9.359,23	11.870,24	374,13	53,45	2,02
	16	11.318,14	9.542,74	9.542,74	11.318,14	346,27	51,42	2,04
	19	10.815,11	9.733,60	9.932,24	10.815,11	340,25	50,14	2,12
VT	3	14.314,12	7.373,93	7.604,37	13.905,14	663,84	72,69	1,97
	5	13.153,51	7.978,36	8.111,33	13.153,51	578,15	65,94	2,03
	6	12.807,37	8.248,81	8.538,24	12.807,37	547,61	63,79	2,07
	12	11.870,24	9.182,64	9.182,64	11.870,24	477,54	59,83	2,14
	15	11.587,62	9.359,23	9.359,23	11.587,62	445,36	55,54	2,18
	18	10.815,11	9.733,60	9.733,60	10.815,11	378,42	49,44	2,24
	21	10.580,00	10.139,17	10.139,17	10.354,89	390,62	45,98	2,14
ST	8	12.478,97	8.848,72	9.012,59	1.2167	451,76	55,39	2,10
	9	12.167,00	9.012,59	9.012,59	1.2167	401,07	54,45	2,02
	11	11.870,24	9.182,64	9.182,64	11.870,24	404,96	51,67	2,12
	14	11.870,24	9.359,23	9.359,23	11.587,62	366,97	46,97	2,14
	17	11.060,91	9.542,74	9.542,74	11.060,91	345,61	50,37	2,08
	22	10.354,89	10.139,17	10.354,80	10.354,89	293,32	45,98	2,14

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento; E = módulo de elasticidade; I* = momento de Inércia de uma área composta; A* = área da viga; χ^* = fator de forma. Fonte: produção do próprio autor

O MHS sugere que se escolha arbitrariamente propriedades mecânicas entre as diversas lâminas, escolhendo-se em geral a lâmina com menores valores para os módulos E e G. Como as vigas em MLC foram compostas com lâminas de módulo de elasticidade elevado dispostas nas extremidades, os módulos de elasticidade de referência (em **negrito**) encontram-se nas lâminas do centro (E2 e E3), como pode-se constatar na Tabela 4.

Os valores experimentais foram extraídos dos gráficos força x deformação, sendo que as flechas calculadas pela média aritmética dos valores fornecidos pelos dois transdutores de deslocamento, sendo os resultados mostrados na Tabela 5, que possui apenas 19 vigas pois houve problema com a viga 15.

Tabela 5 - Comparação entre valores analíticos e experimentais de flechas máximas obtidas nas vinte e uma vigas de MLC ensaiadas a flexão a quatro pontos.

Tratamento	Vigas	δ (analít.) (mm)	δ (experim.) (mm)	difer. Abs δ (mm)	dif. Rel. (%)
LT	Viga 1	24,63	20,62	4,00	-16,25
	Viga 4	36,65	23,29	13,36	-36,45
	Viga 7	33,82	22,54	11,27	-33,33
	Viga 10	36,82	20,70	16,11	-43,76
	Viga 13	36,67	21,06	15,61	-42,57
	Viga 16	38,82	23,25	15,56	-40,09
	Viga 19	38,80	21,22	17,57	-45,29
Média		35,17	21,81	13,35	
Desvio					
Padrão		4,94	1,18	3,76	
Coef. de variação		14,05	5,41		

Tabela 5 - Comparação entre valores analíticos e experimentais de flechas máximas obtidas nas vinte e uma vigas de MLC ensaiadas a flexão a quatro pontos (Conclusão).

Tratamento	Vigas	δ (analít.) (mm)	δ (experim.) (mm)	difer. Abs δ (mm)	dif. Rel. (%)
VT	Viga 3	26,51	16,89	9,62	-36,30
	Viga 5	28,12	17,34	10,78	-38,35
	Viga 6	28,71	18,77	9,94	-34,62
	Viga 12	29,52	21,83	7,69	-26,04
	Viga 18	35,16	23,46	11,69	-33,26
	Viga 21	32,70	20,75	11,94	-36,52
Média		30,12	19,84	10,28	
Desvio					
Padrão		3,20	2,60	0,59	
Coef. de					
variação		10,63	13,14		
ST	Viga 8	32,39	27,94	4,45	-13,74
	Viga 9	35,60	21,42	14,18	-39,83
	Viga 11	34,77	10,21	24,55	-70,62
	Viga 14	37,66	19,38	18,27	-48,52
	Viga 17	38,95	43,06	-4,10	10,53
	Viga 22	43,12	21,92	21,20	-49,17
Média		37,08	23,99	13,09	
Desvio					
Padrão		3,73	10,96	7,22	
Coef. de					
variação		10,07	45,70		

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; ST = Sem tratamento; δ = Flecha; dif. Rel. = diferença relativa. Fonte: produção do próprio autor

No estudo com vigas MLC de pinus realizado por La Rovere (1998), o valor médio da diferença relativa entre as deformações (analítica e experimental) foi de 9,32%. Este resultado pode ter ocorrido devido ao uso de um sistema de aquisição de dados para determinar o MOE de cada lâmina, dando maior precisão ao experimento.

Observa-se na Tabela 4 que os valores médios de diferença relativa (em módulo) são iguais a 36,82% para vigas do tipo LT; 34,18% para vigas do tipo VT e 38,73% para vigas do tipo ST.

Os resultados das deformações (δ) analíticos foram maiores em comparação com os experimentais, esta diferença pode ser explicada pelo método utilizado para determinar a deformação das lâminas, que foi medida apenas visualmente, com baixa precisão. O comportamento da rigidez da lâmina isolada é diferente da composição da viga colada, pois esta se torna um compósito tendo suas características alteradas.

Pode-se dizer ainda que estes resultados elevados são positivos, pois analiticamente foi calculada uma deformação maior do que o analisado experimentalmente, dando uma margem de segurança.

Já em relação aos grupos, a maneira como o tratamento químico foi aplicado (antes da colagem ou após a colagem das lâminas) não interferiu diretamente nos resultados, já que os valores médios de diferença relativa foram muito semelhantes, e com um nível de significância de 95%, não houve diferença quanto à ordem do tratamento químico, como pode ser analisado nas tabelas 6 e 7.

Tabela 6 - Resumo da comparação entre os tratamentos das flechas analíticas e experimentais.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
Lâminas Tratadas (LT)	7	93,51	13,35	21,20
Vigas Tratadas (VT)	6	61,69	10,28	2,45
Sem Tratamento (ST)	6	86,77	14,46	73,91

Fonte: produção do próprio autor

Tabela 7 - Resultado estatístico ANOVA para flechas analíticas e experimental.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	56,72	2	28,36	0,89	0,42	3,63
Dentro dos grupos	509,09	16	31,81			
Total	565,82	18				

SQ = Soma dos quadrados; gl = graus de liberdade; MQ = Média Quadrada.
F calculado; Valor-P: Valor de comparação com o nível de significância α .

Fonte: produção do próprio autor

4.2 FLEXÃO ESTÁTICA

No que tange ao teste de normalidade, evidencia-se estatisticamente que é possível afirmar com 95% de confiança que a amostra apresenta distribuição normal, conforme pode ser observado na Tabela 8.

Tabela 8 - Teste de normalidade

Tratamento	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
VT	0,252	6	0,200	0,875	6	0,246
LT	0,221	5	0,200	0,935	5	0,617
ST	0,282	5	0,148	0,887	5	0,304

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento; gl = graus de liberdade; Sig. = Significância. Fonte: produção do próprio autor

Da mesma forma que a comparação entre os tratamentos com relação aos resultados da deformação analítica e experimental, na comparação entre os módulos de elasticidade também não houve diferença entre os grupos, podendo ser observada nas tabelas 9 e 10.

Tabela 9 - Resumo da comparação entre os tratamentos: MOE.

Grupo	Contagem	Soma	Média	Variância
LT	7	151.894,94	21.699,27	2.709.175,22
VT	6	120.567,78	20.094,63	6.433.259,66
ST	6	140.349,98	23.391,66	12.8552.813,10

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento. Fonte: produção do próprio autor

Tabela 10 - Resultado estatístico ANOVA para MOE.

Fonte da variação	SQ	gl	MQ	F	valor-P	F crítico
Entre grupos	32.619.801,50	2	1.6309.900,75	0,37	0,69	3,63
Dentro dos grupos	691.185.415,10	16	43.199.088,44			
Total	723.805.216,60	18				

SQ = Soma dos quadrados; gl = graus de liberdade; MQ = Média Quadrada. F calculado; Valor-P: Valor de comparação com o nível de significância α . Fonte: produção do próprio autor

Os valores dos módulos de elasticidade calculados através do ensaio de flexão a quatro pontos podem ser vistos na tabela 11.

Tabela 11 - Módulos de elasticidade (MOE) determinados através do ensaio de flexão a quatro pontos.

Tratamento	Vigas	MOE (Mpa)	Média (Mpa)	Desvio Padrão	Coefficiente de Variação (%)
LT	Viga 1	23.088,56	21.699,28	1.645,96	7,58
	Viga 4	18.966,53			
	Viga 7	20.552,39			
	Viga 10	23.653,02			
	Viga 13	22.696,77			
	Viga 16	20.910,53			
	Viga 19	22.027,11			
VT	Viga 3	23.265,51	20.094,63	2.536,39	12,62
	Viga 5	22.661,82			
	Viga 6	20.929,58			
	Viga 12	17.446,64			
	Viga 18	17.898,25			
	Viga 21	18.365,95			
ST	Viga 8	15.426,25	23.391,66	11.338,11	48,47
	Viga 9	22.021,07			
	Viga 11	43.975,46			
	Viga 14	24.864,39			
	Viga 17	11.087,06			
	Viga 22	22.975,73			

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento. Fonte: produção do próprio autor

Trabalho realizado por Cavalheiro (2014), o MOE para vigas de paricá sem tratamento preservante e utilizando a mesma cola foi de 9150 MPa e para vigas tratadas quimicamente com CCA foi de 8764 MPa.

Para MLC de paricá sem tratamento químico, Terezo (2010) encontrou um valor médio de 19.343,43 MPa. Fagundes e Szücs (1998) e Grohmann e Szücs (1998) ao confeccionarem vigas em MLC para *Pinus* sp e *Eucalyptus grandis*, respectivamente, com o mesmo adesivo, aplicando também uma classificação das lâminas, obtiveram módulo de elasticidade médio de 9.460,40 MPa (*Pinus* sp) e 22.987,86 MPa (*Eucalyptus grandis*). Comparando estes valores médios com os da Tabela 11, observa-se que as vigas em MLC de paricá mostraram desempenho superior em relação às vigas MLC de *Pinus* sp, porém inferior em relação às vigas MLC de *Eucalyptus grandis*, exceto no terceiro tratamento (ST – sem tratamento preservante). Apesar de o módulo de elasticidade ser inferior ao do *Eucalyptus grandis*, estes valores foram próximos e deve-se levar em consideração que a densidade aparente do paricá em média (490 kg/m³) é menor do que a das duas espécies (590 kg/m³ - *Pinus* e 640 kg/m³ - *Eucalyptus*). O MOE do terceiro tratamento, 23.391,66 MPa, pode ter sido maior em função da composição do posicionamento das lâminas ao longo da seção transversal e de uma melhor classificação das lâminas.

4.3 RESISTÊNCIA DE LINHA DE COLA

Foi realizado teste de normalidade, e há evidências estatísticas em que é possível afirmar com 95% de confiança que as amostras são normalmente distribuídas, conforme pode ser observado nas Tabelas 12 e 13.

Tabela 12 - Teste de normalidade: cisalhamento paralela à linha de cola.

Tratamento	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
LT	0,238	7	0,200	0,897	7	0,313
VT	0,377	6	0,003	0,738	6	0,010
ST	0,404	6	0,001	0,596	6	0,000

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento; gl = graus de liberdade; Sig. = Significância. Fonte: produção do próprio autor

Tabela 13 - Teste de normalidade: tração normal à linha de cola.

Tratamento	Kolmogorov-Smirnov			Shapiro-Wilk		
	Estatística	gl	Sig.	Estatística	gl	Sig.
LT	0,191	6	0,200	0,925	6	0,510
VT	0,133	6	0,200	0,984	6	0,978
ST	0,228	7	0,200	0,896	7	0,307

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento; gl = graus de liberdade; Sig. = Significância. Fonte: produção do próprio autor

Os resultados dos testes de resistência de linha de cola para os três tratamentos são mostrados nas Tabelas 14 e 15.

Tabela 14 - Resistência característica ao cisalhamento paralela à linha de cola.

	Tensão média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. de variação	Fv0,k (12%)
LT	1,06	0,20	19,10	0,76
VT	1,08	0,32	29,94	0,57
ST	1,11	0,53	47,75	0,47

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento. Fonte: produção do próprio autor

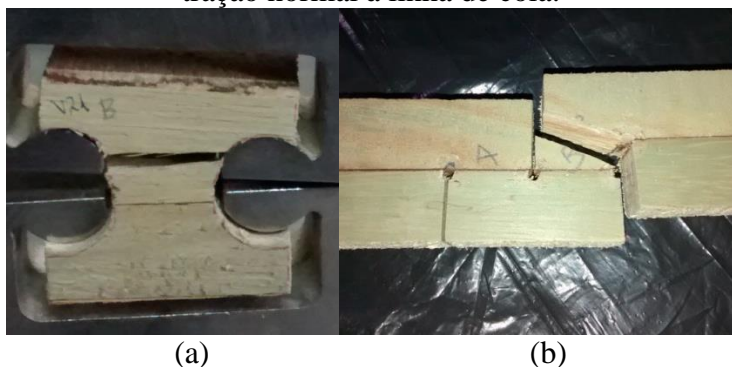
Tabela 15 - Resistência característica à tração normal à linha de cola.

	Tensão média (MPa)	Desvio Padrão	Coef. De variação	Ft90,k (12%)
LT	1,95	0,64	32,68	2,09
VT	1,61	0,37	22,79	2,46
ST	1,70	0,51	30,36	1,93

LT = Lâminas tratadas; VT = Vigas tratadas; e ST = Sem tratamento. Fonte: produção do próprio autor

Em seu estudo, Terezo (2010) encontrou valores médios para tensão de ruptura de 2,97 MPa e 3,81 MPa para cisalhamento paralela à linha de cola e tração normal à linha de cola respectivamente, para vigas não tratadas. Já Cavalheiro (2014) encontrou um valor de 3,4 MPa para cisalhamento paralela à linha de cola. Os valores encontrados neste estudo foram menores, que podem ter ocorrido em função do uso de corpos de prova adaptados, diferentes da bibliografia pesquisada. Outro fator é a falta de uma calibração para a máquina universal de ensaios (EMIC), ajustada para este tipo de corpo de prova. Porém, a qualidade da colagem pode ser considerada satisfatória, pois na maioria dos casos o rompimento ocorreu na madeira, como pode ser observado na Figura 32.

Figura 33 - Modos de ruptura característicos das linhas de cola após ensaios: (a) cisalhamento paralelo à linha de cola; (b) tração normal à linha de cola.



Fonte: produção do próprio autor

Em relação aos grupos (Lâmina Tratada, Viga Tratada e Sem Tratamento), a maneira como o tratamento químico foi aplicado não interferiu diretamente nos resultados, já que os valores médios de diferença relativa foram muito semelhantes, e com um nível de significância de 95%, não houve diferença quanto à ordem do tratamento químico, como pode ser analisado nas tabelas 16 e 17, comprovando que o tratamento químico não influencia a resistência do material.

Tabela 16 - Resultado estatístico ANOVA para cisalhamento paralela à linha de cola.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,0091	2	0,0045	0,033	0,967	3,521
Dentro dos grupos	2,6007	19	0,1368			
Total	2,6098	21				

SQ = Soma dos quadrados; gl = graus de liberdade; MQ = Média Quadrada.
 F calculado; Valor-P: Valor de comparação com o nível de significância α .
 Fonte: produção do próprio autor

Tabela 17 - Resultado estatístico ANOVA para tração normal à linha de cola.

<i>Fonte da variação</i>	<i>SQ</i>	<i>gl</i>	<i>MQ</i>	<i>F</i>	<i>valor-P</i>	<i>F crítico</i>
Entre grupos	0,43	2	0,21	0,81	0,45	3,52
Dentro dos grupos	5,08	19	0,26			
Total	5,52	21				

SQ = Soma dos quadrados; gl = graus de liberdade; MQ = Média Quadrada.
 Fonte: produção do próprio autor

5 CONCLUSÃO

De acordo com os resultados obtidos pode-se concluir:

- A metodologia simplificada de classificação não destrutiva das lâminas para a composição de vigas MLC pode ser aplicada quando não se dispõe de equipamentos mais sofisticados; A classificação realizada nas lâminas para a composição das vigas MLC pode-se ser utilizada, pois os valores das deformações realizadas no laboratório foram menores que as deformações calculadas de forma analítica, dentro da margem de segurança nos estados limites de utilização, sem aumento da seção. É possível afirmar com 95% de confiança que não houve diferença quanto ao tipo de tratamento aplicado.
- Quanto ao desempenho da linha de colagem das vigas MLC, chegou-se a valores médios de 1,06 MPa, 1,08 MPa e 1,11 MPa para Lâmina Tratada, Viga Tratada e Sem Tratamento, respectivamente, para resistência característica ao cisalhamento paralela à linha de cola; 1,95 MPa, 1,61 MPa e 1,70 MPa (Lâmina Tratada, Viga Tratada e Sem Tratamento respectivamente) para resistência característica à tração normal à linha de cola. Estes valores estão abaixo dos encontrados na literatura e, que podem estar ligados ao corpo de prova diferenciado e à calibração pouco adequada da máquina de ensaios para este modelo de corpo de prova de cisalhamento, porém ainda assim pode-se afirmar a boa qualidade da colagem, pois na maioria dos casos a ruptura ocorreu na madeira e não na linha de cola. Com significância de 95% não há diferenças estatísticas entre os tratamentos, ou seja, o tratamento preservante não teve influência na colagem.
- Os resultados obtidos no ensaio de flexão a quatro pontos foram acima dos valores encontrados na literatura e bem

próximos ou até mesmo superior ao MOE do gênero *Eucalyptus*. Isto é mais uma das possibilidades para o uso estrutural da espécie e mais uma vez não houve diferença estatística entre os tratamentos.

- A maneira como o tratamento químico foi realizado não apresentou diferenças com relação a resistência e a colagem da viga. A escolha da melhor forma para a realização do tratamento decorre através do tamanho da peça estrutural, que sendo muito grande impossibilita a entrada da mesma na autoclave, devendo então, ser realizado o tratamento químico das lâminas antes da colagem. Caso a peça tenha dimensões menores que proporcione o tratamento químico da viga, sugere-se uma análise de custo/benefício para uma escolha mais econômica.

6 RECOMENDAÇÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Como não houve diferença entre a forma como foi realizado o tratamento preservante, sugere-se que se realize um estudo sobre a viabilidade econômica do tratamento para contatar qual maneira é mais viável para uma empresa, fazendo uma avaliação do custo/benefício.

Para reforçar a pesquisa, sugere-se estudos sobre a resistência à delaminação da linha de cola e testes de durabilidade para MLC de paricá tratadas quimicamente.

Um estudo sobre diferentes corpos de prova para o ensaio de colagem, ajustando um melhor programa para a máquina universal de ensaios torna-se de grande valia.

E por fim, sugere-se estudos sobre diferentes métodos de preservação e imunizantes para conferir resistência à fungos e insetos na madeira de paricá.

REFERÊNCIAS

ABRAF, Associação Brasileira de Produtores de Florestas Plantadas. **Anuário estatístico ABRAF 2013 ano base 2012**. Brasília, junho de 2013.

ALMEIDA, D. H.; SCALIANTE, R. de M.; MACEDO, L. B.; MACÊDO, A. N.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L.; e CALIL JUNIOR, C. **Caracterização completa da madeira da espécie amazônica paricá (*Schizolobium amazonicum* HERB) em peças de dimensões estruturais**. Revista Árvore, Viçosa-MG, v.37, n.6, p.1175-1181, 2013.

AMATA, 2009. Disponível em: <http://www.amatabrasil.com.br/>. Acesso em: 15 ago. 2014

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. Annual Book of ASTM Standars: adhesives. Washington: ASTM, 1994. 608 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D4761 – Mechanical properties of Lumber and Wood-Base Structural Material**. Philadelphia, PA, 2002.

APRILANTI, M. D. **Influência de um corte na borda tracionada de uma viga maciça simulando uma emenda de topo na lâmina inferior de vigas laminadas coladas**. Piracicaba. 108 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo. 2010.

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

BAENA, A. R.C., FALES, I. C. **Avaliação do potencial químico e físico dos solos sob diversos sistemas de uso da terra na colônia agrícola de Tomé-Açu, Estado do Pará.** Belém: Embrapa Amazônia Oriental, 1999. 23p. (Embrapa Amazônia Oriental. Boletim de Pesquisa, 18).

BARBOSA, A.P.; VIANEZ, B.F.; VAREJÃO, M.J.; ABREU, R.L.S. **Considerações sobre o perfil tecnológico do setor madeireiro na Amazônia Central - Parcerias Estratégicas.** Brasília, v. 6, n.12, p. 42-61. 2001.

BARROS, A. C. e VERÍSSIMO, A. **A Expansão madeireira na Amazônia: Impactos e perspectivas para o desenvolvimento sustentável no Pará.** Imazon, 2 ed. Belém. 2002.

BERGER, R.; SCHNEIDER, P.R.; FINGER, C.A. G.; HASELEIN, C.R. **Efeito do espaçamento da adubação no crescimento de um clone de *Eucalyptus saligna* Smith.** Ciência Florestal, Santa Maria: v.12,n.2,p.75-87, 2002.

BERTOLINI, M. S. **Emprego de resíduos de Pinus p. tratado com preservante CCB na produção de chapas de partículas homogêneas utilizando resina poliuretana à base de mamona.** 129 f. Dissertação (mestrado) – Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

BODIG, J.; JAYNE, B.A. **Mechanics of wood composites.** New York: Van Nostrand Reinhold Co. Inc., 1982. 712p

BRASIL E AMAZON **A atividade madeireira na Amazônia brasileira: produção, receita e mercados** / Serviço Florestal Brasileiro, Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – Belém, PA: Serviço Florestal Brasileiro (SFB); Instituto do

Homem e Meio Ambiente da Amazônia (IMAZON), 2010. 20p.

BREMER, C. F.; CARRASCO, E. **Parafusos ocos em ligações de peças de madeira laminada colada. Revista de Engenharia e Tecnologia.** ISSN 2176-7270. V. 5, No. 1, Abril/2013

CALIL NETO, C. **Recomendações para o sistema de controle de qualidade para a produção de madeira laminada colada (MLC) certificada.** Trabalho de Graduação do Curso Engenharia Industrial Madeireira. Câmpus Experimental de Itapeva – UNESP. Itapeva, 2008.

CALIL NETO, C. **Madeira laminada colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie – adesivo – tratamento preservativo.** 2011. 120f. Dissertação (Mestrado em Engenharia e Ciências dos Materiais) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

CALIL NETO, C.; SEGUNDINHO, P. G. A.; LAHR, F. A. R.; CALIL JUNIOR, C. **Análise da qualidade de colagem de madeira laminada colada utilizando diferentes espécies, adesivos e produtos preservativos.** XIII EBRAMEM. UFES. Vitória. Julho de 2012.

CALIL NETO, C. **Ligações com Parafusos Auto-Atarraxantes sem Pré-Furação para uso em Estruturas de Madeira.** Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CAMPOS, C. I.; LAHR, F. A. R. **Estudo Comparativo dos Resultados de Ensaio de Tração Perpendicular para MDF Produzido em Laboratório com Fibras de Pinus e de**

Eucalipto Utilizando Uréia-Formaldeído. Revista Matéria, vol 9, Nº 1 (2004) 32 - 42

CARREIRA, M. R. **Critérios para classificação visual de peças estruturais de *Pinus* sp.** 2003. 182f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2003.

CARREIRA, M. R.; CANDIAN, M. **Teste de um equipamento para classificação de peças estruturais de madeira pela técnica da vibração transversal.** Semina: Ciências Exatas e da Terra, Londrina, v. 29, n. 1, p. 3-14, jan./jun. 2008. Disponível em: <http://www.uel.br/revistas/uel/index.php/semexatas/article/view/2970/2516>. Acesso em: 15 ago. 2014

CAVALHEIRO, R. S. **Madeira Laminada Colada de *Schizolobium amazonicum* Herb. (Paricá): combinação adesivo/tratamento preservante.** 2014. 102p. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2014.

CORADIN, V.T.R.; CAMARGOS, J.A.A.; MARQUES, M. H.; **Caracterização tecnológica de madeiras denominadas fava e/ ou faveira.** IBAMA. Brasília, 1993. 90p. ISSN 0104.1975.

DIAS, A. A.; Azambuja, M.; Oliveira Junior, S. F. **Análise estatística comparativa entre adesivos poliuretanos frente ao resorcinol-formaldeído aplicados em emenda dentada estrutural para a espécie *Eucalyptus grandis*.** In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA E

CIÊNCIA DOS MATERIAIS, 17, Foz do Iguaçu, 2006. Anais. Paraná, ABM, CD-ROM. 2006.

ESTRUTURAS DE MADEIRA. **Aspectos históricos – madeira laminada colada.** junho, 2011. Disponível em: <http://pef2603g03.wordpress.com/2011/06/04/aspectos-historicos-madeira-laminada-colada/>. Acesso em: 15 ago. 2014

FAGUNDES, G. S. R.; SZÜCS, C. A. **Composição racional de vigas de madeira laminada colada.** In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, Vol 1.

FERRO, F. S. **Painéis OSB com madeira *Schizolobium amazonicum* e resina poliuretana à base de óleo de mamona: viabilidade técnica de produção.** 101 f. Dissertação (Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos, Instituto de Física de São Carlos, Instituto de Química de São Carlos da Universidade de São Paulo, São Carlos, 2013.

FIORELLI, J. **Estudo teórico e experimental de vigas de madeira laminada colada reforçadas com fibras de vidro.** Tese (Doutorado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, SP, 2005. 108p.

FURIATI, M. **Classificação Estrutural de Peças de Madeira.** Dissertação de mestrado, Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos – SP, p. 32 – 49. 1981.

FURTADO, F. R. C. **Análise de viabilidade econômica ambiental para uso da espécie Paricá em vigas laminadas coladas.** 2014. 117 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Tecnologia da Madeira) – Universidade do

Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2014

GROHMANN, S. Z.; SZÜCS, C. A. **Vigas de madeira laminada colada com lâminas pré-classificadas de *Eucalyptus grandis***. In: VI ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS

DE MADEIRAS, 1998, Florianópolis. **Anais...** Florianópolis: Editora/UFSC, Vol 1.

JESUS, R. C. S. DE. **Características anatômicas e físicas da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex. Ducke), plantadas em diferentes espaçamentos e condições ambientais no município de Aurora do Pará – PA**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) – Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém, 2004. 127 p.

JESUS, R. C. S.; NUMAZAWA, S.; BRANDÃO, A. T. O.; BRASIL, P. L. C. **Influência do espaçamento e diferentes condições ambientais sobre anatomia, densidade e contração da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*, , Huber), plantadas em Aurora do Pará, Estado do Pará**. Universidade Federal rural da Amazônia. Projeto de dissertação. Belém Maio – 2003.

JOHNSON e WICHERN, D. **Applied Multivariate Statistical Analysis**. 6. ed. New Jersey: Prentice Hall. 2007.

KIKUTI, P.; FIER, I.S.N.; CALORI, J.V. **Produção de madeiras de reflorestamento de alta qualidade**. Revista da madeira, v.5, n.30, p.8-13, 1996.

LA ROVERE, H. **Aplicações do método de homogeneização da seção a viga de madeira laminada colada**. VI Encontro

Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM. Florianópolis, julho 1998.

LE COINTE, P. **Árvores e plantas úteis: indígenas e aclimatadas**. São Paulo: Nacional, 1947. p.389-390. (Série Brasileira, 251).

LELIS, A. T. Biodegradação de madeiras em edificações. São Paulo. IPT. 2001

LOPES, M. M., BRANCO, V. T. F. C. e SOARES, J. B. **Utilização dos testes estatísticos de Kolmogorov-Smirnov e Shapiro-Wilk para verificação da normalidade para materiais de pavimentação**. TRANSPORTES v. 21, n. 1 (2013) p. 59–66.

MACÊDO, A. N.; CALIL JUNIOR, C. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC): avaliação de métodos de ensaio – NBR 7190/ 1997**. Caderno de Engenharia de Estruturas, São Carlos - SP, n. 7, p.77-107. 1999.

MANUAL del grupo andino para la preservacion de maderas. Lima, Carvajal S.A. 1998.

MARQUES, T. C. L. L. S. M.; CARVALHO, J.G. de; LACERDA, M. P. C.; MOTA, P. E. F. da. **Exigências nutricionais do Paricá (*Schizolobium amazonicum*, Herb.) na fase de muda**. Cerne, Lavras, v. 10, n. 2, p. 167-183, jul./dez. 2004.

MARQUES, L. C. T.; YARED, J. A. G.; SIVIERO, M. A. **A Evolução do Conhecimento sobre o Paricá para Reflorestamento no Estado do Pará**. Comunicado técnico. Embrapa. Belém, PA. Junho, 2006.

MATSUBARA, R. K. **Caracterização dendrológica e física de cinco espécies arbóreas de ocorrência no estado de Mato Grosso**. Monografia (Especialização em Produtos Florestais) – Departamento de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá. 2003. 85p.

MEIRA, L. C. C. **Relacionamento clientes – fornecedores sob a ótica da qualidade: um estudo em construtoras baianas participantes**. 2003 Dissertação (Mestrado) – Escola de Administração, Universidade Federal da Bahia, Salvador, BA, 2003.

MIOTTO, J. L.; DIAS, A. A. **Produção e avaliação de vigas de madeira laminada colada confeccionadas com lâminas de eucalipto**. Revista Tecnológica, Edição Especial ENTECA 2009, p. 35-45, 2009.

MORALES, E. A. M. **Determinação do módulo de elasticidade da madeira: proposta para simplificação de procedimentos metodológicos**. São Carlos. 111 p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. 2005.

MORESCHI, J. C. **Produtos preservantes de madeira**. Apostila Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal – UFPR, Curitiba. 31p. 2011.

PEREIRA, A. P.; MELO, C. F. M. de; ALVES, S de M. **O paricá (*Schizolobium amazonicum*), características gerais da espécie e suas possibilidades de aproveitamento na indústria de celulose e papel**. In: CONGRESSO NACIONAL SOBRE ESSÊNCIAS NATIVAS, 1982, Campos do Jordão.

Anais. São Paulo: Instituto Florestal, 1982. p. 1340-1344. Publicado na Silvicultura em São Paulo, v. 16 A, parte 2, 1982.

PIGOZZO, J. C.; PLETZ, E.; LAHR, F. A. R. **Aspectos da classificação mecânica de peças estruturais de madeira.** S.d.

PIZZI, A.; MITTAL, K.L. **Wood adhesives.** CRC Press. Tsoumis, G. Science and technology of wood: structure, properties, utilization. Nova York: Van Nostrand Reinhold. 2011.

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

QUISEN, R. C.; ROSSI, L. M. B.; VIEIRA, A. H.; TEIXEIRA, C. A. D. **Bandarra: essência florestal de rápido crescimento.** (Embrapa – Boletim técnico). Brasília, 1999.

REMADE. **Exploração Madeireira na Amazônia: Situação Atual e Perspectivas.** REVISTA DA MADEIRA - EDIÇÃO Nº61 - NOVEMBRO DE 2001. Disponível em: http://www.remade.com.br/br/revistadamadeira_materia. Acesso em: 15 ago 2014.

RIBEIRO, G.D. **Avaliação preliminar de sistemas agroflorestais no projeto Água Verde, Albrás, Barcarena, Para.** Belém: FCAP, 1997. 100p. Dissertação Mestrado.

SILVA, S.; LEÃO, N. V. M. **Árvores da Amazônia.** Empresa das Artes. São Paulo, 2006. 243 p.

SZÜCS, C. A. **Aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado.** Apostila. Departamento de Engenharia Civil, UFSC. Florianópolis, 1992. 22 p.

TARGA, L. A.; BALLARIN, A. W.; BIAGGIONI, M. A. M. **Avaliação do módulo de elasticidade da madeira com uso de método não-destrutivo de vibração transversal.** Eng. Agríc., Jaboticabal, v.25, n.2, p.291-299, maio/ago. 2005. Disponível em: <http://www.scielo.br/pdf/eagri/v25n2/26490.pdf>. Acesso em: 17 ago 2014

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminda colada produzidas com louro vermelho (Sextonia rubra).** Dissertação de Mestrado em Ciências Florestais, Publicação PPGEFL.DM-107/2009. Departamento de Engenharia Florestal. Universidade de Brasília. DF. 118. 2009

TEREZO, R.F. **Avaliação tecnológica do Paricá e seu uso em estruturas de madeira laminada colada,** 2010. Tese (Doutorado) - Universidade Federal do Estado de Santa Catarina, Florianópolis, SC, 2010.

TEREZO, R.F. ; SZÜCS, C.A. **Análise de desempenho de vigas em madeira laminada colada de parica (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke).** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 471-480, set. 2010.

UHL, C.; AMARAL, P.; BARRETO, P.; VIDAL, E.; VERÍSSIMO, A.; BARROS, A. C. e SOUZA JUNIOR, C. **Uma abordagem integrada de pesquisa sobre o manejo dos recursos naturais na Amazônia.** Série Amazônia Nº 7. Belém: Imazon. 28 p. 1997.

VERÍSSIMO, A.; SOUZA JR., C.; STONE, S. & UHL, C. **Zoning of timber extraction in the Brazilian Amazon: A**

test case using Pará State. Conservation Biology, 12 (1):1-10. 1998.

YARED, J. A. G. Uso comercial de espécies nativas: a experiência com o Paricá. Revista Opiniões. Editora WDS Ltda. Ribeirão Preto, SP. Mar - Mai 2007.

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

ZANGIÁCOMO, A. L.; LAHR, F. A. R. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada.** Cadernos de Engenharia de Estruturas, São Carlos, v. 9, n. 40, p. 103-131, 2007.

APÊNDICES

APÊNDICE A - Dimensões das vigas

TRATAMENTO	VIGAS	E1 (MPa)	E4 (MPa)	E3 (MPa)	E2 (MPa)	b (cm)	h (cm)	Comp. (cm)	W
LT	Viga 1	18.718,46	11.318,14	6.666,85	18.025,19	5,45	8,75	242,50	69,52
	Viga 4	13.518,89	7.849,68	7.978,36	13.518,89	4,77	8,83	242,50	61,98
	Viga 7	12.807,37	8.848,73	8.848,73	12.478,97	5,38	8,87	242,50	70,51
	Viga 10	12.167,00	9.012,59	9.182,64	12.167,00	5,39	8,70	242,20	67,99
	Viga 13	11.870,24	9.359,23	9.359,23	11.870,24	5,37	8,78	242,30	69,00
	Viga 16	11.318,14	9.542,75	9.542,75	11.318,14	5,40	8,71	242,50	68,34
	Viga 19	10.815,11	9.733,60	9.932,24	10.815,11	5,33	8,87	242,50	69,87

APÊNDICE A - Dimensões das vigas (Conclusão)

TRATAMENTO	VIGAS	E1 (MPa)	E4 (MPa)	E3 (MPa)	E2 (MPa)	b (cm)	h (cm)	Comp. (cm)	W
VT	Viga 3	14.314,12	7.373,94	7.604,38	13.905,14	5,26	9,44	239,90	78,09
	Viga 5	13.153,51	7.978,36	8.111,33	13.153,51	5,26	9,44	239,90	78,09
	Viga 6	12.807,37	8.248,81	8.538,25	12.807,37	5,26	9,44	239,90	78,09
	Viga 12	11.870,24	9.182,64	9.182,64	11.870,24	5,58	9,35	239,90	81,33
	Viga 18	10.815,11	9.733,60	9.733,60	10.815,11	4,98	9,40	239,90	73,38
	Viga 21	10.580,00	10.139,17	10.139,17	10.354,89	5,43	9,43	239,90	80,54
ST	Viga 8	12.478,97	8.848,73	9.012,59	12.167,00	4,93	9,35	239,90	71,87
	Viga 9	12.167,00	9.012,59	9.012,59	12.167,00	5,20	8,92	242,20	68,87
	Viga 11	11.870,24	9.182,64	9.182,64	11.870,24	4,87	9,26	239,90	69,60
	Viga 14	11.870,24	9.359,23	9.359,23	11.587,62	4,48	9,30	239,60	64,62
	Viga 17	11.060,91	9.542,75	9.542,75	11.060,91	5,28	8,83	242,50	68,69
	Viga 22	10.354,89	10.139,17	10.354,89	10.354,89	5,18	8,73	242,50	65,87

APÊNDICE B – Flexão

TRATAM	VIGA	RUPTURA		ELASTICIDADE				I	Força max	E (MPa)	Deform. (mm)
				50%		10%					
		Tensão Axial (MPa)	Tensão Cisalham (MPa)	Força	Deslocam	Força	Deslocam				
LT	1	47,55	1,49	460,80	21,65	102,00	4,85	304,11	944,40	23.088,57	20,63
	4	35,95	1,21	348,00	19,36	76,80	5,02	327,82	712,80	18.966,54	23,29
	7	48,91	1,55	458,40	23,85	106,80	5,85	312,52	985,20	20.552,39	22,55
	10	45,40	1,41	433,20	21,41	94,80	5,51	295,71	882,00	23.653,02	20,71
	13	2,32	0,07	456,00	22,79	90,00	5,30	303,00	908,40	22.696,77	21,06
	16	38,72	1,21	320,40	17,89	82,80	5,35	297,80	756,00	20.910,53	23,26
	19	55,90	1,77	440,40	22,15	111,60	6,31	309,75	1116,00	22.027,11	21,23
VT	3	25,22	0,85	418,80	18,22	112,80	6,49	368,58	997,20	23.265,51	16,89
	5	19,47	0,66	427,20	17,52	99,60	4,63	368,58	859,20	22.661,82	17,34
	6	18,18	0,61	358,80	17,44	84,00	5,73	368,58	771,60	20.929,58	18,78
	12	37,80	1,26	430,80	21,55	88,80	4,60	380,19	878,40	17.446,65	21,84
	18	39,26	1,32	410,40	22,37	88,80	5,25	344,89	823,20	17.898,26	23,46
	21	1,80	0,06	418,80	20,02	104,40	5,21	379,88	968,40	18.365,96	20,76

APÊNDICE B – Flexão (Conclusão)

TRATAM	VIGA	RUPTURA		ELASTICIDADE				I	Força max	E (MPa)	Deform. (mm)
				50%		10%					
		Tensão Axial (MPa)	Tensão Cisalham (MPa)	Força	Deslocam	Força	Deslocam				
ST	8	57,04	1,90	330,00	18,71	120,00	5,39	335,97	1171,20	15.426,26	27,95
	9	46,47	1,48	364,80	22,68	93,60	9,49	307,05	914,40	22.021,07	21,42
	11	15,21	0,50	150,00	5,53	32,40	2,80	322,40	302,40	43.975,46	10,22
	14	46,47	1,54	324,00	14,62	91,20	4,38	300,44	858,00	24.864,39	19,39
	17	49,89	1,57	236,40	19,20	99,60	5,83	303,38	979,20	11.087,07	43,06
	22	45,91	1,43	205,20	14,81	88,80	9,02	287,59	864,00	22.975,74	21,92

APÊNDICE C - Ensaio Linha de Cola - Tração

TRATAMENTO	CP	DIMENSÕES (mm)						área (cm²)	Força (N)
		e1	e2	e média	L1	L2	L média		
LT	V1 B	24,51	24,56	24,54	50,89	50,89	50,89	12,49	2.218,00
	V4 B	26,15	26,35	26,25	47,39	47,13	47,26	12,41	1.552,50
	V7	25,82	25,31	25,57	50,73	50,8	50,77	12,98	1.552,50
	V13 A	27,67	27,52	27,60	49,81	49,95	49,88	13,76	2.345,40
	V13 B	24,78	25,57	25,18	50,23	50,23	50,23	12,65	3.039,80
	V16	24,59	25,57	25,08	47,74	47,96	47,85	12,00	3.454,20
	V19	24,45	25,67	25,06	47,41	47,49	47,45	11,89	2.866,30
VT	V3	24,48	25,91	25,20	51,47	51,44	51,46	12,96	1.422,80
	V5	24,41	24,35	24,38	49,75	49,42	49,59	12,09	1.726,10
	V6	24,02	24,63	24,33	47,32	47,08	47,20	11,48	1.774,10
	V12	26,33	26,59	26,46	49,89	49,42	49,66	13,14	2.343,80
	V18	25,98	25,8	25,89	48,64	48,66	48,65	12,60	1.688,30
	V21 A	26,83	26,64	26,74	49,12	49,27	49,20	13,15	2.890,00
	V21 B	25,21	24,92	25,07	47,28	48,39	47,84	11,99	2.213,20

APÊNDICE C - Ensaio Linha de Cola – Tração (Conclusão)

TRATAMENTO	CP	DIMENSÕES (mm)						área (cm ²)	Força (N)
		e1	e2	e média	L1	L2	L média		
ST	V8	25,62	26	25,81	47,99	47,68	47,84	12,35	2.530,10
	V9	22,89	23,79	23,34	49,58	49,57	49,58	11,57	2.928,70
	V11	24,41	24,89	24,65	45,93	46,41	46,17	11,38	1.227,30
	V14	24,21	23,69	23,95	47,94	47,9	47,92	11,48	1.309,00
	V17 A	25,79	24,45	25,12	47,96	48,86	48,41	12,16	2.353,10
	V17 B	21,64	21,68	21,66	49,03	50,79	49,91	10,81	2.165,10
	V22	22,43	21,93	22,18	49,42	49,61	49,52	10,98	1.407,80
	T	24,74	24,58	24,66	50,25	50,33	50,29	12,40	1.921,60

APÊNDICE D - Ensaio Linha de Cola – Cisalhamento

TRATAM	CP	DIMENSÕES (cm)				Região do rompimento	área A (cm²)	área B (cm²)	Força (N)
		Região A		Região B					
		Média e	Média L	Média e	Média L				
LT	V4 A	1,762	3,96	1,73	6,13	A	6,97	-	909,50
	V4 B	1,78	3,80	1,76	6,25	A	6,76	-	657,30
	V7	1,7715	4,01	1,77	5,78	B	-	10,20	955,60
	V13 A	1,8225	4,20	1,82	6,08	A	7,66	-	907,80
	V13 B	1,785	4,09	1,79	5,78	A	7,30	-	794,70
	V16A	1,827	3,92	1,82	6,00	A	7,15	-	793,00
	V16B	1,8055	4,20	1,79	5,61	A	7,59	-	926,00
	V19	1,811	4,01	1,82	5,89	B	-	10,73	709,50

APÊNDICE D - Ensaio Linha de Cola – Cisalhamento (Conclusão)

TRATAM	CP	DIMENSÕES (cm)				Região do rompimento	área A (cm²)	área B (cm²)	Força (N)
		Região A		Região B					
		Média e	Média L	Média e	Média L				
VT	V3	1,9135	3,86	1,95	5,76	B	-	11,20	719,90
	V5	1,8165	4,01	1,82	5,89	B	-	10,73	988,60
	V6	1,97	4,02	1,95	5,70	A	7,91	-	986,10
	V12	1,822	3,79	1,93	6,12	A	6,91	-	1.043,40
	V18	1,891	3,65	1,94	5,82	B	-	11,30	940,80
	V21 A	1,814	4,07	1,82	5,71	B	-	10,37	1.019,90
	V21 B	1,767	3,89	1,76	6,04	A	6,88	-	991,20
	V8	1,808	3,74	1,78	5,94	B	-	10,57	926,00
ST	V9	1,783	3,76	1,82	6,20	A	6,70	-	1.505,10
	V11	1,781	4,12	1,78	6,17	B	-	10,99	845,10
	v17A	1,838	4,31	1,82	6,05	B	-	10,99	794,70
	V17 B	1,7975	4,02	1,78	6,03	B	-	10,75	1.149,50
	V22	1,7965	3,90	1,80	6,21	B	-	11,15	967,80
	T	1,887	4,31	1,88	5,80	A	8,13	-	984,30