

ÂNGELA MARIA STÜPP

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EMENDAS POR
ENTALHES MÚLTIPLOS PARA ESTRUTURAS EM MADEIRA
LAMINADA COLADA**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Área de Concentração em Tecnologia da Madeira, Universidade do Estado de Santa Catarina, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Engenharia Florestal.

Orientador: Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo

Coorientadora: Prof. Dr^a. Polliana D'Angelo Rios

Coorientador: Prof. Dr. Alexsandro Bayestorff da Cunha

**LAGES, SC
2016**

Ficha catalográfica elaborada pelo(a) autor(a), com
auxílio do programa de geração automática da
Biblioteca Setorial do CAV/UEDESC

Stüpp, Ângela Maria

Avaliação do desempenho de emendas por entalhes
múltiplos para estruturas em madeira laminada
colada / Ângela Maria Stüpp. Lages - 2016.

174 p.

Orientador: Rodrigo Figueiredo Terezo

Co-orientador: Alexsandro Bayestorff da Cunha

Co-orientadora: Polliana D'Angelo Rios

Dissertação (Mestrado) - Universidade do Estado
de Santa Catarina, Centro de Ciências
Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação em
Engenharia Florestal, Lages, 2016.

1. Geometria. 2. Emenda por entalhe múltiplo. 3.
Adesivo estrutural. 4. Madeira Laminada Colada. I.
Terezo, Rodrigo Figueiredo. II. Cunha, Alexsandro
Bayestorff da. Rios, Polliana D'Angelo. III.
Universidade do Estado de Santa Catarina, Centro de
Ciências Agroveterinárias, Programa de Pós-Graduação
em Engenharia Florestal. IV. Título.

ÂNGELA MARIA STÜPP

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE EMENDAS POR
ENTALHES MÚLTIPLOS PARA ESTRUTURAS EM MADEIRA
LAMINADA COLADA**

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

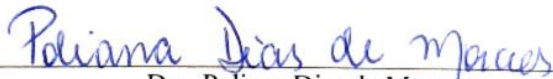
Banca Examinadora:

Orientador:



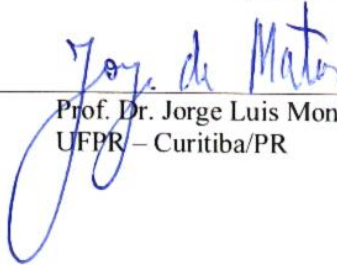
Prof. Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo
UDESC – Lages/SC

Membro:



Dra. Poliana Dias de Moraes
UFSC – Florianópolis/SC

Membro:



Prof. Dr. Jorge Luis Monteiro de Matos
UFPR – Curitiba/PR

Lages, 29/07/2016

*“I’d made it this far and refused to give
up because all my life I had always
finished the race.”*

Louis Zamperini

AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo despertar de cada dia, pelo acompanhar da caminhada, por me abençoar e iluminar, e pela coragem nos momentos em que perdi a fé. “Aprendi que deveríamos ser gratos a Deus por não nos dar tudo que lhe pedimos” (William Shakespeare).

Aos meus pais João José e Maria Lenir, meus verdadeiros mestres e educadores, pelo amor, dedicação, pela confiança sempre depositada, por acreditarem em mim quando eu mesma não me sentia capaz. Pelos conselhos, pelo incentivo, por me ensinarem os reais valores, e por serem meus exemplos de vida.

Aos meus irmãos Heloísa, Aloísio e César, por me mostrarem o quanto vale o amor e o afeto, pelas cobranças, e por serem meus verdadeiros amigos.

Ao Professor Dr. Rodrigo Figueiredo Terezo pela dedicação e paciência em ensinar e orientar, e por mostrar que a busca pelo conhecimento deve ser constante.

Aos demais professores que contribuíram direta ou indiretamente, em especial ao Alexsandro B. da Cunha e à Polliana D. Rios pela disposição na coorientação e sugestões na qualificação.

Às empresas parceiras, agradeço à disponibilidade da Calsing, Esmara e colaboradores, e àqueles que confiaram no nosso trabalho, agradeço ao Henrique e ao Andreas.

À Universidade Federal do Paraná (UFPR), pela disponibilização do laboratório para a realização dos testes mecânicos, e aos profissionais que muito me auxiliaram: Laboratorista Mariuci e Doutorando Vinícius, também pela atenção, profissionalismo, e pela acolhida. Em especial, ao Prof. Dr. Jorge L. M. Matos, que muito me auxiliou na realização da análise estatística, fundamental na conclusão desta pesquisa.

Ao Adam pela compreensão e incentivo nos momentos difíceis, por abdicar de muitos momentos juntos, e por “pausar” todos os seriados, filmes, livros e demais hobbies para me ouvir e me ajudar a escrever quando a falta momentânea de léxico chegava.

Aos meus amigos Morgana, Vinícius, Patrícia, Adriano, Lisiane, Hadson, Jéssica, Kátia, Mariana, Carolina e Suyane, com quem dividi os momentos da faculdade, e que levarei com carinho para minha vida, pela amizade sem medidas, sem fronteiras, sem intenções e sem preconceito, e pelo companheirismo em todos os momentos. Vocês são muito especiais. Agradeço também aos amigos e colegas que não estiveram tanto tempo comigo, mas que deixaram um pouquinho de si.

Aos colegas de trabalho que dividiram comigo conhecimento e momentos de descontração. Em especial, aos que se tornaram pessoas importantes por me mostrar que há muitas coisas atrás dos detalhes, pela amizade e compreensão, agradeço principalmente à Cleide e à Talítha. Vocês foram essenciais nesta conquista. O meu muito obrigada aos colegas Helena, William, Giuliano e Rodrigo, pela parceria e ajuda nos trabalhos das disciplinas, e também à felicidade e sorriso sempre estampado no rosto de cada um. Agradeço aos bolsistas do grupo de pesquisa Charline e Deivys, que muito me ajudaram no decorrer do experimento.

À Universidade do Estado de Santa Catarina – UDESC/Lages pela oportunidade e espaço físico, e aos

colaboradores do “Serviços Gerais” pela ajuda na confecção dos corpos de prova.

Ao Sr. Acácio que usinou as amostras.

Ao Programa Uniedu de Pós-Graduação do Governo do Estado de Santa Catarina pelo aporte financeiro.

Por fim, agradeço àqueles que em certo momento passaram pela mesma estrada, e contribuíram para o meu crescimento.

A todos vocês, agradeço de todo o meu coração.

RESUMO

STÜPP, Ângela Maria. **Avaliação do desempenho de emendas por entalhes múltiplos para estruturas em madeira laminada colada.** 2016. 174 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal – Área: Tecnologia da Madeira) – Universidade do Estado de Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, Lages, 2016.

A geometria da emenda por entalhes múltiplos é uma das variáveis mais importantes quando se determina a resistência da ligação entre madeiras com finalidade de uso estrutural. O objetivo da pesquisa foi avaliar três geometrias de emendas por entalhes múltiplos e sua correlação com três espécies de madeira de florestas plantadas e três adesivos utilizados para fins estruturais. As espécies foram o *Eucalyptus grandis*, o *Pinus taeda* e o *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (paricá), e os adesivos: resorcina formaldeído, melamina ureia formaldeído e poliuretano reativo. Os corpos de prova foram fresados, colados e prensados em parque fabril e em laboratório. Posteriormente, eles foram aplainados obtendo-se as dimensões conforme orientação da NBR 7190/1997. Foram medidas as geometrias com paquímetro digital, realizados pré-testes e determinados os modos de ruptura. A análise estatística foi feita avaliando-se as médias de geometria pelo teste de Tukey a 95% de probabilidade. Dos resultados obtidos, destaca-se a espécie *E. grandis* produzida com o adesivo resorcina da geometria B, que teve a maior resistência à tração paralela às fibras (67,55 MPa). Também, os maiores valores de tensão foram provenientes dos corpos de prova com maior densidade básica. Quanto aos modos de ruptura, 64% dos corpos de prova romperam pelos tipos 3 (14%) e 4 (50%). Verificou-se que todos os fatores avaliados interferiram nos resultados de resistência e, no que se refere à determinação da

melhor geometria, melhor espécie e melhor adesivo, não podem ser analisados separadamente.

Palavras-chave: geometria, emenda por entalhe múltiplo, adesivo estrutural, madeira laminada colada.

ABSTRACT

STÜPP, Ângela Maria **Evaluation of finger joints performance for glued laminated timber structures.** 2016. 174 f. Dissertation (MSc in Forest Engineering - Area: Wood Technology) - Santa Catarina State University. Postgraduate Program in Forest Engineering, Lages, 2016.

The geometry of finger joint is one of the most important variables when determining the connection strength among timber with structural use purpose. This research aimed to evaluate three finger joint geometries and its correlation with three species of timber from reforestation and three adhesives used for structural purposes. The species were: *Eucalyptus grandis*, *Pinus taeda* and *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (known as paricá), and the adhesives: resorcinol formaldehyde, melamine urea formaldehyde and reactive polyurethane. Finger profiles were produced by means of a spindle moulder, glued and pressed in manufacture plant and laboratory. Then, the specimens were flattened obtaining the dimensions as recommended by NBR 7190/1997. The finger joint geometry was measured with a digital caliper, the specimens were tested and the failure modes determined. Statistical analysis was done by evaluating the geometric means by Tukey test with 95% probability. Results showed that *E. grandis* produced with resorcinol adhesive from geometry B, had the highest tensile strength parallel to the fibers (67,55 MPa). Also, the higher tensile strength values were from the specimens with higher basic density. As for failure modes, 64% of the specimens failed in modes number 3 (14%) and 4 (50%). It was found that all evaluated factors interfered in the results of resistance and, regarding the determination of the best geometry, specie and adhesive, these can not be analyzed separately.

Key Words: geometry, finger joint profile, structural adhesives, glulam.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Aspectos de uso de MLC na construção civil. a) Rema (UFSC). SC – Brasil; b) Shopping Iguatemi. CE – Brasil.	49
Figura 2. Destopo e fresagem das peças.	56
Figura 3. Orientação das emendas em perfis vertical e horizontal.....	71
Figura 4. Geometria de emendas múltiplas.	74
Figura 5. Pressão de colagem em função do comprimento dos entalhes.....	79
Figura 6. Desdobro das toras na serraria. a) Desdobro das toras em tábuas; b) Tábuas selecionadas.....	85
Figura 7. Secagem das tábuas ao ar livre.	86
Figura 8. Secagem: a) ao ar livre; b) em estufa.....	87
Figura 9. Esquema de armazenagem das pranchas de paricá..	88
Figura 10. a) Destopo e fresagem do eucalipto; b) Aspecto das peças fresadas.....	93
Figura 11. Preparação do adesivo resorcina.....	94
Figura 12. a) Aplicação do adesivo resorcinol; b) Aplicação da melamina.	95
Figura 13. União manual de topo.....	95

Figura 14. Prensa hidráulica utilizada na prensagem das peças da a) geometria A, e b) geometria B.	96
Figura 15. Contenção lateral.	96
Figura 16. Prensagem de corpo de prova de pinus.....	97
Figura 17. Rompimento dos entalhes dos corpos de prova devido à alta pressão de colagem.	99
Figura 18. Aspecto das amostras após a prensagem.	99
Figura 19. (a) Corpo de prova de tração paralela recomendado pela NBR 7190: 1997. (b) Aspecto final das amostras.	101
Figura 20. Medidas das variáveis geométricas obtidas para todas as geometrias.....	102
Figura 21. Medição de corpo de prova.....	104
Figura 22. Gráfico de dispersão dos valores de Tensão para as espécies de madeira.	112
Figura 23. Gráfico de dispersão dos valores de Tensão para as densidades da madeira.....	114
Figura 24. Gráfico de distribuição dos valores de tensão para a pressão utilizada.	117
Figura 25. Distribuição dos resultados de resistência à tração paralela de acordo com o adesivo utilizado.	121
Figura 26. Gráfico de dispersão dos valores de Tensão para as densidades da madeira.	125

Figura 27. Gráficos da frequência dos modos de ruptura para a geometria A, adesivos poliuretano (a) e resorcina (b). 136

Figura 28. Gráfico da frequência dos modos de ruptura para a geometria B, adesivos melamina (a) e resorcina (b). 137

Figura 29. Gráfico da frequência dos modos de ruptura para a geometria C, adesivo poliuretano (a) e resorcina (b). 138

LISTA DE TABELAS

Tabela 1. Propriedades mecânicas do <i>Pinus taeda</i>	60
Tabela 2. Propriedades físicas do <i>Pinus taeda</i>	61
Tabela 3. Propriedades mecânicas do <i>E. grandis</i>	63
Tabela 4. Propriedades físicas do <i>E. grandis</i>	63
Tabela 5. Propriedades mecânicas do <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	65
Tabela 6. Propriedades físicas do <i>S. parahyba</i> var. <i>amazonicum</i>	66
Tabela 7. Características geométricas de entalhes de dois perfis estruturais.	73
Tabela 8. Valores recomendados para a geometria dos entalhes múltiplos pela norma alemã DIN 68140/1971.	75
Tabela 9. Geometria recomendada pela norma EN 14080/2013.	75
Tabela 10. Pressão de colagem dos entalhes múltiplos.	80
Tabela 11. Modo de ruptura para o ensaio de tração paralela.	81
Tabela 12. Delineamento experimental. Tratamentos e variações dos corpos de prova.	90
Tabela 13. Médias das variáveis geométricas obtidas por medição para cada espécie avaliada.	91
Tabela 14. Pressões de colagem utilizadas.	98

Tabela 15. Médias das variáveis geométricas obtidas por medição.	103
Tabela 16. Médias de resistência à tração paralela às fibras (MPa) das amostras de madeira maciça.	108
Tabela 17. Médias de resistência à tração paralela às fibras (MPa) dos corpos de prova com emenda por entalhe múltiplo.	109
Tabela 18. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sobre efeito da Espécie.	111
Tabela 19. Teste múltiplo das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Espécie.	112
Tabela 20. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sob efeito da Densidade básica.	113
Tabela 21. Teste múltiplo de comparação das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Densidade básica (g/cm ³).	114
Tabela 22. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa)	117
Tabela 23. Teste múltiplo das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Pressão (MPa).	118
Tabela 24. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sobre efeito do Adesivo.	120
Tabela 25. Teste múltiplo das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Espécie.	121

Tabela 26. Médias das variáveis geométricas obtidas por medição para cada espécie avaliada.	123
Tabela 27. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sobre efeito da Geometria.	125
Tabela 28. Teste de comparação das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Geometria (g/cm^3).	126
Tabela 29. Médias dos graus de enfraquecimento e perda de resistência.	128
Tabela 30. Valores das correlações entre as variáveis.	132
Tabela 31. Parâmetros estatísticos dos fatores.	134
Tabela 32. Valores da Análise de Variância realizada para a regressão múltipla dos fatores.	135
Tabela 33. Frequência dos modos de ruptura da geometria A.	136
Tabela 34. Tipos de ruptura obtidos da geometria B.	137
Tabela 35. Frequência dos modos de ruptura da geometria C.	139

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

MLC	Madeira Laminada Colada
ASTM	<i>American Society for Testing and Materials</i>
ANSI	<i>American National Standards Institute</i>
AITC	<i>American Institute Of Timber Construction</i>
NBR	Norma Brasileira
DIN	<i>Deutsches Institut für Normung</i>
EN	<i>European Standard</i>
BS	<i>British Standard</i>
CTBA	<i>Centre Technique du Bois e de l'Ameublement</i>
UDESC	Universidade do Estado de Santa Catarina
CAV	Centro de Ciências Agroveterinárias
PUR	Poliuretano Reativo
Nº	Número
CP	Corpo de Prova
LTM	Laboratório de Tecnologia da Madeira
UFPR	Universidade Federal do Paraná
CV	Coefficiente de Variação
MPa	MegaPascal
g/cm³	Gramas por Centímetro Cúbico

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO.....	44
1.1	OBJETIVOS.....	47
1.1.1	Objetivo geral.....	47
1.1.2	Objetivos específicos.....	47
2	REVISÃO DE LITERATURA.....	48
2.1	MADEIRA LAMINADA COLADA	48
2.2	FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DA EMENDA.....	50
2.2.1	Densidade básica e teor de umidade	51
2.2.2	Geometria.....	52
2.2.3	Adesivo.....	52
2.2.4	Processo de usinagem	53
2.2.5	Colagem e pressão de colagem	53
2.3	PRODUÇÃO DE PEÇAS EM MADEIRA LAMINADA COLADA – MLC.....	54
2.3.1	Secagem e classificação das lâminas	55
2.3.2	Fresagem – Emenda longitudinal.....	55
2.3.3	Colagem das lâminas.....	56
2.3.4	Pressão	57

2.3.5	Acabamento.....	57
2.3.6	Escolha da espécie.....	58
2.4	ADESIVOS PARA USO ESTRUTURAL.....	67
2.4.1	Resorcina formaldeído	68
2.4.2	Poliuretano	69
2.4.3	Melamina Ureia Formaldeído	69
2.5	EMENDAS POR ENTALHES MÚLTIPLOS	70
2.6	ENSAIOS DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS E MODOS DE RUPTURA	80
2.7	CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	82
3	MATERIAL E MÉTODOS.....	84
3.1	MADEIRA	84
3.1.1	<i>Pinus taeda</i>.....	84
3.1.2	<i>Eucalyptus grandis</i>	87
3.1.3	<i>Schizolobium parahyba var amazonicum</i>.....	88
3.2	ADESIVO.....	89
3.3	DELINEAMENTO EXPERIMENTAL	90
3.4	CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA	92

3.4.1	Fresagem	93
3.4.2	Preparo e aplicação dos adesivos	93
3.4.3	Prensagem	95
3.5	USINAGEM.....	100
3.6	LEITURA DAS VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS.....	102
3.7	ENSAIOS DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS..	103
3.8	DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA	104
3.9	CÁLCULO DA PERDA DE RESISTÊNCIA	105
3.10	ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS	106
4	RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	107
4.1	RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS.....	107
4.2	EFEITO DA ESPÉCIE DE MADEIRA UTILIZADA SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS	111
4.3	EFEITO DA DENSIDADE DA MADEIRA SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS	113
4.4	EFEITO DA PRESSÃO DE COLAGEM SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS	116
4.5	EFEITO DO ADESIVO UTILIZADO SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS.....	120

4.6	EFEITO DA GEOMETRIA DOS ENTALHES SOBRE O GRAU DE ENFRAQUECIMENTO DAS EMENDAS ...	123
4.7	PERDA DE RESISTÊNCIA	126
4.8	ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS	129
4.9	ANÁLISE DOS MODELOS MATEMÁTICOS	134
4.10	MODOS DE RUPTURA OBSERVADOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS	135
5	CONCLUSÕES.....	141
5.1	SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS.....	143
6	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	145
	ANEXOS.....	167

1 INTRODUÇÃO

A Madeira Laminada Colada – MLC é formada por peças de madeira reconstituídas a partir de lâminas de madeira (lamelas), 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. 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 (SZÜCS, 1992 *apud* TEREZO, 2010). No Brasil, atualmente, as peças estruturais em MLC são, em sua maioria, produzidas com madeiras de florestas plantadas, principalmente de *Eucalyptus* spp, gênero vastamente cultivado, e que representa 71,9% da área total reflorestada no país.

De acordo com Stark et al (2010), a técnica do laminado colado tem algumas vantagens, tais como: efeitos arquitetônicos por meio do encurvamento das peças, o que é impossível ou muito difícil de ser produzido com outros materiais; variação nas seções transversais ao longo do seu comprimento, conforme os requisitos de rigidez e resistência; excelente relação resistência-peso. A MLC apresenta, também, algumas desvantagens, como: custo do adesivo utilizado, que deve ser resistente a intempéries e, assim, faz com que o produto tenha um valor um pouco superior ao da madeira maciça; necessidade de equipamentos específicos e mão de obra adequadamente treinada.

Embora existam algumas desvantagens, a procura por estes produtos tem aumentado a cada ano, bem como a perspectiva de crescimento. No Brasil ainda não se encontram muitas empresas especializadas, sendo que o Estado de São Paulo sedia seis empresas, no Estado de Goiás localiza-se uma indústria, e no Rio Grande do Sul situam-se três fábricas.

Atualmente, as espécies de madeira que atendem o setor de papel e celulose e painéis reconstituídos são as mesmas empregadas pela MLC. Devido à fácil obtenção e ao preço mais atrativo em relação às árvores nativas, houve um aumento no uso de espécies de reflorestamento pelo setor da construção civil, como as dos gêneros *Pinus* e *Eucalyptus* no Centro-Sul e a *Tectona* e o *Schizolobium* no Centro-Norte. Segundinho et al (2015) destacam que a *Tectona grandis* (Teca) já é plantada em escala comercial nos estados do Mato Grosso, Pará e Roraima. A espécie é utilizada principalmente na construção civil (portas, janelas, lambris, painéis, forros), assoalhos e deques, móveis, embarcações e lâminas decorativas, e tem sido estudada para a produção de elementos em MLC.

A técnica do laminado colado possibilita que as peças produzidas apresentem dimensões maiores que as naturalmente disponíveis, as quais são obtidas por meio de emendas longitudinais, que podem ser, entre outros, por entalhes múltiplos (*finger-joints*) e por emendas transversais, cujas lâminas são justapostas. A geometria destes entalhes é crítica, uma vez que seu desempenho afeta diretamente a resistência na região tracionada do elemento estrutural.

Conjuntamente à geometria, outras variáveis influenciam a resistência e a rigidez das peças. Destas, citam-se a espécie, que tem variação principalmente na densidade; o adesivo a ser utilizado, que deve oferecer união resistente, estável e durável (PETRAUSKI, 2012); entre outros fatores como umidade da madeira e processo de produção dos elementos.

A resistência das emendas por entalhes múltiplos é avaliada por meio de testes de tração paralela, dos quais se consideram os resultados de Força Máxima e Tensão Máxima. A partir dos ensaios de tração analisa-se o modo de ruptura, o qual indica um possível problema no processo de fabrico das emendas, como pressão de colagem, geometria utilizada e tensões nas extremidades dos entalhes.

Em vista disto, e conhecendo-se a realidade das empresas do setor, que revela grande carência de conhecimento técnico, verificou-se uma necessidade de pesquisa quanto ao processo de produção das peças com emendas por entalhes múltiplos, em razão de ser um fator que interfere na qualidade e na resistência das peças que, como mencionado anteriormente, depende principalmente da espécie, do adesivo e da geometria utilizados. A partir de então, optou-se por utilizar espécies já adotadas por indústrias do setor, como o pinus e o eucalipto, e o paricá como alternativa, o qual tem sido bastante estudado para inclusão em diversos produtos, como a MLC, e ainda, a utilização de adesivos e geometria já empregados pelas empresas. Além destas, optou-se por utilizar uma geometria ainda não adotada por indústrias com o intuito de avaliar a qualidade das emendas, determinando a que melhor se adéqua às demais variações (espécie e adesivo), propondo uma geometria ótima.

Sabendo-se que o Brasil ainda não possui normatização que especifique a geometria ideal para emendas por entalhes múltiplos, a pesquisa foi concentrada nos fatores que sofrem grande interferência da cadeia produtiva e, para isto, foi utilizada a Norma Alemã DIN 68170/1971 como base para comparações, mesma normatização utilizada pelas indústrias produtoras de MLC. Para mais, percebeu-se uma necessidade de contribuir com a indústria de MLC, que ainda encontra dificuldades quanto às técnicas devido à necessidade de otimização do processo produtivo, o qual garante produtos de alta qualidade e visualmente agradáveis.

1.1 OBJETIVOS

1.1.1 Objetivo geral

Avaliar o desempenho de junções por emendas múltiplas tipo *finger joint* usada na indústria de MLC no Sul do Brasil de diferentes composições de madeira, geometria e adesivo estrutural para madeira laminada colada; e determinar as possíveis correlações existentes.

1.1.2 Objetivos específicos

- Avaliar três modelos de geometria de emendas por entalhes múltiplos para fins estruturais e propor o modelo mais adequado;
- Avaliar o efeito de três espécies de madeira sobre elementos por entalhes múltiplos;
- Avaliar o efeito de três adesivos estruturais sobre a resistência de junções por entalhes múltiplos.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 MADEIRA LAMINADA COLADA

A Madeira Laminada Colada – MLC pode ser definida como um material que é produzido a partir da adequada seleção, disposição e colagem de peças de madeira, as quais são preparadas nos mais diversos tamanhos e geometrias, mas que, essencialmente, têm as fibras de todas as lâminas paralelas ao eixo longitudinal. Neste caso, as tábuas podem ser consideradas lâminas em razão de estas terem sua espessura muito pequena quando comparada com a dimensão do comprimento longitudinal. (STARK et al, 2010).

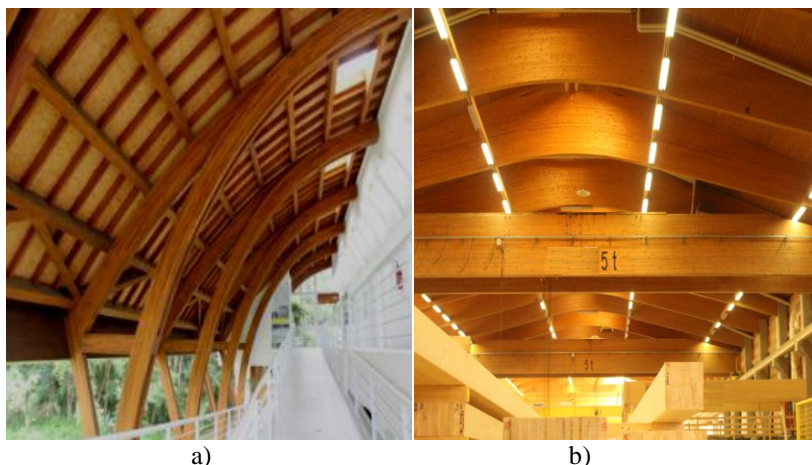
A norma norte-americana *ASTM D3737, Standard Practice for Establishing Allowable for Properties for Structural Glued Laminated Timber (Glulam)* define a MLC como “um material em que são coladas peças de madeira com características apropriadas, tanto na forma reta como curva, com a grã das peças essencialmente paralela ao eixo longitudinal do membro” (ASTM, 1996).

Abrahão (2001) aponta que o produto MLC, o qual sempre deve ser classificado mecanicamente, consiste de duas ou mais camadas de madeira referidas por lâminas, unidas por adesivos. A norma ANSI/AITC A190.1 requer que a MLC seja produzida em fábricas aprovadas por inspetores de agências independentes credenciadas.

Zangiácomo (2003), *apud* Cunha & Matos (2011), afirma que a MLC tem seus usos mais frequentes em estruturas de cobertura (Figuras 1a e 1b), elementos estruturais principais para pontes, torres de transmissão, edifícios, embarcações, banzos de escadas e corrimão, equipamentos decorativos planos ou em relevo, esquadrias e móveis. Isso se deve ao fato da MLC adaptar-se a uma significativa variedade de formas e apresentar alta resistência a solicitações mecânicas, em função de seu peso próprio ser relativamente baixo, quando

comparado a outros materiais estruturais, tais como aço e concreto armado.

Figura 1. Aspectos de uso de MLC na construção civil. a) Rema (UFSC). SC – Brasil; b) Galpão em MLC. França.



Fonte: (a) e (b) arquivo pessoal.

Para melhor utilizar a madeira como material estrutural, o conhecimento de suas propriedades físicas e mecânicas se torna fundamental de forma a se utilizar esse material de maneira racional, empregando-a corretamente nas edificações. Ultimamente, as pesquisas a fim de elucidar as propriedades da madeira estão aumentando, porém, ainda há muito a se investigar, principalmente em relação às novas espécies que estão sendo reflorestadas no Brasil, tornando indispensável o conhecimento aprofundado de suas propriedades (MORALES, 2002 e APRILANTI, 2010 *apud* ALMEIDA et al, 2013). Também, a técnica do laminado colado favorece o uso de madeiras de pequenas dimensões, contribuindo com a preservação e continuidade das florestas naturais nativas, tendo em vista que as florestas plantadas, nativas ou exóticas, em sua maioria, são de rápido crescimento e mais fácil

trabalhabilidade. Neste sentido, mesmo quando a matéria prima é obtida de desbaste precoce, não apresenta baixos valores de resistência mecânica.

O uso de peças de seção transversal reduzida também é visto de forma positiva por Rocco e Sales (1998) *apud* Granato (2011) com relação aos defeitos de secagem, que ocorrem com maior frequência em peças de grandes dimensões. Córdova et al (2016) afirmam que no domínio das construções sustentáveis, a Madeira Laminada Colada (MLC) ocupa um lugar proeminente, sobretudo pela possibilidade de emprego de madeiras de florestas plantadas. Suas vantagens são expressivas, especialmente por superar as limitações dimensionais impostas pela madeira serrada ou pela roliça (Miotto & Dias, 2009).

Conforme descrito no *Wood Handbook* por Stark et al (2010), o processo de produção das peças de MLC pode ser dividido em quatro etapas principais: (a) secagem e classificação das lâminas, (b) fresagem das emendas, (c) colagem das lâminas, e (d) acabamento, as quais afetam diretamente a resistência dos elementos estruturais. Nos casos em que a MLC será utilizada em ambientes externos, a peça também deve ser tratada com produto preservante, e, para garantir a qualidade do produto, deve-se proteger também durante o transporte e armazenamento.

2.2 FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DA EMENDA

Dado que uniões de madeira em componentes estruturais devem resistir a elevadas tensões, a resistência mecânica é um dos principais requisitos de desempenho. Diversos fatores relacionados à madeira também são conhecidos por afetar a resistência dos entalhes, assim como a espécie, densidade e defeitos naturais, enquanto os outros são relacionados com os processos de colagem, tais como pressão

de colagem, geometria, adesivo, entre outros (BUSTOS et al, 2003a).

Por ser um material natural e ortotrópico, a madeira sofre muitas variações em suas propriedades físicas e mecânicas, os quais afetam a trabalhabilidade e resistência dos produtos. A resistência das emendas por entalhes múltiplos determina consideravelmente a resistência da MLC, e depende de alguns parâmetros, que sempre devem ser considerados de grande importância, como a geometria, montagem, pressão, adesivo, densidade da madeira, entre outros (AJDINAJ & HABIBI, 2013).

2.2.1 Densidade básica e teor de umidade

Segundo Panshin & De Zeeuw (1964) *apud* Loiola (2015) a densidade resulta da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira, variando em função de diferenças nas dimensões celulares, interações entre estes fatores e pelo teor de extrativos por unidade de volume no xilema. Outros fatores externos à árvore como: o local de crescimento, clima, solo, altitude, umidade do solo, declividade, vento, espaçamento, associação de espécies e tratamentos silviculturais também influenciam na densidade.

Diversos estudos têm demonstrado que madeiras de espécies que apresentam densidade superior a $0,7 \text{ g/cm}^3$ apresentam desempenho incerto, enquanto que aquelas com densidade menor aparentam ter o comportamento mais previsível (AJDINAJ & HABIPI, 2015), por estas (menor densidade) apresentarem maior facilidade na colagem e, portanto, maior penetração do adesivo.

A madeira a ser utilizada para a emenda múltipla deve estar seca até um teor de umidade adequado para colagem. Segundo a versão em implementação da norma ABNT NBR 7190:2011, no momento da colagem as tábuas empregadas na fabricação da MLC deverão estar secas e com, no máximo,

18% de teor de umidade (AMAYA, 2013). Isto porque em peças com a umidade maior que 18% a capacidade de penetrabilidade do adesivo é reduzida, bem como a estabilidade dimensional da madeira, que diminui com o aumento do teor de umidade. Ainda, podem-se considerar os adesivos que iniciam o processo de cura a partir do contato com a umidade, tanto do ar quanto da madeira. Desta forma, se a umidade da madeira estiver elevada, a cura do adesivo inicia precocemente, antes mesmo da penetração deste na peça, o que fragiliza consideravelmente a ligação, diminuindo a resistência mecânica.

2.2.2 Geometria

Dependente de quatro variáveis correlacionadas – comprimento e largura da base do entalhe, largura da ponta, e inclinação –, a geometria vem a ser o aspecto mais crítico no processo de produção das emendas, a qual interfere na resistência dos produtos (Macêdo, 1996).

Para a fresagem, deve-se optar por uma geometria que proporcione pontas mais largas que a abertura correspondente, de forma que haja pressão natural no momento da pressão de colagem. Embora as pontas dos entalhes apresentem resistência nula, estas causam efeito negativo na resistência da emenda devido à concentração de tensões.

2.2.3 Adesivo

Segundo Albino (2010), a adesão entre a madeira e o adesivo depende de uma série de fatores como as características inerentes à própria madeira (anatomia, química e física), características do adesivo (químicas e físicas) e do processo adotado durante a colagem.

2.2.4 Processo de usinagem

Emendas bem executadas influenciam na resistência, sendo que a qualidade do corte é um fator relevante. Fresas sem fio produzem geometria irregular, reduzindo a resistência, ou mesmo, que podem não encaixar. Já as muito afiadas geram superfícies extremamente lisas, o que reduz o atrito e causa escorregamento dos entalhes no momento da prensagem (Macêdo, 1996).

Uma vez usinados os entalhes múltiplos, é necessário se proceder a colagem dessa emenda longitudinal quase que imediatamente após a usinagem. Isto, para evitar variações na geometria dos entalhes devido ao movimento de retratibilidade da madeira (VALLE et al, 2015).

2.2.5 Colagem e pressão de colagem

Grande quantidade de extrativos e alta densidade diminuem a penetração do adesivo na madeira, também, baixo teor de umidade pode provocar linha de cola “faminta”, ou ainda, a cura imediata por absorver a água do adesivo. Diferenças de umidade entre as partes da emenda devem ser evitadas principalmente devido à retratibilidade da madeira.

Na colagem deve-se atentar para a temperatura, posto que o tempo de cura e a viscosidade do adesivo são alterados. Quanto à pressão de colagem, se muito alta, fará com que o adesivo escorra para fora da emenda, se muito baixa, diminui a penetração do adesivo na madeira (TELES, 2009).

A literatura não fornece uma compreensão sobre as relações entre diversos fatores, tais como as exigências de produção, o perfil do entalhe, e a pressão de colagem para nenhuma espécie em particular, e que a pressão deve ser aplicada para forçar os entalhes de forma a travar a ligação, promovendo certa resistência imediata (RAKNES, 1980 *apud* BUSTOS et al, 2011).

2.3 PRODUÇÃO DE PEÇAS EM MADEIRA LAMINADA COLADA – MLC

Terezo (2010) afirma que a escolha da espécie de madeira é o início do processo, e que, atualmente, é possível utilizar a maioria delas, de acordo com sua classe de resistência e capacidade de aderência aos adesivos. Entretanto, Terezo & Szücs (2010) atestam que, com base no desenvolvimento tecnológico europeu e americano, é aconselhável o uso de coníferas com densidade entre $0,40 \text{ g/cm}^3$ e $0,75 \text{ g/cm}^3$, sendo evitadas madeiras com alto teor de resina. Recomenda-se o uso da mesma espécie para a composição das lâminas das vigas em MLC a fim de se evitar tensões adicionais nas linhas de cola causadas pela diferença entre os índices de contração volumétrica das madeiras.

A densidade da madeira utilizada é um fator primordial para a eficiência de elementos estruturais em MLC. Segundinho et al (2013) afirmam que a NBR 7190 (1997) sugere o uso de madeiras com densidade até $0,75 \text{ g/cm}^3$, e que, portanto, algumas folhosas de baixa densidade podem ser consideradas para a aplicação em MLC, quando facilmente coláveis. Plaster et al. (2008) em estudo sobre o comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus sp.*, concluíram que a densidade influenciou na adesão das juntas.

Granato (2011) aponta que, de acordo com a NBR 7190 (2011) (versão em implementação), o comprimento mínimo de cada tábuca deve ser de 100 cm, a largura não deve ser menor que 5 cm, nem maior que 20 cm após o acabamento. Ele descreve ainda que, segundo a norma AITC A190.1 (2007), as lâminas não devem exceder 5,1 cm de espessura, a variação da espessura ao longo da largura da lâmina não deve exceder $\pm 0,002 \text{ cm}$, e a variação da espessura ao longo do comprimento de uma lâmina não deve exceder $\pm 0,003 \text{ cm}$. Consoante com

a Norma EN 386 – “*Glued Laminated Timber – Performance requirements and minimum production requirements*”, a espessura das lamelas deve ser igual ou inferior a 45 cm.

2.3.1 Secagem e classificação das lâminas

Previamente à fabricação da MLC, a madeira deve ser adequadamente seca. Igualando-se o teor de umidade da madeira utilizada no momento da montagem àquele para a qual será utilizada, obtém-se uma minimização de problemas de retratibilidade, que são os principais fatores a serem controlados. A maioria das empresas utiliza um medidor de umidade para verificar o conteúdo de cada pedaço de madeira que entra no processo de fabricação. Peças com um elevado teor de umidade são removidos e novamente secos (STARK et al, 2010).

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). Ou seja, são necessárias duas classificações: uma visual, que compreende a eliminação de grandes defeitos como nós, rachaduras e empenamentos; e outra mecânica, por meio do Módulo de Elasticidade (MOE) para a composição da viga. A partir do MOE obtido, determina-se a disposição de cada lâmina na viga, de forma que as mais resistentes fiquem localizadas nas zonas de maior solicitação, e as menos resistentes nas zonas de menor solicitação, na maioria das vezes mais próximas à linha neutra (CÓRDOVA, 2015).

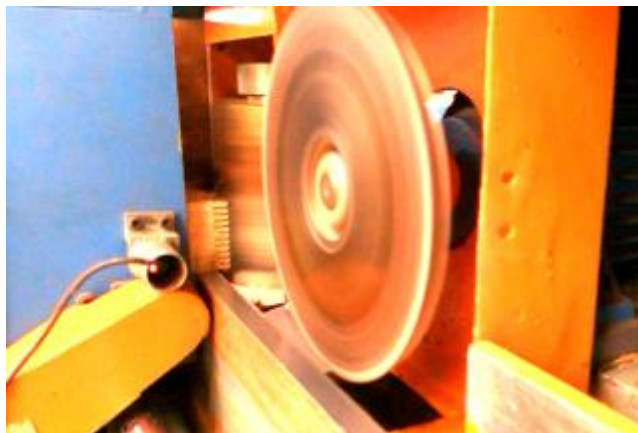
2.3.2 Fresagem – Emenda longitudinal

Para se construir vigas estruturais de grandes dimensões, é necessária a confecção das emendas longitudinais, transversais ou ambas. Essa técnica permite a

construção de vigas com mais de 43 metros de vão livre (CUNHA & MATOS, 2010).

Após a secagem e classificação, as peças são aplainadas e levadas para fresar. A fresagem pode ser feita fixando-se um conjunto de discos em um eixo giratório de uma tupaia. À medida que a mesa da fresadora se movimenta, as peças, de igual altura, vão sendo destopadas – para chegarem a fresa com a mesma distância desta – e fresadas (Figura 2).

Figura 2. Destopo e fresagem das peças.



Fonte: Arquivo pessoal, 2015.

2.3.3 Colagem das lâminas

Cunha e Matos (2011) afirmam que o sucesso do uso das vigas MLC está intimamente ligado ao adesivo empregado na sua construção e à classificação das peças que serão distribuídas na estrutura. O adesivo deve possuir características de uma união resistente, estável e durável, mas não se devendo esquecer que essas características relacionam-se diretamente com as propriedades da madeira. Dessa forma, as resinas mais utilizadas para uso estrutural em madeiras são as fenólicas e as melamínicas.

A montagem das lâminas é outra fase crítica na fabricação. Para obter superfícies limpas, paralelas, e coláveis, as lâminas devem ser aplainadas para que se obtenha peças lisas e poros desobstruídos. É interessante que o aplainamento seja feito em plaina de duas faces um pouco antes do processo de colagem, pois assegura melhor interação entre adesivo e madeira, bem como que a pressão será aplicada uniformemente. Os adesivos são, então, aplicados sobre as lâminas, geralmente com uma extrusora de cola. Após a aplicação do adesivo, espera-se um tempo inicial para que haja penetração na madeira, e, então, é aplicada pressão. Este tempo de espera varia conforme indicações do fabricante do adesivo, da madeira e da temperatura ambiente (STARK et al, 2010). A cura do adesivo pode ser bastante lenta, como no caso da resorcina fenol formaldeído, que necessita até 10 dias para atingir o ponto de cura.

2.3.4 Pressão

Uma vez as lâminas estando coladas e justapostas, dando, portanto, a composição e conformação do elemento estrutural, a aplicação da pressão de colagem deve seguir o que recomenda o fabricante da cola (VALLE et al, 2015), embora deva-se considerar a massa específica da madeira, que interfere na absorção do adesivo e, por consequência, na colagem.

2.3.5 Acabamento

Stark et al (2010) afirmam que após a cura do adesivo, remove-se o excesso que possa ter escorrido para fora das lâminas, assim como para suavizar quaisquer irregularidades entre as lâminas adjacentes. Para isto, a peça é lixada e aplainada, e pode ser recortada para dar formas. Pode-se utilizar tintas e vernizes, assim como fazer tratamento

preservante, quando necessário. Por fim, são realizados furos e entalhes.

2.3.6 Escolha da espécie

A madeira, por ser material heterogêneo, apresenta propriedades físicas, químicas, mecânicas e anatômicas que variam entre espécies, dentro da espécie e até mesmo dentro da própria árvore. Dessa forma, conhecer a multiplicidade e interação das propriedades que tornam a madeira matéria-prima ideal para determinado uso é de fundamental importância para o seu emprego correto (PALERMO et al, 2013).

Calil Neto (2011) *apud* Molina et al (2016) afirma que, como o sistema de MLC é ainda pouco utilizado no Brasil, é evidente que estudos devam ser realizados no sentido de se proceder em cada região ou estado a uma investigação da interação da relação espécie de madeira-adesivo para uma caracterização das madeiras que melhor possam se adaptar a essa técnica de colagem. Deve ter destaque, principalmente, a adequabilidade de madeiras provenientes de florestas plantadas ao referido sistema de emenda.

A utilização de madeira quer seja proveniente de florestas plantadas ou de floresta nativa, ambas devidamente manejadas, fornece matéria-prima para diversos ramos da indústria e de prestação de serviços no Brasil. Um dos principais meios de utilização da madeira é a construção civil, que a utiliza como elemento estrutural (ALMEIDA et al, 2013).

Embora o Brasil seja o país com a maior biodiversidade florestal do planeta, ainda há muito para ser pesquisado e desenvolvido. São espécies em potencial, aquelas ainda desconhecidas, que poderiam estar sendo plantadas e manejadas com seu uso já direcionado, como é o caso da espécie *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* (paricá). A

MLC teve de se adaptar às espécies disponíveis, visto que as indústrias produtoras localizam-se, sobretudo, no sul e sudeste, onde áreas de reflorestamento com espécies exóticas como pinus e eucalipto também aumentam a cada ano devido à sua utilização em painéis de madeira, bem como papel e celulose.

2.3.6.1 *Pinus taeda*

Marchiori (2005) *apud* Abrão (2011), afirma que o *Pinus taeda* é considerado a espécie madeireira mais importante economicamente para a região Sul do Brasil, sendo cultivada nas terras mais altas da Serra Gaúcha e do Planalto Catarinense. As árvores podem alcançar cerca de 20 m de altura e 100 cm de diâmetro à altura do peito, produzindo copa densa, casca gretada e ramos acinzentados. A madeira é indicada para construções, móveis, caixotaria, e suas fibras são longas e adequadas à fabricação de papel.

Tem rápido crescimento, quando comparado ao seu desenvolvimento nos países de origem, apresenta maior número de galhos e menor índice de resina na madeira. Em reflorestamento, tem sido preferido em relação a outras espécies de *Pinus* por apresentar maior incremento e por ter menor teor de resina na madeira. Sua madeira serve para produção de celulose de fibras longas, para serraria, construção civil, movelaria, laminados, e compensados (AMBIFLORA, 2012).

Para Aguiar et al (2014), as características que favorecem o plantio de *Pinus taeda* inclui a coloração clara da madeira, assim como a fibra longa, apropriada para fabricação de papel de alta resistência para embalagens, papel de imprensa e outros tipos de papéis; apresenta rusticidade e tolerância.

Nas Tabelas 1 e 2 são apresentadas as propriedades físicas e mecânicas do *Pinus taeda* de diferentes pesquisas.

Segundo a NBR 7190/97, o *P. taeda* se encaixa na classe C-30 de resistência para coníferas.

Tabela 1. Propriedades mecânicas do *Pinus taeda*.

Fonte	Idade da árvore	PROPRIEDADES MECÂNICAS										
		Flexão estática			Compressão			Dureza Janka			Cisalhamento	Tração
		MOR (MPa)	MOE (MPa)	σ_{LP} (MPa)	Paralela Resist. Rup. (MPa)	Perpendicular Resist. LP (MPa)	MOE (MPa)	Radial (kN)	Tangencial (kN)	Axial (kN)	(MPa)	Paralela (MPa)
Melchiorretto & Eleoterio (2003)	25	49,0	6.329,6	21,4	-	-	-	-	-	-	11,9	-
Santini et al (2000)	13	54,5	5.840,9	14,9	28,5	4,9	8.591,2	2.120	2.960	3.098,9	8,5	-
Stark et al (2010)*	-	88,3	12.342	-	49,2	5,4	-	-	-	3.100	9,6	-
ABNT (1997)	-	-	13.304	-	44,4	-	-	-	-	-	7,7	82,8
Trianoski et al (2014)	17	64	8.234	-	37	-	12.432	-	-	3.162	10,52	-

Sendo: MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidade; Resist. Rup.: Resistência à Ruptura; Resist. LP: Resistência no Limite de Proporcionalidade. σ_{LP} : Tensão no limite de proporcionalidade.

* Os dados apresentados referem-se a árvores nativas dos Estados Unidos.

Tabela 2. Propriedades físicas do *Pinus taeda*.

PROPRIEDADES FÍSICAS					
Fonte	Densidade (g/cm ³)		Contração		
	Aparente g/cm ³	Básica g/cm ³	Radial %	Tangencial %	Volumétrica %
Melchiorretto & Eleoterio (2003)	0,45	0,37	-	-	-
Santini et al (2000)	-	0,41	4,40	6,50	10,90
Stark et al (2010)	-	0,57	-	-	-
ABNT (1997)	-	0,65	-	-	-
Trianoski et al (2014)	0,53	-	-	-	-

2.3.6.2 *Eucalyptus grandis*

A crescente busca pela destinação do uso da madeira de *Eucalyptus* para fins mais nobres, como fabricação de móveis e construção civil, resulta em agregação do valor dos produtos madeireiros e madeiras de melhor qualidade. Dessa forma, para a adequada aplicabilidade da madeira é importante determinar as suas características anatômicas, físicas, químicas e mecânicas exigidas para a produção de produtos específicos (OLIVEIRA et al, 2011).

Em sua tese, Palermo (2010) apresenta que, entre as espécies de eucalipto mais utilizadas para produtos sólidos, o *Eucalyptus grandis* se destaca, já que possui características desejáveis para usos múltiplos e bom desempenho nas fases de desdobro e secagem.

Nas Tabelas 3 e 4 são apresentados os resultados obtidos pelo IPT (1989b) para as propriedades mecânicas e físicas do *E. grandis*, de acordo com a Norma da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT NBR 7190:1982 (atual NBR 7190:1997).

A espécie é classificada na classe C-40 de resistência para dicotiledôneas, levando-se em conta a umidade de equilíbrio de 12%.

Tabela 3. Propriedades mecânicas do *E. grandis*.

PROPRIEDADES MECÂNICAS							
Condição	Flexão estática			Compressão		Tração	
	MOR	MOE	Paralela	Perpendicular	MOE	Perpendicular	Paralela
	(MPa)	(MPa)	Resist. Rup. (MPa)	Resist. LP (MPa)	(MPa)	(MPa)	(MPa)
IPT (1989b)	53,8	9.689	26,3	19,7	11.572	-	-
NBR 7190/(1997)	-	12.813	40,3	-	-	2,6	70,2
Logsdon (1998)	-	-	-	-	-	-	80
Serrano (2009)	-	-	-	-	-	-	68,39

Sendo: MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidade; Resist. Rup.: Resistência à Ruptura; Resist. LP: Resistência no Limite de Proporcionalidade.

Tabela 4. Propriedades físicas do *E. grandis*.

PROPRIEDADES FÍSICAS				
Densidade (kg/m ³)		Contração		
Seca	Básica	Radial	Tangencial	Volumétrica
500	420	5,3%	8,7%	15,7%

Fonte: IPT, 1989b

2.3.6.3 *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum*

Pertencente à família Fabaceae, a espécie é conhecida popularmente como paricá. Pioneira e nativa da floresta amazônica, pode ser encontrada em países como Venezuela, Colômbia, Peru e Bolívia (URBINATI, 2013). Terezo & Szücs (2010) afirmam que dentre as espécies nativas plantadas, o paricá merece destaque devido ao seu rápido desenvolvimento e alta produtividade de volume de madeira por hectare (30 a 35 m³/ha/ano) e, desta forma, tem sido plantado em larga escala nos Estados do Pará e Mato Grosso.

A idade média de corte é de apenas 7 anos, com alto rendimento na laminação (em torno de 80%) em razão da forma do fuste, ausência de tensões de crescimento e o tipo de torno utilizado que produz rolo resto de pequeno diâmetro, e da pequena quantidade de defeitos presentes na madeira (VIDAURRE et al, 2006; CORTELETTI, 2013). Para Silva et al (2015), na região Norte, o paricá passou a ser muito utilizado para produção de lâminas e compensados. Com isso, vários pesquisadores têm feito esforços para gerar mais informações com o intuito de melhorar o conhecimento sobre as características tecnológicas e utilização da madeira desta espécie, como Iwakiri et al, 2010a; Iwakiri et al, 2010b; Terezo & Szucs, 2010; Arruda et al, 2011, Terezo et al, 2015.

Terezo et al (2015) concluíram em sua pesquisa que o emprego do paricá, proveniente de florestas plantadas da região Amazônica, em elementos estruturais para a construção civil é exequível, uma vez que os resultados que os autores obtiveram classificam a espécie, de acordo com as exigências da NBR 7190/1997. Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas as propriedades mecânicas e físicas da madeira de paricá obtidas por diferentes pesquisadores e instituições. Por serem obtidas de plantios com árvores de pequeno e médio porte, as vigas de MLC de paricá tornam-se uma real opção de emprego e comercialização no mercado brasileiro.

Tabela 5. Propriedades mecânicas do *S. parahyba* var. *amazonicum*.

PROPRIEDADES MECÂNICAS											
Fonte	Flexão estática		Compressão			Dureza Janka		Cisalhamento Fendilhamento		Tração	
	MOR	MOE	Paralela	Perpendicular	MOE	Radial	Tangencial	Resist. Rup.	Paralela	Perpendicular	
	(MPa)	(MPa)	Resist. Rup. (MPa)	Resist. LP (MPa)	(MPa)	(N)	(N)	(MPa)		(MPa)	
AMATA (2009)	53,25 *	9.218,25 *	33,44	4,51	-	4.481,64	2.608,57	10,79	3,63	-	2,65
Melo et al (1989)	56,2	8.200	34,7	4,6	-	4.569,90	2.687,02	11,1	-	-	2,7
Terezo et al (2015)	52,28	8.738	29,33	2,55	11.058	-	-	2,7	0,43	61,5	2,8
Vidaurre (2010)	42,9	5.811	22,7	-	-	1.637,71	2.069,20	5,3	3,4	72	2
Almeida et al (2013)	50	8.900	24,0	-	7.320	-	-	6	-	40	-

Sendo: MOR: Módulo de Ruptura; MOE: Módulo de Elasticidade; Resist. Rup.: Resistência à Ruptura; Resist. LP: Resistência no Limite de Proporcionalidade.

Tabela 6. Propriedades físicas do *S. parahyba* var. *amazonicum*.

PROPRIEDADES FÍSICAS								
Fonte	Densidade (g/cm ³)				Contração (%)			Razão Contração Tangencial/Contração Radial
	Seca	Verde	Básica	Aparente	Tangencial	Radial	Volumétrica	
AMATA (2009)	0,55	1,13	0,49	0,47	5,1	4,3	11,1	1,19
Melo et al (1989)	-	0,49	-	-	4,8	4,6	11,1	1,00
Terezo et al (2015)	0,31	-	-	-	-	-	-	-
Almeida et al (2013)	-	-	0,30	0,37	-	-	-	-

2.4 ADESIVOS PARA USO ESTRUTURAL

A função de um adesivo é manter unidos diferentes materiais em sua superfície. Estes materiais são chamados de substratos que é um termo usado para sólidos unidos por adesivos, tais como a madeira, e são interligados por meio da adesão (CAVALHEIRO, 2014).

Os adesivos de madeira vêm sendo utilizados e aperfeiçoados durante muitas décadas na medida em que as pesquisas avançam. Estes adesivos apresentam grande importância industrial, uma vez que mais de dois terços dos produtos de madeira são total ou parcialmente unidos 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).

Os adesivos e o fenômeno físico-químico de adesão desempenham um importante papel para os materiais à base de madeira. No caso do uso de adesivos para a colagem de madeira com fins estruturais, o desempenho das peças e/ou estruturas fabricadas está intimamente ligado ao adesivo empregado. Assim sendo, faz-se necessário que o adesivo possua características que ofereçam uma união resistente, estável e durável, diretamente relacionadas com as propriedades da madeira (PETRAUSKI, 2012).

Em relação à MLC, uma importante característica do adesivo é manter a durabilidade e integridade ao longo da vida da estrutura desta. Dessa maneira, os adesivos para fins estruturais devem produzir ligações de resistência e durabilidade tais que a integridade da ligação colada seja mantida por toda a vida esperada da estrutura nas condições climáticas de uso (CAVALHEIRO, 2014).

Calil Neto (2014) aponta que os adesivos comumente utilizados na fabricação de MLC no Brasil são os poliuretanos e os à base de resorcinol, com cura à temperatura ambiente. Tais

adesivos apresentam alta resistência à umidade, tornando-os aptos para uso exterior.

Tradicionalmente, o adesivo resorcinólico é o mais utilizado para a confecção de elementos estruturais de madeira. Entretanto, o mercado de adesivos vem apresentando uma série de inovações e tecnologias, buscando atender às exigências sociais de redução de impacto sobre o meio ambiente, sem perder a excelência no desempenho (PETRAUSKI, 2012).

2.4.1 Resorcina formaldeído

A resorcina fenol formaldeído é o adesivo mais empregado para a colagem de produtos de madeira que requerem alta resistência mecânica associada à sua durabilidade em ambientes externos (IWAKIRI et al 2014).

Dentre as diferentes classes de adesivos existentes, os adesivos a base de resorcinol, que é um termoendurecedor, são muito utilizados na confecção de vigas estruturais, uma vez que estes adesivos apresentam uma excelente resistência apesar do custo muito elevado, quando comparados às outras classes de adesivos (ALBINO et al, 2010).

O adesivo resorcinol apresenta excelente durabilidade, propriedade de baixa temperatura e alta resistência em peças estruturais. As ligações químicas realizadas com este adesivo são conhecidas por serem muito resistentes a diversos tipos de condições, incluindo água fervente, alta umidade e muitos tipos de solventes, exceto soluções com altos teores de soda cáustica (DURAIRAJ, 2005 *apud* ALBINO et al, 2010).

De acordo com Skeist (1977), Pizzi (1983), WU & Paul (2005), e Silva (2006) *apud* Petrauski (2012), o tempo necessário para a reação de cura para se obter a máxima resistência da ligação adesiva é função da composição química do adesivo. No caso do adesivo resorcinol formaldeído, estima-se um período de oito a dez dias, após a retirada da peça da prensa. De acordo com a Momentive do Brasil, fabricante da

resina Cascophen RS-216-M a base de Resorcinol-Formol, costuma-se utilizar gramatura de 300 a 500 g/m² por linha de cola em vigas laminadas estruturais.

Embora este tipo de adesivo não seja muito utilizado pela indústria de madeira compensada devido ao seu alto custo – segundo Petruski (2012), cerca de 30% do custo final da peça –, eles são utilizados para a montagem de produtos sólidos de madeira, que estarão suscetíveis à exposição ao tempo e à água, como vigas de MLC (ECKELMAN, 2015).

2.4.2 Poliuretano

O poliuretano é um adesivo que permite otimizar as propriedades dos materiais para os mais diferentes campos de aplicação. Como matéria-prima para adesivos, o poliuretano encontra aplicação nos setores industriais têxteis, de madeira, e produtos de couro. Para a união de peças de madeira, o sistema adesivo requer a umidade contida na madeira (HENKEL, 2015), sendo que as faixas de umidade de melhor adesão estão entre 6 e 14%, valores abaixo disto requerem uma formulação específica do adesivo (CAVALHEIRO, 2014).

O poliuretano é um adesivo isento de formaldeído, produzido a partir de solventes e que pode ser aplicado em funções estruturais. Apresenta tempo de cura reduzido, tendo-se 30 minutos para a aplicação e montagem, e mais 75 minutos de prensagem e tempo de cura (PURBOND, 2013). A quantidade de adesivo necessária por metro quadrado e por linha de cola é de aproximadamente 200 gramas.

2.4.3 Melamina Ureia Formaldeído

As resinas a base de melamina são usadas a fim de melhorar a resistência à umidade do adesivo de ureia. Embora as resinas de melamina sejam mais resistentes que aquelas de

ureia, os adesivos de resorcina e fenol têm desempenho superior (ECKELMAN, 2015).

Para a cura do adesivo, as resinas de melamina necessitam de temperatura mínima de 115 °C, e são mais caras que as de ureia. Estes dois fatores têm limitado o seu uso em casos especiais, como o compensado naval, onde o seu alto custo seria justificado pela necessidade de um adesivo de cor clara, resistente à água. Aplica-se em compensados de madeira, emendas coladas de topo, MDF, portas, divisórias, entre outros.

2.5 EMENDAS POR ENTALHES MÚLTIPLOS

O entalhe múltiplo é uma das mais resistentes ligações na madeira, usado para aplicações estruturais e não estruturais. Comumente é classificado por especialistas como um produto de alta qualidade, devido às propriedades como estabilidade dimensional, e durabilidade ilimitada (HABIPI & AJDINAJ, 2015). Ainda, os entalhes múltiplos reduzem variações no produto final, tais como menor propensão ao empenamento devido às fibras estarem ao acaso ao longo do comprimento da peça (VRAZEL & JR., 2004).

O início da utilização da técnica de ligação de peças por colagem de entalhes data do período da segunda guerra mundial. Durante os anos de 1939 a 1945, esta técnica foi utilizada nos Estados Unidos notadamente na fabricação de hélices para aviões, também na Alemanha a ligação por entalhes foi empregada na construção de pontes, segundo Szücs (1991). Depois disso, a ligação por entalhes não parou de se aperfeiçoar (GRAEFF, 1995).

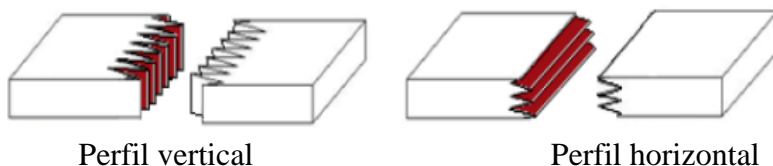
Na construção de elementos estruturais em madeira, como a MLC, as uniões longitudinais tornam-se fundamentais, por ser possível produzir peças de grandes dimensões e variadas geometrias. Segundo Serrano (2009), a união pode ser feita normalmente de três formas: emenda de topo, biselada e por entalhes múltiplos. As emendas de topo são fáceis de

executar, mas apresentam a crítica desvantagem de, quando solicitada, não ser suficientemente resistente. As emendas em bisel surgiram para substituir as de topo e, embora tenham sido muito utilizadas, seu emprego perdeu espaço para as emendas por entalhes múltiplos. Estas, se bem feitas, podem ter potencial para atingir até 75% da resistência da madeira sólida sem defeitos (MIOTTO & DIAS, 2009).

Estes entalhes influenciam também na resistência final de peças estruturais de madeira. A geometria dos entalhes, o adesivo, a gramatura do adesivo, o tipo de aplicação, a pressão e o tempo de colagem são fatores importantes na produção das ligações e, portanto, no seu desempenho (FRANKE et al, 2014; HABUPI & AJDINAJ, 2013; ÖZÇIFIÇI, & YAPICI, 2007; HABUPI et al, 2016).

Amaya (2013) demonstra que existem duas geometrias para as emendas múltiplas, que são os perfis vertical e o horizontal, conforme mostrado na Figura 3.

Figura 3. Orientação das emendas em perfis vertical e horizontal.



Fonte: Adaptado de AMAYA, 2013.

As emendas múltiplas são um método especial de ligação longitudinal, onde, a diferença entre o perfil horizontal e vertical é o corte dos entalhes, o qual é rotacionado 90°. Destas, a mais utilizada é a vertical, embora pesquisas comparando as duas orientações tenham demonstrado que a diferença de resistência entre elas não é significativa. Apesar disto, pode-se considerar que em produções de larga escala, como ocorre nas indústrias, são utilizadas não somente peças

sem defeito, mas também peças que contenham algum tipo de defeito. Assim, caso seja empregado o perfil horizontal e as emendas produzidas apresentem algum defeito, por menor que seja, em qualquer um dos entalhes, apresenta uma perda de resistência que, no produto final, pode ser significativa. Fato este que não ocorre com o perfil vertical, uma vez que apresenta maior número de entalhes e, caso possua falha em algum deles, não terá o mesmo problema com perda de resistência como no outro caso.

Jokerst (1980) apontou que a geometria é o aspecto mais importante para um bom desempenho dos entalhes. Consideráveis pesquisas relacionadas à influência dos parâmetros geométricos das uniões têm sido feitas para diversas espécies (MADSEN & LITTLEFORD 1962, RICHARDS 1963, SELBO 1963, BIBLIS & CARINO 1993, AYARKWA et al 2000, BUSTOS et al, 2003a, CASTRO & PAGANINI, 1997, FRANKE et al 2014, HABIFI & AJDINAJ, 2015, VRAZEL & JR 2004; HABIFI et al, 2016).

A NBR 7190:1997 especifica os procedimentos para os ensaios de tração paralela às fibras, mas não sugere geometria específica para a produção de elementos estruturais. Sendo assim, deve-se procurar por normas internacionais que atendam às correspondentes necessidades, tais como a norma alemã DIN 68140 (1971), que apresenta, entre outros, sugestões de geometrias para entalhes múltiplos com fins estruturais. A NBR 7190:1997 está em processo de revisão, do ano de 2011, a qual apresenta dois perfis de geometria para os entalhes múltiplos com fins estruturais, como pode ser visualizado na Tabela 7.

Tabela 7. Características geométricas de entalhes de dois perfis estruturais.

Perfil/Parâmetro	l (mm)	t (mm)	b (mm)	α
1	28	7	1	1:10 (5,74°)
2	21	7	1	1:9 (6,38°)

Sendo: l : comprimento do entalhe; t = largura do entalhe ou passo; b = largura da ponta do entalhe; v : grau de enfraquecimento.

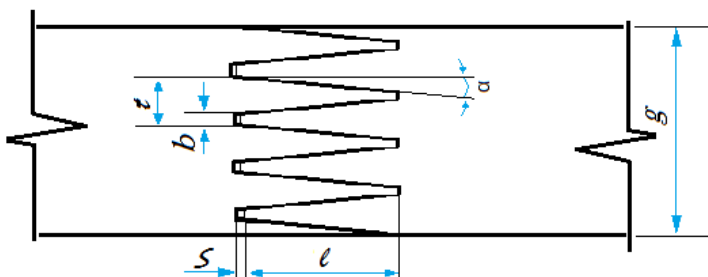
Fonte: Adaptação da revisão da NBR 7190:2011.

A fim de se obter um comprimento maior que os disponíveis para a madeira serrada, as emendas de topo vêm para otimizar o processo de produção, permitindo o fabrico de elementos maiores, como as MLCs. As emendas por entalhes múltiplos, também conhecidas por *finger joints*, devem ser feitas de forma que satisfaçam as condições específicas de resistência e de durabilidade. A qualidade na fresagem da emenda é fundamental, uma vez que ela deve garantir um desempenho adequado da madeira (STARK et al, 2010).

Conforme Ajdinaj & Habipi (2015), a geometria da emenda múltipla é uma das variáveis mais importantes quando se determina a resistência da ligação. Na Figura 4 pode-se visualizar as variáveis de uma geometria de emenda, bem como a nomenclatura de cada.

De acordo com Ajdinaj & Habibi (2013), para produzir emendas de elevada resistência, o controle do processo em cada etapa – determinação da qualidade da madeira, fresagem, aplicação do adesivo, pressão de colagem, e cura – é imprescindível. As vantagens das emendas por entalhes múltiplos estão na acessibilidade dos equipamentos necessários, bem como na possibilidade de utilização apenas de pequenos pedaços de madeira para a produção, reduzindo, assim, o desperdício (STARK, 2010).

Figura 4. Geometria de emendas múltiplas.



Fonte: DIN 68140/1971.

Onde: l = comprimento do entalhe
 t = largura do entalhe ou passo
 g = largura total da emenda
 b = largura da ponta do entalhe
 s = folga da ponta do entalhe
 $e = s/l$ = folga relativa
 $v = b/t$ = grau de enfraquecimento

No caso do emprego das emendas por entalhes múltiplos é preciso obter um bom equilíbrio geométrico, conseguido por meio da proporção entre as dimensões da base dos entalhes e os comprimentos dos mesmos.

Essa definição das dimensões dos entalhes depende do grau de eficiência que se deseja para a emenda. Nesse particular, a norma DIN 68140/1971 prevê, pelo grau de enfraquecimento, o emprego dos entalhes múltiplos para aplicação de esforços elevados (elementos estruturais de grande porte).

Nas Tabelas 8 e 9 são apresentados valores recomendados para diferentes geometrias de entalhes múltiplos segundo as normas DIN 68140/1971 e EN 14080/2013.

Tabela 8. Valores recomendados para a geometria dos entalhes múltiplos pela norma alemã DIN 68140/1971.

Categoria	v (%)	l (mm)	t (mm)	b (mm)	α
I - estrutural	08	7,5	2,5	0,2	$\leq 7,5^\circ$
	16	10	3,7	0,6	(1:7,6)
	16	20	6,2	1	
	17	50	12	2	$\leq 7,1^\circ$
	18	60	15	2,7	(1:8)
II – não estrutural	25	4	1,6	0,4	
	24	15	7	1,7	$\leq 7,1^\circ$
	20	30	10	2	(1:8)

Sendo: l : comprimento do entalhe; t = largura do entalhe ou passo; b = largura da ponta do entalhe; α : ângulo de inclinação.

Fonte: Adaptação de DIN 68140 (1971).

Nota-se relativa diferença na geometria de uso estrutural x não estrutural, a qual é acompanhada também pela pressão de colagem, uma vez que esta pode ser determinada a partir do comprimento dos entalhes, sendo um fator significativo na qualidade da emenda.

Tabela 9. Geometria recomendada pela norma EN 14080/2013.

l (mm)	t (mm)	b (mm)	v (%)
15	3,8	0,42	0,11
20	5,0	0,5	0,10
20	6,2	1,0	0,16
30	6,2	0,6	0,10

Sendo: l : comprimento do entalhe; t = largura do entalhe ou passo; b = largura da ponta do entalhe; v : grau de enfraquecimento.

Fonte: Adaptação da norma EN 14080 (2013).

Alguns parâmetros geométricos são particularmente importantes para a resistência dos entalhes. Por exemplo, a resistência tem acréscimo com aumento na relação comprimento/largura do entalhe (passo) e menor largura da ponta do entalhe. Como resultado, entalhes múltiplos com fins estruturais têm entalhes relativamente mais compridos e pontas mais finas quando comparados aos entalhes não estruturais, e são utilizados quando a resistência dos entalhes é o interesse primordial.

Para Castro e Paganini (1997), as características geométricas das ligações têm uma grande influência no desempenho mecânico, particularmente relevante quando relacionados à área de colagem e à relação entre a largura da ponta e a largura da base dos entalhes múltiplos (grau de enfraquecimento).

Ainda, Vrazel & Jr (2004) encontraram uma relação proporcional entre a resistência e a área de colagem. Dado que um entalhe múltiplo tem adequados ângulo, largura da base, e área de colagem, a largura da ponta se torna determinante para a resistência da ligação, sendo que com a mais fina a resistência será maior que com a mais espessa.

Segundo Ansell (2015), o comprimento do entalhe influencia significativamente a eficiência da emenda múltipla. Ayakwa et al (2000), baseando-se na norma alemã DIN 68140 relataram que o desempenho ótimo de emendas por entalhes múltiplos foi obtido com um comprimento de entalhe de 18 mm e pressão de 8 MPa para madeiras de baixa densidade e 12 MPa para a de média densidade.

Macêdo (1996) afirma que, na prática, comprimentos de entalhes para fins não estruturais e estruturais variam de 7,50 mm a 60 mm, mas, de acordo com a literatura, o intervalo mais comum é de 15 a 35 mm para produtos estruturais. Ele sustenta, também, que várias configurações para as emendas múltiplas foram implementadas, sendo a geometria de 20 mm de comprimento correspondente à DIN 68140 (1971),

considerada como uma das mais eficientes e usadas no contexto internacional, inclusive no parque produtor de MLC no país.

Hernandez (1998) *apud* Ajdinaj & Habipi (2015), afirma que a largura recomendada para a ponta do entalhe (b – Figura 3) varia de 0,5 mm a 0,7 mm, sendo o parâmetro geométrico com influência mais acentuada. Espaços entre as pontas dos entalhes e a base aparecem como necessidade para acumular excesso de adesivo. De acordo com a norma alemã DIN 68140-1, este espaço varia de 0,03 mm de comprimento do entalhe (AJDINAJ & HABIFI, 2015).

Page (1959) *apud* Prins (2013), afirma que, com o aumento na largura da ponta do entalhe, tanto a resistência de tração como de flexão são reduzidas. Este efeito diminui na medida em que a inclinação também reduz. O pesquisador notou que aumentando a largura da ponta ocorre uma redução na resistência, como em uma inclinação de 1:8 ($7,18^\circ$) para uma de 1:16 ($3,58^\circ$). Isto é esperado porque com o aumento da espessura da ponta em uma emenda com uma inclinação de 1:8, haverá redução no comprimento do entalhe. Assim, uma redução na inclinação provoca um acréscimo da área efetiva de cola da emenda.

Para Castro e Paganini (1997), as características geométricas das ligações têm uma grande influência no desempenho mecânico, particularmente relevante quando relacionados à área de colagem e à relação entre a largura da ponta e a largura da base dos entalhes múltiplos (grau de enfraquecimento). Ainda, Vrazel & Jr (2004) encontraram uma relação proporcional entre a resistência e a área de colagem. Dado que um entalhe múltiplo tem adequados ângulo, largura da base, e área de colagem, a largura da ponta se torna determinante para a resistência da ligação, sendo que com a mais fina a resistência será maior que com a mais espessa.

Macêdo (1996) apresenta que um dos trabalhos pioneiros para discutir o efeito da geometria na resistência da

emenda foi apresentado por Palvov *apud* Jorkest (1959). Neste estudo foi relatado que com uma largura de ponta de 0,30 mm, largura da base de 8 mm e inclinação variando de 1:8 (7,6°) a 1:16 (3,58°), obteve-se resultados aproximadamente iguais em termos de resistência. Quando a largura da ponta foi aumentada até próximo de 2 mm, foi necessário que a inclinação estivesse entre 1:14 (4,1°) e 1:16 para se manter o mesmo nível de resistência. Com o acréscimo da largura da ponta, a área efetiva de cola foi reduzida em torno de 46%, sendo necessário reduzir a inclinação (aumentar a área de cola) para se obter uma resistência equivalente com esta largura de ponta.

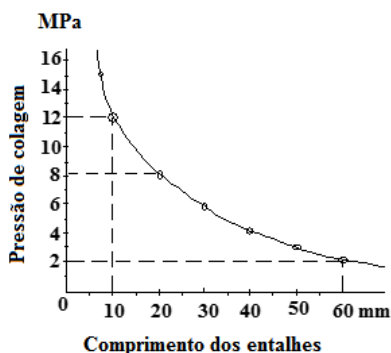
Para Bustos et al, 2011, pressão de topo refere-se à pressão aplicada na extremidade das peças de madeira para a união longitudinal, que trazem as superfícies de montagem tão próximas que a cola forma uma película fina e contínua entre elas. Esta pressão permite, também, que o adesivo seja distribuído de maneira uniforme, e cria uma espessura ideal na linha de cola.

Dawe (1965) *apud* Bustos et al (2011) afirma que com um aumento na pressão, obtém-se um melhor contato entre as superfícies da emenda, podendo-se reduzir a folga entre as pontas dos entalhes e a base. Portanto, aumentando-se a pressão, obtém-se melhor eficiência e desempenho da ligação, até o ponto em que ocorram danos nas pontas dos entalhes ou fendas na base.

A pressão de colagem definida pela DIN 68140 está apresentada no gráfico da Figura 5. Este gráfico foi estabelecido, com base na norma alemã, pelo *Centre Technique du Bois e de l'Ameublement* - CTBA (França) e indica que a pressão de colagem será dada de acordo com o comprimento dos entalhes. Pode-se considerar que a pressão lateral entre os entalhes é que promove a resistência da emenda, e não a pressão de topo propriamente dita, uma vez que esta pressão entre entalhes facilita a entrada do adesivo na madeira.

Assim, quanto maior o comprimento, menor a pressão de colagem necessária. Isto acontece porque à medida que o comprimento aumenta, há maior contato e pressão lateral (entre entalhes). Portanto, não é necessária excessiva quantidade de força.

Figura 5. Pressão de colagem em função do comprimento dos entalhes.



Fonte: Adaptação da DIN 68140/1971.

Então, para comprimentos de 10 mm, a DIN 68140 (1971) recomenda uma pressão de colagem de 12 MPa e de 2 MPa para entalhes de 60 mm de comprimento.

A versão em implementação da norma ABNT NBR 7190: 2011 recomenda pressões considerando a densidade básica da madeira e o comprimento dos entalhes, conforme pode ser visualizado na tabela abaixo.

Tabela 10. Pressão de colagem dos entalhes múltiplos.

L_d (mm)	Pressão de Colagem (MPa)	
	Densidade $\leq 0,50$ g/cm ³	Densidade $> 0,50$ g/cm ³
10	12	14
20	8	10
30	6	8
40	4,5	6,5
50	3	5
60	2	4

Onde: L_d : comprimento dos entalhes.

2.6 ENSAIOS DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS E MODOS DE RUPTURA

A resistência à tração paralela às fibras é dada pela máxima tensão de tração que pode atuar em um corpo-de-prova alongado. É determinada por meio de ensaios de tração uniforme, com duração de três a oito minutos. Para a determinação das propriedades de resistência as medidas do comprimento e do diâmetro do trecho central dos corpos-de-prova devem ser feitas com exatidão de 0,1 mm. O carregamento deve ser monotônico crescente, correspondente a uma taxa de 10 MPa/min (ABNT NBR 7190/1997).

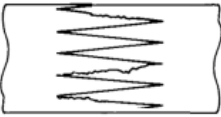
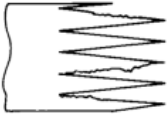
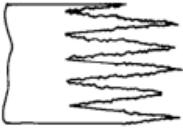


Após o rompimento do corpo de prova, faz-se avaliação dos modos de ruptura. Estes indicam a qualidade da colagem por meio da determinação do defeito preferencial de quebra, e, por consequência, indicação do possível problema no processo de obtenção das emendas coladas.

Estes problemas podem estar relacionados à falha na linha de cola em virtude do adesivo, pressão de colagem, entre outros; na base dos entalhes, devido à geometria e/ou tensão. Bustos et al (2003b) afirmam que estes modos de ruptura – 3 e

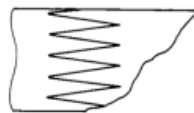
4 – são geralmente associados com uma boa qualidade de colagem da madeira com emendas estruturais.

A norma ASTM D 4688 – *Standard Test Method for Evaluating Structural Adhesives for Finger Jointing Lumber* (1999) sugere seis modos de ruptura em ensaios de tração paralela. Na Tabela 11 encontra-se a descrição de cada um dos modos.

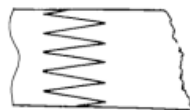
Tabela 11. Modo de ruptura para o ensaio de tração paralela.

Modo	Descrição	Exemplo
0	Tensão máxima de ruptura atingida, porém sem rompimento da madeira.	
1	Ruptura ao longo das superfícies da linha de cola com poucas falhas (ruptura na madeira < 70%).	
2	Ruptura ao longo das superfícies da linha de cola com considerável ruptura por cisalhamento (ruptura na madeira > 70%).	
3	Ruptura ao longo do perfil da emenda, mas com alguma ruptura na base dos entalhes. Considerável ruptura por cisalhamento em toda a superfície do perfil.	
4	Ruptura na base das emendas. Poucas falhas ao longo do perfil.	

-
- 5 Ruptura que começa na emenda (possivelmente devido a um concentrador de tensão) e prossegue fora da emenda. Praticamente 100% das rupturas são na madeira.



-
- 6 Ruptura é fora da emenda (não influenciada pela emenda – toda a ruptura é na madeira).



Adaptado da norma ASTM D 4688.

Walford (2000) *apud* Habipi & Ajdinaj (2015), afirma que peças unidas por entalhes múltiplos produzidas com madeira de baixa densidade tendem a falhar na madeira, enquanto que aquelas feitas com alta densidade rompem nas emendas onde a resistência da linha de cola é o fator mais relevante.

Azambuja (2006) *apud* Amaya (2013), pesquisando emendas múltiplas com a utilização de adesivo Cascophen para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, observou que a maior frequência das rupturas à tração das lâminas de dimensão estrutural foram o modo 4 (ruptura na base das emendas) para o *Pinus* e o modo 1 (falha na colagem) para o *Eucalyptus*.

2.7 CONSIDERAÇÕES SOBRE A REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Do exposto, observa-se que a geometria dos entalhes múltiplos é o fator primordial quando se considera a produção de elementos com emendas longitudinais. Ao mesmo tempo, outras variáveis influenciam a resistência e a rigidez das peças,

das quais citam-se a espécie, que tem variação principalmente na densidade; o adesivo a ser utilizado, que deve oferecer união resistente, estável e durável; entre outros fatores como umidade da madeira e processo de produção dos elementos.

Quanto à geometria, se bem executada, pode ter a resistência mecânica aproximada da madeira maciça. Isto conduz às demais variáveis inerentes ao processo, as quais afetam a resistência da madeira, como a densidade da madeira, o adesivo e a pressão de colagem, que muito interferem na resistência. Verifica-se que o perfil geométrico mais utilizado por empresas e pesquisas são baseados na norma alemã DIN 68140/1971, sendo o comprimento do entalhe de 20 mm o mais comum.

Destas ideias principais constata-se a importância deste experimento, haja vista a necessidade de se produzir emendas longitudinais de qualidade, a qual é afetada diretamente pela geometria do perfil, densidade da madeira, adesivo utilizado, e pressão de colagem.

Pelo fato de o Brasil ainda não ter em vigor uma geometria específica regulamentada para uniões de entalhes múltiplos (*finger-joints*) e produção de elementos estruturais em madeira, esta pesquisa se torna ainda mais interessante, pois são considerados fatores relativos à situação do país, como a madeira utilizada e as possibilidades fabris.

3 MATERIAL E MÉTODOS

Nesta seção são apresentados os materiais e os procedimentos realizados para a confecção dos corpos de prova, bem como os ensaios realizados. Foram usadas três espécies de madeira, além dos adesivos para fins estruturais: resorcina fenol-formaldeído, melamina ureia formaldeído e poliuretano reativo. A confecção dos corpos de prova foi realizada em duas empresas e em laboratório, com fresa de geometria diferente em cada local. Sendo assim, os entalhes não foram projetados, mas utilizados aqueles que já são empregados pela indústria (em exceção a do laboratório), de modo a se verificar a qualidade dos produtos produzidos pelas mesmas, uma vez que os adesivos aplicados nesta pesquisa também são utilizados pelo parque fabril onde as amostras foram feitas.

3.1 MADEIRA

A madeira utilizada neste trabalho foi de três espécies de florestas plantadas, sendo elas: o *Pinus taeda*, o *Eucalyptus grandis*, e o *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* – paricá.

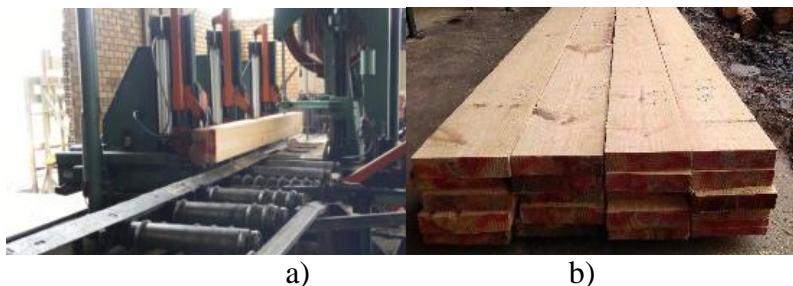
3.1.1 *Pinus taeda*

A madeira de *Pinus taeda* foi proveniente de um reflorestamento em Otacílio Costa – SC, onde as árvores tinham entre 21 e 23 anos. Foram cortadas cinco árvores aleatoriamente, seccionadas em quatro toretes de 2,5 m de comprimento, e marcadas para acompanhamento e controle no processo.

Os toretes foram transportados para uma serraria no mesmo município e desdobrados em pranchas de 5 cm x 40 cm x 250 cm (Figura 6 a). As tábuas utilizadas nesta pesquisa foram as centrais (Figura 6 b) devido à melhor estabilidade

dimensional das peças durante a secagem, proporcionada pela posição dos anéis de crescimento.

Figura 6. Desdobro das toras na serraria. a) Desdobro das toras em tábuas; b) Tábuas selecionadas.



Fonte: arquivo próprio, 2014.

As tábuas foram transportadas até o Campus da UDESC/CAV em Lages – SC, gradeadas, e expostas para secagem ao ar livre por três meses (Figura 7). Este período é fundamental em função da umidade natural da madeira, que é rapidamente perdida se secas imediatamente em estufa, e que poderia provocar rachaduras mais severas, assim como outros problemas de secagem.

Figura 7. Secagem das tábuas ao ar livre.



Fonte: arquivo próprio, 2014.

Após o período de secagem, as tábuas foram serradas em peças com dimensões de 5 cm x 40 cm x 50 cm, e colocadas em estufa de circulação forçada de ar. Foi utilizado um programa de secagem simples para diminuição de possíveis rachaduras e empenamentos. Este programa consistiu na mudança de temperatura e de ventilação durante o processo, que iniciou com temperatura de 40 °C e ventilação aberta. A cada dois dias a temperatura foi elevada 20 °C, e após 5 dias em 100 °C, a entrada de ar externo foi fechada. Passados 10 dias, iniciou-se o processo de diminuição da temperatura, que foi diminuída 20 °C a cada dois dias até atingir novamente 40 °C, permanecendo por mais 5 dias até a retirada e o transporte para a sala de climatização com temperatura (± 20 °C) e umidade relativa ($\pm 60\%$) controladas. Após o processo de secagem e estabilização das peças em laboratório, as amostras atingiram umidade de equilíbrio de 12%.

Por fim, as tábuas foram serradas em peças de 5 cm x 5 cm x 50 cm e levadas novamente para o laboratório, onde permaneceram até o momento da produção dos corpos de prova.

3.1.2 *Eucalyptus grandis*

A madeira de *E. grandis* utilizada nesta pesquisa foi proveniente de florestas plantadas no Estado do Rio Grande do Sul, e tinham entre 13 e 15 anos.

Já em tábuas, as peças ainda verdes de teor de umidade entre 100 e 120%, e com dimensões de 2,5 cm (espessura) x 20 cm (largura), foram transportadas para serraria, onde foram gradeadas para secagem (Figura 8 a). Primeiramente, foi feita secagem ao ar livre na qual as tábuas ficaram, em média, um mês expostas às intempéries para que as tensões fossem aliviadas. Nos casos em que as peças permanecem nesta fase por muito tempo, foram necessários banhos de água quente de modo que a secagem fosse homogênea. Com a exclusão deste banho, haveria maior possibilidade da madeira apresentar defeitos de secagem, como rachaduras e empenamentos, devido ao gradiente de umidade entre a superfície e o interior da peça. O banho de água quente fez com que a peça secasse por igual. Posteriormente, a madeira foi seca em estufa automatizada (Figura 8 b), onde o processo foi iniciado com 50 °C e finalizado com 70 °C. Nesta fase, as tábuas foram molhadas com água quente apenas no início do processo, sendo reduzida conforme o avanço da etapa, até que não fosse mais necessário.

Figura 8. Secagem: a) ao ar livre; b) em estufa.



Fonte: Arquivo próprio. 2015.

As tábuas foram secas até umidade de 10%, classificadas quanto aos defeitos, e encaminhadas para o processo de produção de MLC.

3.1.3 *Schizolobium parahyba* var *amazonicum* – paricá

As peças de madeira de paricá foram oriundas de árvores com idades de 6 e 10 anos, de florestas plantadas no Município de Aurora do Pará, e de árvores de 19 e 28 anos, no Município de Tomé-Açu, ambos no Estado do Pará. Após a derrubada das árvores de 6 e 10 anos, os toretes foram desdobrados (Figura 9 a) em pranchas de espessura de 5 a 16 cm para o aproveitamento máximo do torete, sendo, nesta pesquisa, utilizadas as peças de 6 cm de espessura. Em seguida, as pranchas foram armazenadas em forma de pilhas, de maneira que houvesse circulação de ar entre elas (Figura 9 b).

Figura 9. Esquema de armazenagem das pranchas de paricá.



Fonte: Adaptado de Terezo, 2010.

Para a secagem da madeira foram necessários 20 dias em estufa. Percebeu-se que não houve muitos problemas relativos a empenamentos e rachaduras. Possivelmente, o programa de secagem adotado, a espessura das peças e o bom

espaçamento entre os calços (tabique), tenham favorecido a estabilidade dimensional das peças durante o processo.

Após a derrubada, as toras das árvores de 19 e 28 anos foram transportadas para serraria e serradas em toretes de 2,5 m. Posteriormente, foram desdobradas em peças de variadas dimensões, sendo que as que foram utilizadas neste estudo tinham 6 cm x 6 cm x 240 cm após a secagem.

Foram necessários 15 dias para a secagem, tendo sido colocados tabiques entre as peças para facilitar a passagem do ar. Em seguida, foram posicionadas no centro da estufa. Após a secagem, poucas peças apresentaram rachaduras e empenamentos, que se deve, provavelmente, à grande espessura das peças e à ausência de defeitos como nós e medula.

As peças foram, então, doadas à UDESC/CAV e acondicionadas no Prédio da Mecanização Agrícola do CAV, até atingir a umidade de equilíbrio, de 12%.

De ambos os lotes, foram selecionadas 12 amostras, as quais, com o auxílio de uma serra circular, foram esquadrejadas de modo a apresentarem medidas de 6,0 cm x 6,0 cm x 25 cm. Também, teve-se o cuidado de marcar as peças para o processo de emenda.

3.2 ADESIVO

Os adesivos utilizados na confecção dos corpos de prova foram fornecidos por empresas do setor, sendo o Cascophen RS-216-M à base de Resorcinol-Formol cedido pela Momentive do Brasil, e as demais, Poliuretano Reativo e Melamina Ureia-Formol, por empresas do setor de MLC.

De acordo com o fabricante, o Cascophen é recomendado para colagens resistentes à água fria ou fervente, muitos solventes orgânicos, fungos e mofo, ao calor seco ou úmido, entre outros. Ele é obrigatoriamente usado em conjunto com o Preparado Endurecedor FM-6-M (em pó) na proporção

de 100 partes do adesivo para 20 partes do endurecedor. O Poliuretano Reativo (PUR) é um sistema de reação monocomponente que, após a aplicação solidifica-se em temperatura ambiente e sob ação da umidade do ar. Quando curado, não retorna à condição física anterior. A Melamina Ureia Formaldeído é um polímero comercializado sob a forma de pó, porque em soluções aquosas a sua vida útil é curta. Os adesivos à base de melamina são normalmente do tipo de cura a quente. No entanto, o adesivo utilizado necessitou somente de temperatura maior que 18 °C para a cura do adesivo. A gramatura utilizada foi a mesma adotada pelas empresas onde as amostras foram produzidas, as quais seguem as recomendações dos fabricantes do adesivo, tendo sido de 200 g/m² de poliuretano, e 400 g/m² para a resorcina e a melamina.

3.3 DELINEAMENTO EXPERIMENTAL

Na Tabela 12 apresenta-se o delineamento experimental, o qual compreendeu a produção de 279 corpos de prova de tração paralela às fibras, divididos em três geometrias, três espécies e três adesivos.

Tabela 12. Delineamento experimental. Tratamentos e variações dos corpos de prova.

Geometria	Espécie	Adesivo	Nº de CPs
A	Eucalipto	Resorcina	19
		Poliuretano	19
	Pinus	Resorcina	15
		Poliuretano	15
	Paricá	Resorcina	19
		Poliuretano	15
B	Eucalipto	Resorcina	15

		Melamina	15
Pinus		Resorcina	15
		Melamina	12
Paricá		Resorcina	15
		Melamina	13
Eucalipto		Resorcina	12
		Poliuretano	12
Pinus		Resorcina	20
		Poliuretano	15
Paricá		Resorcina	18
		Poliuretano	16
Total			279

Nº de CPs: número de corpos de prova.

As medidas de comprimento, largura do entalhe, largura da ponta do entalhe e ângulo de inclinação das geometrias e seu respectivo grau de enfraquecimento estão apresentados na Tabela 13 que exhibe as médias para cada geometria de fresa e espécie estudadas. Após conferência dos dados obtidos com a norma DIN 68140, foi verificado que as geometrias estudadas neste experimento se encaixam na classificação estrutural – I.

Tabela 13. Médias das variáveis geométricas obtidas por medição para cada espécie avaliada.

Geometria	Espécie	<i>l</i>	<i>t</i>	<i>b</i>	α	<i>v</i>
		mm	mm	mm	°	%
A	Eucalipto	20,48	6,05	1,14	5,12	18
A	Pinus	20,68	6,23	1,26	5,18	20
A	Paricá	20,89	6,31	1,35	4,98	21
B	Eucalipto	20,91	6,32	0,89	6,28	14
B	Pinus	20,84	6,33	1,05	5,88	16
B	Paricá	20,84	6,40	1,06	5,92	17

C	Eucalipto	19,81	6,19	1,13	5,72	18
C	Pinus	19,80	6,15	1,15	5,54	19
C	Paricá	19,89	6,21	1,16	5,65	19
DIN 68140/71	-	20	6,20	1	7,1	16
NBR 7190/2011	-	21	7,00	1	1:9	*

Sendo: l : comprimento do entalhe; t : largura da base; b : largura da ponta do entalhe; ν : grau de enfraquecimento. * Determinado a partir da fórmula: $[50 * b / (l * \text{tg}\alpha + b)] \leq 20$. Valor este que não deve exceder 0,2 em relação à resistência da madeira sem emenda e isenta de defeitos.

3.4 CONFECÇÃO DOS CORPOS DE PROVA

A produção dos corpos de prova foi realizada em duas empresas diferentes, bem como no CAV – UDESC, de modo que se obtivessem diferentes geometrias de fresa de emendas múltiplas. Além disto, foram utilizadas amostras das três espécies relatadas anteriormente, bem como os adesivos também já citados. Sendo assim, as variações foram relativas à geometria dos corpos de prova, tipo de adesivo, e espécies de madeira.

Os corpos de prova tinham dimensões de 2 cm x 5 cm x 45 cm, conforme proposta da NBR 7190/97, e sessão reduzida consoante com recomendação de Szücs et al (1998), em que afirmam que o ensaio de tração paralela é de difícil execução. De acordo com os autores, pela própria constituição interna do material, característica do corpo de prova e mecanismo utilizado neste ensaio, é comum o surgimento de problemas de esmagamento das extremidades do corpo de prova pelas garras da prensa ou de ruptura por concentração de tensões nas arestas da região próximo das garras (extremidades) que define a seção enfraquecida dos corpos de prova. Tendo em vista essas observações, foram executados corpos de prova cuja seção enfraquecida seja obtida pela usinagem em duas etapas de

mesma profundidade em cada uma delas. Com isto, os problemas de ruptura por concentração de tensão próximo às cabeças do corpo de prova é minimizado.

3.4.1 Fresagem

O processo de manufatura foi realizado por espécie. Assim, cada peça era destopada, fresada, colada e prensada, e só então, se iniciava a produção com outra. Os procedimentos de fabrico se iniciaram com a espécie de eucalipto, fornecida pelas empresas aonde foram realizadas as etapas supracitadas, seguido pelo pinus e paricá. Primeiramente, as peças foram destopadas para que estivessem à mesma distância da fresadora no momento da fresagem, de modo que todas elas ficassem com a mesma geometria. Em seguida, foram fresadas (Figuras 10 a e 10 b).

Figura 10. a) Destopo e fresagem do eucalipto; b) Aspecto das peças fresadas.



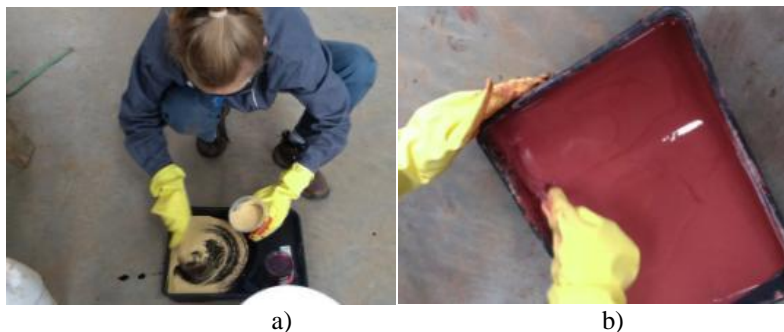
Fonte: Arquivo próprio, 2015.

3.4.2 Preparo e aplicação dos adesivos

O adesivo a base de resorcina foi feito a partir da mistura entre o pó endurecedor e o adesivo, para o qual foi utilizada balança digital, de modo que as porções de adesivo (100 partes) e pó (20 partes) fossem obtidas em conformidade

com as orientações do fabricante (Figuras 11a e 11b). A mistura foi realizada durante a fresagem, visto que este procedimento, fresagem, deve ser executado por funcionário capacitado.

Figura 11. Preparação do adesivo resorcina.



Fonte: Próprio autor, 2016.

Foram utilizados, também, os adesivos Poliuretano Reativo (PUR) e Melamina ureia formaldeído (MUF), fornecidos pelas empresas que cederam a fresa para a produção das amostras. Por serem monocomponentes, não necessitaram preparação ou mistura.

A aplicação do adesivo foi realizada com o auxílio de recipiente com capacidade de 500 g para ambas as resinas: resorcina e poliuretano (Figura 12 a). Para a aplicação do adesivo melamina foi utilizado um pedaço fresado de madeira embebido com a cola (Figura 12 b). Embora se tenha um valor de gramatura para cada adesivo, por conta do modo de aplicação não foi possível um controle da quantidade exata utilizada. Com o adesivo na peça, foi feita união manual de topo para acelerar a penetração da cola na madeira (Figura 13).

Figura 12. a) Aplicação do adesivo resorcinol; b) Aplicação da melamina.



Fonte: arquivo próprio, 2015.

Figura 13. União manual de topo.

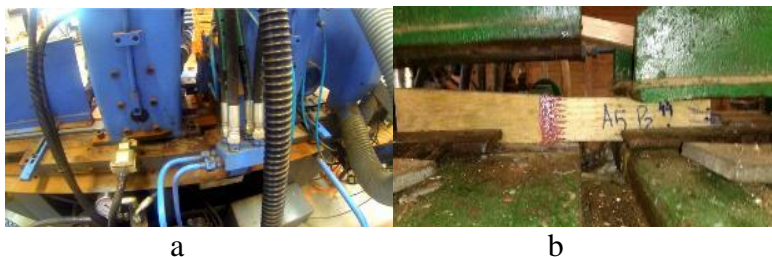


Fonte: arquivo próprio, 2015.

3.4.3 Prensagem

A prensagem final das emendas das geometrias A e B foi efetuada com o auxílio de prensa hidráulica automática (Figuras 14 a e b).

Figura 14. Prensa hidráulica utilizada na prensagem das peças da a) geometria A, e b) geometria B.



Fonte: arquivo próprio, 2015.

Para a geometria C, a prensagem final das amostras foi realizada utilizando-se uma prensa hidráulica de pressão manual “Charlott” com capacidade de 100 toneladas. Anterior à montagem das peças na prensa, chapas de ferro foram presas por sargentos na área dos entalhes de forma a conter o deslizamento lateral dos mesmos durante a prensagem, e não permitir que as amostras apresentassem qualquer tipo de empenamento (Figura 15).

Figura 15. Contenção lateral.



Fonte: Acervo próprio, 2016.

Por não ser possível realizar a leitura da carga que estava sendo aplicada pela prensa, foi acoplada uma célula de carga de leitura por meio de equipamento de aquisição de dados modelo MX440A, e utilizado os softwares Catman Easy e Quantum X. Na Figura 16 pode ser visualizada amostra pronta para a prensagem com a célula de carga acoplada.

Figura 16. Prensagem de corpo de prova de pinus.



Fonte: Acervo próprio, 2016.

Para cada geometria e espécie foi utilizada pressão diferente (Tabela 14), as quase foram determinadas por meio de pré-testes, tendo sido considerado, para tal, a densidade da madeira e a geometria.

Tabela 14. Pressões de colagem utilizadas.

Geometria	Espécie	Pressão de colagem (MPa)
A	Eucalipto	1,50
	Pinus	0,50
	Paricá	0,80
B	Eucalipto	3,90
	Pinus	2,90
	Paricá	2,90
C	Eucalipto	0,60
	Pinus	0,99
	Paricá	0,58

Para o caso da geometria A, em particular, o pinus e o paricá apresentaram baixa resistência à pressão de colagem, e sofreram ruptura nos entalhes, como mostra a Figura 17. Isto aconteceu devido à dimensão das peças, de 2 cm x 5 cm, que não suportou a pressão aplicada pela prensa. Desse modo, foi necessário utilizar amostras com medidas maiores, de 5 cm x 5 cm, para que pudesse ser feita a prensagem sem que houvesse risco de rompimento nos entalhes. Estas dimensões foram utilizadas também para as demais geometrias.

Figura 17. Rompimento dos entalhes dos corpos de prova devido à alta pressão de colagem.



Fonte: arquivo próprio, 2015.

Por fim, os corpos de prova colados e prensados foram depositados em local apropriado onde permaneceram imóveis até a cura dos adesivos. Nas Figuras 18 a) e b) podem ser visualizados os resultados após a prensagem.

Figura 18. Aspecto das amostras após a prensagem.



a)

b)

Para a cura da melamina foi necessária temperatura maior que 18 °C, obtida por cobertura com lona, que promove uma condição de efeito estufa. Os demais adesivos atingem a cura à temperatura ambiente. Todavia, teve-se o cuidado de realizar os procedimentos de produção das amostras em dias de temperatura amena. Para a geometria C, embora a fabricação

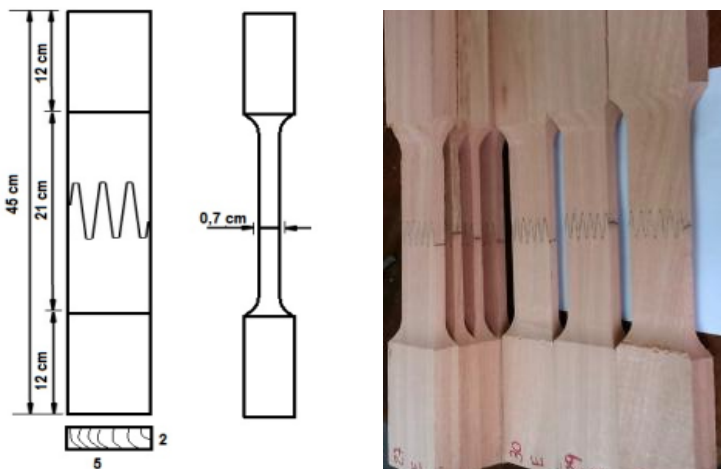
das peças tenha sido realizada em um dia de muito frio, imediatamente após a prensagem os corpos de prova foram levados para o laboratório com temperatura constante de 20 °C, suficiente para que a cola endurecesse.

No momento da prensagem ocorreu um escorrimento do adesivo para fora da peça. Desta forma, o aplainamento foi necessário, uma vez que deixa a peça final com geometria homogênea (lisa), facilitando o processo de usinagem realizado após a cura do adesivo e aplainamento das amostras.

3.5 USINAGEM

Com as peças prontas, os corpos de prova foram levados para a marcenaria a fim de serem usinados. A usinagem consta em transformar a peça no corpo de prova final que será utilizado para a realização dos testes, neste caso tração paralela às fibras, sendo que as dimensões e a geometria final do corpo de prova seguiram as recomendações da NBR 7190 (1997). Na Figura 19 (a) estão representados os tamanhos e os traçados de acordo com a referida norma. A Figura 19 (b) ilustra os corpos de prova adaptados, onde a seção é reduzida em ambos os sentidos, em duas etapas.

Figura 19. (a) Corpo de prova de tração paralela recomendado pela NBR 7190: 1997. (b) Aspecto final das amostras.



a) Geometria do corpo de prova. b) Aspecto do corpo de prova final.

Fonte: a) NBR 7190: 1997 – Anexo B. b) Arquivo próprio, 2016.

Os corpos de prova de tração paralela às fibras de eucalipto apresentavam, quando do término da produção na indústria, 2 cm x 5 cm x 50 cm, e as peças de pinus e paricá, 5 cm x 5 cm x 50 cm. Usinadas, houve alteração das dimensões para 2 cm x 5 cm x 45 cm nas extremidades, com diminuição da seção na área central da peça onde se localizam as emendas por entalhes múltiplos, que passa a ser de 0,7 cm (espessura) x 3,5 cm (largura) (Figura 20).

As peças com espessura de 5 cm tiveram sua seção reduzida para 2 cm. Em seguida, com o auxílio de uma tupa de alta rotação, as amostras tiveram a seção da emenda reduzida, obtendo-se o corpo de prova com as dimensões finais, como apresentado na Figura 20 (b).

3.6 LEITURA DAS VARIÁVEIS GEOMÉTRICAS

A partir da fresagem as variáveis geométricas foram medidas com auxílio de paquímetro de calibre digital “Digimes” com variação de 0 a 150 mm. Os dados coletados são mostrados na Figura 20.

Os demais valores, como ângulo e grau de enfraquecimento, foram calculados por meio do uso das fórmulas já citadas anteriormente. As médias das variáveis obtidas podem ser visualizadas na Figura 20 e na Tabela 15.

Figura 20. Medidas das variáveis geométricas obtidas para todas as geometrias.

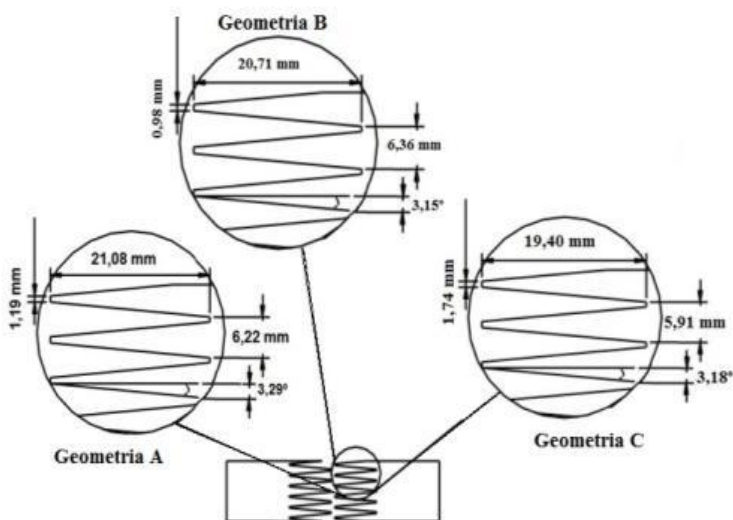


Tabela 15. Médias das variáveis geométricas obtidas por medição.

Geometria	l (mm)	t (mm)	b (mm)	α (°)
A	20,68	6,20	1,25	5,09
B	20,86	6,35	1,00	6,03
C	19,83	6,18	1,15	5,64

Sendo: l = comprimento do entalhe;

t = largura do entalhe;

b = largura da ponta do entalhe;

α = ângulo de inclinação.

3.7 ENSAIOS DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Os ensaios de tração paralela às fibras seguiram os preceitos estabelecidos pela NBR 7190 (1997). As operações foram processadas com o auxílio da Máquina Universal de Ensaio, modelo Emic DL 30000. A velocidade de carregamento seguiu os critérios da norma citada, que deve ser monotônica crescente a uma taxa de 10 MPa/min. Devido à disponibilidade de equipamento, os ensaios foram realizados no Laboratório de Tecnologia da Madeira da Universidade Federal do Paraná – LTM/UFPR.

Anteriormente ao ensaio os corpos de prova, transportados de Lages (SC) para Curitiba (PR), foram pesados. Após o ensaio, as amostras foram secas até massa constante e pesadas novamente. A partir disto, foi possível determinar o teor de umidade das peças no momento do ensaio, e posteriormente, calculados os resultados a 12% de umidade – umidade de equilíbrio –, conforme sugere a NBR 7190/1997.

Os resultados obtidos dos ensaios foram: Tensão de colapso (5%) (kgf/cm²), Tensão máxima (kgf/cm²), Módulo de elasticidade (kgf/cm²), e Força máxima (kgf). Os dados

utilizados para a análise do experimento foram de tensão máxima, convertidos para MPa.

A classificação dos modos de ruptura das peças submetidas ao ensaio de tração paralela às fibras foi feita por contagem do número de ocorrências de cada tipo de ruptura, descritos na Tabela 11, apresentada na revisão bibliográfica (pág. 81).

3.8 DENSIDADE BÁSICA DA MADEIRA

Posteriormente aos testes de tração, as extremidades dos corpos de prova foram serradas para o teste de densidade. Todavia, por conta do equipamento do laboratório do CAV, no qual as garras que seguram a cabeça das amostras não aceitam espessura superior a 1,7 cm, as dimensões utilizadas foram de 1,7 cm x 3 cm x 5 cm, como mostra a Figura 21. A determinação da densidade foi feita para posterior comparação com os resultados mecânicos de tração paralela, bem como, que estes pudessem responder a possíveis dúvidas relacionadas ao desempenho das diferentes espécies.

Figura 21. Medição de corpo de prova.



Foto: Próprio autor, 2016.

Os procedimentos para obtenção das densidades básica e aparente da madeira consistiram na mensuração e pesagem

dos corpos de prova com umidade de equilíbrio, 0%, e saturados. Primeiramente, as amostras foram medidas e pesadas com umidade de equilíbrio. Posteriormente, a saturação demandou 3 meses de imersão em água, e a secagem a 0%, realizada após a saturação, exigiu 7 dias em estufa de circulação de ar forçado a 103 ± 2 °C. Entre os processos de perda e ganho de água foram feitas as medições e pesagens. A densidade básica foi calculada pela seguinte fórmula:

$$\rho_{bas} = \frac{ms}{vv} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Onde: ρ_{bas} = densidade básica
 ms = massa seca a 0% de umidade
 vv = volume verde (saturado)

A densidade aparente foi determinada a partir da fórmula abaixo:

$$\rho_{ap} = \frac{map}{vap} \text{ (g/cm}^3\text{)}$$

Onde: ρ_{ap} = densidade aparente
 map = massa no teor de umidade de equilíbrio.
 vap = volume no teor de umidade de equilíbrio.

3.9 CÁLCULO DA PERDA DE RESISTÊNCIA

A perda de resistência é calculada a partir dos resultados dos ensaios de tração paralela às fibras dos corpos de prova maciços e com entalhes múltiplos. As equações utilizadas são as que seguem:

$$v = \frac{b}{t}$$

Onde: v : grau de enfraquecimento; b : espessura da ponta; t : largura da base.

*Resistência esperada = resistência madeira maciça * v*

Onde: v : grau de enfraquecimento.

*Perda de resistência (%) = 100 - $\frac{\text{resistência real} * 100}{\text{resistência madeira maciça}}$*

Ainda, foi feita regressão múltipla dos fatores a fim de se estimar a resistência final das junções por entalhes múltiplos a partir das variáveis utilizadas no experimento. Para este caso foram levadas em consideração as variáveis que apresentaram correlação, conforme descrito na seção 4.8.

3.10 ANÁLISE ESTATÍSTICA DOS DADOS

Para a análise estatística foram empregados os testes de normalidade por Kolmogorov-Sminorv e por Shapiro-Wilk, teste de homogeneidade das variâncias por Bartlett, e ANOVA com 95% de significância para o teste de Tukey. Para os dados não normais e/ou não homogêneos, foi aplicada transformação dos dados. Também, foi feita análise de correlações. Os softwares utilizados para a estatística foram o Suplemento Action no Excel, e o programa Statgraphics[®].

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste capítulo são apresentados e discutidos de forma quantitativa e qualitativa os resultados alcançados pela pesquisa. Estes resultados referem-se a: variáveis de resposta resistência à tração paralela às fibras, e perda de resistência, em função da influência das variáveis pressão de colagem, densidade básica, geometria, espécie de madeira, adesivo utilizado e modos de ruptura, os quais foram analisados separadamente.

4.1 RESISTÊNCIA À TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

A Tabela 16 apresenta a análise de variância realizada para os resultados de resistência à tração paralela às fibras pela madeira maciça.

Tabela 16. Quadro de ANOVA dos resultados da madeira maciça.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	2	1724,13	862,07	3,8231
Resíduo	43	9695,97	225,49	
Total	45	11420,10		

Onde: FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio.

Na Tabela 17 são apresentados os valores médios de resistência da madeira maciça à tração paralela às fibras, relacionados às espécies de madeiras utilizadas.

Tabela 17. Médias de resistência à tração paralela às fibras (MPa) das amostras de madeira maciça.

Geometria	Espécie	Tensão (MPa)
Maciço	Eucalipto	53,33 a
	Pinus	44,48 ab
	Paricá	38,24 b

Realizado a 95% de significância para o teste de Tukey.

Os resultados apresentados na Tabela 18 indicam que a resistência da madeira maciça de eucalipto (53,33 MPa) foi diferente estatisticamente da espécie paricá (38,24 MPa), mas similar aos resultados do pinus (44,48 MPa). A análise estatística mostra, ainda, que o pinus e o paricá não diferiram significativamente entre si.

Verifica-se que os resultados encontrados nesta pesquisa foram menores que as encontradas por outros autores, como Logsdon (1998), que apresentou resultados de resistência à tração paralela de *P. taeda* de cerca de 80 MPa, e, de *E. grandis*, pouco mais de 71 MPa. Também, Graeff (1995), estudando a madeira de 20 anos de *Pinus elliottii* e *Pinus taeda*, encontrou valores de resistência à tração paralela às fibras de 38,19 MPa e 53,04 MPa, respectivamente. Ainda, o Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo (IPT) (1976) obteve valores de 49 MPa para o *P. elliottii* e 37 MPa para o *P. taeda*.

Tabela 18. Quadro de ANOVA dos resultados da madeira com emendas múltiplas.

FV	GL	SQ	QM	F
Tratamentos	17	37662,27	2215,43	23,0519
Resíduo	249	23930,44	96,11	
Total	266	61592,71		

Onde: FV: Fonte de variação; GL: Graus de liberdade; SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio.

Quanto aos resultados obtidos nas amostras com entalhes múltiplos (Tabela 19), constatou-se que a espécie *E. grandis* da geometria B apresentou, para ambos os adesivos utilizados na colagem, Melamina (59,57,83 MPa) e Resorcina (67,55 Mpa), resistência média superior à da madeira maciça. Neste caso, considera-se a influência das variáveis geometria dos entalhes, espécie de madeira utilizada e tipo de adesivo.

Tabela 19. Médias de resistência à tração paralela às fibras (MPa) dos corpos de prova com emenda por entalhe múltiplo.

Geometria	Espécie	Adesivo	Tensão (MPa)
A	Eucalipto	Poliuretano	19,78 b
		Resorcina	24,48 b
	Pinus	Poliuretano	17,98 b
		Resorcina	24,48 b
	Paricá	Poliuretano	19,84 b
		Resorcina	31,08 b
B	Eucalipto	Melamina	59,57 a
		Resorcina	67,55 a
	Pinus	Melamina	31,15 b
		Resorcina	25,25 b
	Paricá	Melamina	31,76 b
		Resorcina	32,20 b
C	Eucalipto	Poliuretano	28,01 b
		Resorcina	33,01 b
	Pinus	Poliuretano	26,68 b
		Resorcina	25,83 b
	Paricá	Poliuretano	26,27 b
		Resorcina	30,09 b

Realizado a 95% de significância para o teste de Tukey.

Este resultado deve-se, provavelmente, ao lote de madeira utilizado para os ensaios, haja vista que apenas o lote da geometria B apresentou valor médio de resistência à tração estatisticamente diferente dos valores médios das demais (geometrias A, C e maciço). Também, deve-se levar em consideração a influência da pressão de colagem utilizada para produção das emendas, que interferiu na resistência final das emendas, como será descrito e analisado na seção 4.4 (efeito da pressão de colagem sobre a resistência das emendas). Ainda, analisando-se apenas os resultados de resistência à tração paralela às fibras, por meio do teste de Tukey a 95% de significância, constatou-se que apenas o eucalipto da geometria B se diferenciou significativamente dos demais, possivelmente devido aos mesmos fatores mencionados anteriormente.

Serrano (2009) obteve resistência de 50,04 MPa para amostras com emendas da espécie *E. grandis*, inferior ao demonstrado pelos resultados desta pesquisa para a mesma espécie na geometria B (63,56 MPa), e superior aos das geometrias A (22,13 MPa), e C (30,51 MPa). A autora encontrou, também, valor médio de 68,39 MPa para amostras sem emendas, superior ao resultado encontrado nesta pesquisa. Vidaurre (2010) avaliou a resistência do paricá de 5 a 11 anos, e verificou resistência de 72 MPa. Almeida et al (2013) observaram que as amostras de paricá de 10 anos avaliadas resistiram 40 MPa às solicitações de tração paralela às fibras. Também, Terezo et al (2015) apresentaram resultados de tração paralela às fibras em amostras de paricá maciço de 61,5 MPa para idades de 6 a 28 anos.

Contudo, esta diferença pode estar relacionada às condições de sítio de crescimento das árvores, fatores como a idade, características intrínsecas da madeira, como a anatomia e propriedades físicas e mecânicas, bem como aos processos de produção das amostras, que muito interferem na resistência.

4.2 EFEITO DA ESPÉCIE DE MADEIRA UTILIZADA SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS

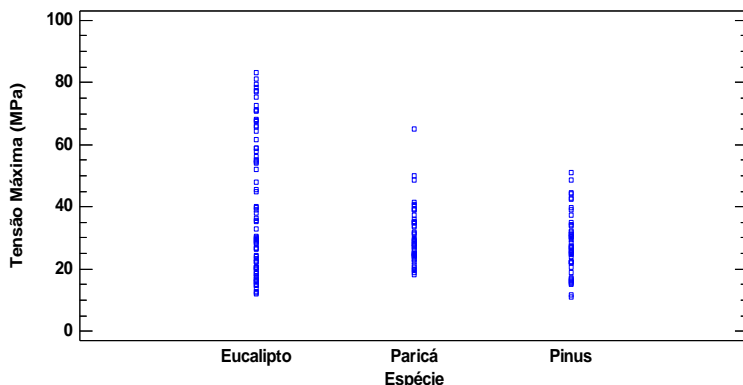
Da Tabela 20 pode-se verificar, por meio do valor de P, que o fator espécie tem um efeito estatisticamente significativo sobre a Tensão Máxima (MPa). A Figura 22 mostra que este efeito é, provavelmente, devido à resistência do eucalipto da geometria B, que apresentou valores médios de resistência à tração estatisticamente superior às médias das demais espécies avaliadas (Tabela 19).

Tabela 20. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sobre efeito da Espécie.

	SQ	QM	F	P valor
Efeito Principal:				
Espécie	5088,04	2544,02	8,92	0,0146
Resíduo	49899,3	285,139		
Total (Corrigido)	54987,3			

Onde: SQ: Soma dos quadrados; QM: Quadrado médio.

Figura 22. Gráfico de dispersão dos valores de Tensão para as espécies de madeira.



A Tabela 21 apresenta as médias de resistência à tração paralela às fibras para cada uma das espécies avaliadas. Verifica-se que o eucalipto e o paricá não apresentaram diferença significativa, assim como o paricá e o pinus. Já para o eucalipto e o pinus, constatou-se diferença entre as médias.

Tabela 21. Teste múltiplo das médias de Tensão Máxima (MPa) pela espécie.

Espécie (MPa)	Médias de Tensão (MPa)
Eucalipto	38,89 a
Paricá	29,28 ab
Pinus	27,16 b

Teste de Tukey realizado a 95% de significância.

Os testes realizados entre espécie x tensão máxima revelaram que não houve diferença entre as espécies eucalipto e paricá, paricá e pinus, mas com diferença entre o eucalipto e o pinus. Portanto, considera-se que esta diferença ocorre porque para a análise da densidade as espécies de eucalipto

foram analisadas separadamente entre as geometrias A-C e a B, uma vez que a B provinha de lote separado das outras. Diferentemente, na análise da espécie não houve separação de lotes, o que fez com que os resultados de resistência do eucalipto das geometrias A e C puxassem as médias da espécie da geometria B para baixo. Assim, as médias de resistência do eucalipto não apresentaram diferença significativa das do paricá.

4.3 EFEITO DA DENSIDADE DA MADEIRA SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS

É reconhecido que a densidade é um fator determinante quando se trata da resistência da madeira, pois dela dependem a maior parte de suas propriedades físicas e tecnológicas. Sendo referência para a classificação da madeira, foi analisado seu efeito neste experimento.

Por meio da Análise de Variância realizada, verifica-se que a densidade básica tem efeito significativo na resistência à Tração Paralela às Fibras, como pode ser observado na Tabela 22.

Tabela 22. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sob efeito da Densidade básica.

	SM	QM	F	P valor
Efeito Principal: Densidade (g/cm^3)	34520,2	11506,7	97,82	0,000
Resíduo	20467,1	117,627		
Total (Corrigido)	54987,3			

Onde: SM: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio.

Ainda, pode-se perceber por meio da Tabela 23, que apenas a DB apresentou diferença estatística isolada das

demaís, o que pode ser visualizado também pela Figura 23, que mostra a dispersão dos valores para a Tensão Máxima e a Densidade básica das amostras.

Figura 23. Gráfico de dispersão dos valores de Tensão para as densidades da madeira.

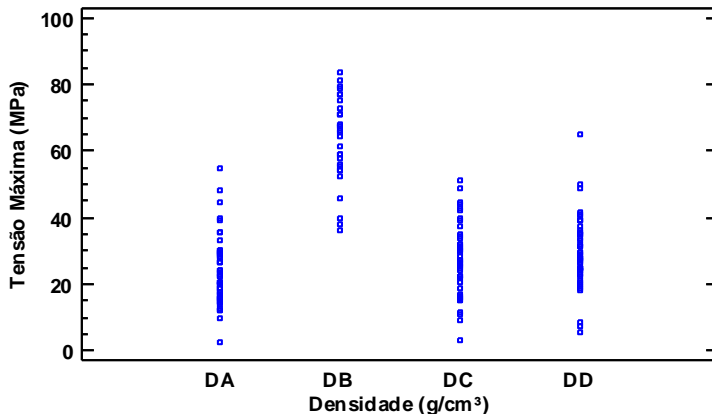


Tabela 23. Teste múltiplo de comparação das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Densidade básica (g/cm³).

Espécie (MPa)	Médias (g/cm³)
DB	0,493 a
DA	0,418 b
DC	0,341 bc
DD	0,271 c

Onde: DA: Densidade do eucalipto dos lotes das geometrias A e C; DB: Densidade do eucalipto do lote da geometria B; DC: Densidade do pinus; DD: Densidade do paricá.

Teste de Tukey realizado a 95% de significância.

Observa-se que os maiores valores de tensão são provenientes dos corpos de prova com densidade básica maiores. Apesar de os menores resultados de resistência à tração não terem sido de densidade mais baixa, as amostras que

apresentaram menor densidade suportaram uma carga de tensão de tração próximas da média geral, obtendo, assim, uma relação moderada entre as variáveis.

A NBR 7190/1997 apresenta densidade básica do *Eucalyptus grandis* de 0,640 g/cm³, assim como 0,645 g/cm³ para a espécie *Pinus taeda*. Terezo (2010) encontrou densidade de 0,311 g/cm³ para o *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá). Embora as densidades das madeiras desta pesquisa tenham sido inferiores quando comparadas à bibliografia, pode-se considerar que as amostras não são da mesma origem, e, provavelmente, apresentam idades diferentes, como afirmam Panshin & De Zeeuw (1964) *apud* Klitzke (2007), que sustentam que a densidade resulta da interação entre as propriedades químicas e anatômicas da madeira. Outros fatores externos à árvore como: idade, local de crescimento, clima, solo, espaçamento e tratamentos silviculturais também influenciam na densidade.

No estudo desenvolvido por Ayarkwa et al (2000) com três espécies de madeira tropical africana, ao avaliar o efeito do tipo de adesivo nas propriedades de tração, determinaram que o desempenho da emenda está relacionado com a densidade da madeira, apresentando maior eficiência na espécie de menor densidade (0,351 g/cm³), e média eficiência na espécie de densidade média (0,677 g/cm³). A estrutura anatômica, a constituição química e a densidade da madeira de uma espécie influenciam diretamente na colagem. A influência da estrutura anatômica está relacionada às diferenças das dimensões dos elementos celulares, disposição e frequência, que por sua vez vão afetar a mobilidade e penetrabilidade do adesivo na madeira. A densidade está relacionada com a porosidade exercendo influência direta na colagem (ALBINO, 2010).

Ainda, verifica-se que o pinus apresentou as menores médias de resistência para todas as geometrias e adesivos avaliados, embora não tenha apresentado diferença estatística quando comparado com o paricá. Sabendo-se que a densidade

influencia a absorção do adesivo pela madeira, acredita-se ter sido uma fonte de variação, visto que o pinus apresenta anéis de crescimento bem distintos, os quais têm diferentes densidades e, portanto, diferente comportamento de uma mesma peça sobre a absorção de adesivo. Volkmer et al (2014) perceberam que devido à distribuição dos vasos e às diferenças de densidade, a penetração do adesivo é mais profunda na madeira de lenho inicial que na de lenho tardio.

Dado que uniões de madeira em componentes estruturais devem resistir a elevadas tensões, a resistência mecânica é um dos principais requisitos de desempenho. A resistência dos entalhes é controlada por parâmetros específicos do processo, tais como teor de umidade e temperatura da madeira, os parâmetros de usinagem, diversos fatores relativos à madeira como espécie, densidade, defeitos naturais, assim como os demais relacionados com os processos de colagem (BUSTOS et al, 2003a, KARASTERGIU & NTALOS 2005, ST-PIERRE *et al.* 2005, DAGENAIS & SALENIKOVICH 2008, VASSILIOU *et al.* 2009).

4.4 EFEITO DA PRESSÃO DE COLAGEM SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS

Foi realizada análise de variância (Tabela 24) a fim de se determinar a influência da pressão de colagem utilizada sobre a resistência obtida pelo teste de tração paralela às fibras.

Tabela 24. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa)

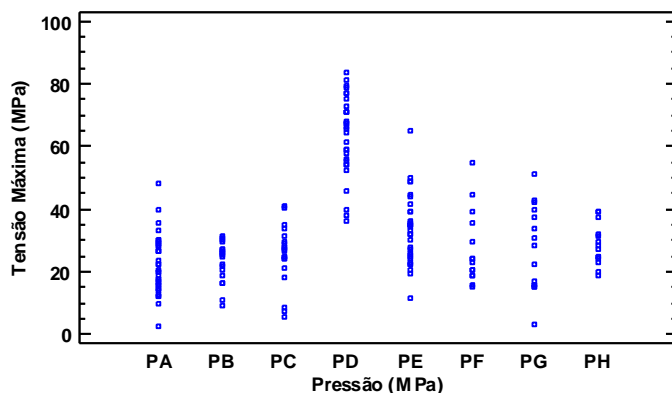
	SM	QM	F	P valor
Efeito				
Principal:	36117,3	5159,62	46,48	0,000
Pressão (MPa)				
Resíduo	18870,0	111,0		
Total	54987,3			
(Corrigido)				

Onde: SM: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio.

Da Tabela 24 pode-se verificar, por meio do valor de P, que este fator tem um efeito estatisticamente significativo sobre a resistência à tensão de tração paralela às fibras.

A Figura 24 mostra que este efeito é, provavelmente, devido à pressão de colagem utilizada para o *E. grandis* na geometria B (PD), que foi de 3,9 MPa.

Figura 24. Gráfico de distribuição dos valores de tensão para a pressão utilizada.



Onde: PA: 1,5 MPa; PB: 0,5 MPa; PC: 0,8 MPa; PD: 3,9 MPa; PE: 0,6 MPa; PG: 0,58 MPa; PH: 0,95 MPa.

Na Tabela 25 são apresentados os resultados de pressão de colagem (MPa) pelo acompanhamento dos manômetros das prensas (geometrias A e B), e pela célula de carga (geometria C). Nestes foi aplicado o teste de Tukey a 95% de significância, do qual nota-se que houve diferença estatística apenas para o PD (eucalipto da geometria B), uma vez que o PE (pinus e paricá da geometria B) não apresentou diferença das variáveis PC, PF, PG e PH.

Tabela 25. Teste múltiplo das médias de Tensão Máxima (MPa) pela Pressão (MPa).

Grupos	Espécie - Geometria	Médias de Pressão (MPa)
PD	Eucalipto – B	3,90 a
PE	Pinus e paricá – B	2,90 b
PH	Paricá – C	0,95 bc
PC	Paricá – A	0,80 bc
PF	Eucalipto – C	0,60 bc
PG	Pinus – C	0,58 bc
PA	Eucalipto – A	1,50 c
PB	Pinus – A	0,50 c

Teste de Tukey realizado a 95% de significância.

Na prensagem das peças foi utilizada pressão de colagem relativa à densidade da madeira, uma vez que, se utilizada a mesma pressão para todas as espécies, as amostras provavelmente não teriam suportado a carga aplicada e fendilhariam nos entalhes, como foi observado no início da produção dos corpos de prova da geometria A.

Embora a pressão de colagem tenha sido aplicada de acordo com a densidade da madeira, a força utilizada foi menor que a sugerida pela norma alemã DIN 68140/71, que se baseia no comprimento dos entalhes. Entretanto, deve-se considerar que a proposta de pressão de colagem da referida norma alemã

foi feita com base em estudos realizados com madeiras de crescimento relativamente mais lento que as produzidas no Brasil. Portanto, mesmo quando utilizada a mesma espécie para estudo, a diferença de densidade será considerável, haja vista que árvores de crescimento mais lento tendem a ter maior densidade por apresentarem anéis de crescimento primaveril menos espessos.

No Brasil, a norma ABNT NBR 7190: 2011 (versão em implementação) recomenda pressão mínima de 0,7 MPa para madeiras de densidade inferior ou igual a 0,5 g/cm³, e 1,2 MPa para madeiras de densidade superior a 0,5 g/cm³. As pressões utilizadas nesta pesquisa variaram de 0,6 a 3,9 MPa para o eucalipto (densidade de 0,418 g/cm³ a 0,493 g/cm³ respectivamente); 0,8 a 2,9 MPa para o pinus ($\rho_{bas} = 0,341$ g/cm³) e 0,5 a 2,9 MPa para o paricá ($\rho_{bas} = 0,271$ g/cm³). Ou seja, também menores quando comparadas à NBR 7190:2011. Segundo Castro & Paganini (1997), em qualquer caso, menores pressões de colagem podem dar ótima eficiência às ligações e, efetivamente, maiores pressões parecem resultar em piores desempenhos mecânicos. Fato constatado também por outros autores, como Juvonen (1980), que sugere ser preferível não aplicar pressões de colagem muito altas.

De acordo com Henriques et al (2002), para madeiras de densidade inferior ou igual a 0,5 g/cm³ deve-se utilizar uma pressão de colagem igual a 0,7 MPa, e para madeiras de densidade superior a 0,5 g/cm³, pressão igual a 1,2 MPa, ou então atender às recomendações do fabricante da cola. Szüics (1992) relata que para o adesivo de ureia formaldeído, a França recomenda de 0,7 MPa a 1 MPa para junta fina, e 0,3 MPa a 0,5 MPa para junta espessa. Ainda segundo o autor, o Canadá recomenda aplicação de 0,7 MPa.

Serrano (2009), avaliando a resistência de amostras de emendas múltiplas de *E. grandis*, nas quais foi utilizada pressão de colagem de 2,6 MPa, observou resultados de 50,04 MPa. Verifica-se que se o resultado obtido pela autora se

aproxima das médias da geometria B para a mesma espécie, a qual teve maior pressão de colagem aplicada neste estudo, corroborando com a proposta de que a pressão de colagem foi um dos fatores que mais interferiram nos resultados das amostras com emendas de resistência à tração paralela.

4.5 EFEITO DO ADESIVO UTILIZADO SOBRE A RESISTÊNCIA DAS EMENDAS

Da Análise de Variância realizada, verifica-se que o adesivo apresentou efeito significativo na resistência à Tração Paralela às Fibras, como pode ser visto na Tabela 26.

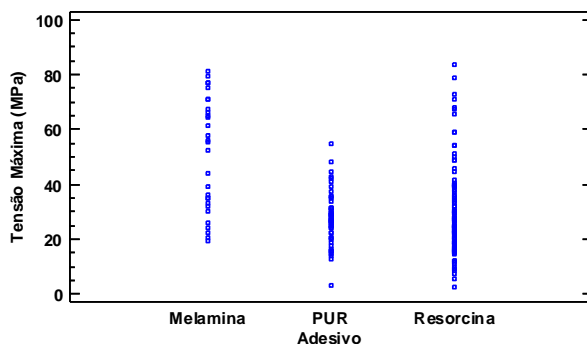
Tabela 26. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sobre efeito do Adesivo.

	SM	QM	F	P valor
Efeito Principal:				
Adesivo	11408,2	5704,09	22,91	0,000
Resíduo	43579,1	249,024		
Total (Corrigido)	54987,3			

Onde: SM: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio.

Da mesma forma, a Figura 25 mostra como as médias de tensão de tração se distribuíram de acordo com o adesivo utilizado. Observa-se que as amostras que apresentaram a maior e menor médias foram as produzidas com o adesivo a base de resorcina, sendo que a média dos resultados foi baixa, com 30,51 MPa. Ainda, os corpos de prova produzidos com o adesivo poliuretano não tiveram resultados maiores que 60 MPa, e a média foi inferior aos demais adesivos avaliados, com 27,63 MPa.

Figura 25. Distribuição dos resultados de resistência à tração paralela de acordo com o adesivo utilizado.



Sendo: Melamina: Melamina ureia formaldeído; PUR: Poliuretano Reativo; Resorcina: Resorcina fenol formaldeído.

A Tabela 27 apresenta o teste de médias dos resultados de tensão para cada adesivo utilizado. Verifica-se que não houve diferença estatística entre os adesivos resorcina e poliuretano. Contudo, apesar de as amostras com adesivo de melamina terem sido estatisticamente diferentes das demais, acredita-se que a média de tensão foi superior devido, principalmente, ao eucalipto (geometria B) ter sido proveniente de um lote diferente dos demais, embora para as outras espécies avaliadas (com exceção do paricá – B) as médias também terem sido superiores.

Tabela 27. Teste múltiplo das médias de Tensão Máxima (MPa) pelo Adesivo utilizado.

Adesivo (MPa)	Médias de Tensão (MPa)
Melamina*	50,89 a
Resorcina	30,51 b
Poliuretano**	27,63 b

Teste de Tukey realizado a 95% de significância. * Melamina foi utilizada apenas para a geometria B. ** Poliuretano não foi utilizado para a geometria B.

Pesquisando a resistência à tração paralela em amostras com entalhes múltiplos de *P. caribea hondurensis* e *E. grandis* colados com diversos adesivos, Azambuja (2006) obteve valores de 55,6 MPa, 26,6 MPa e 46,1 MPa respectivamente para corpos de prova de *P. caribea hondurensis* colados com Cascophen (resorcina), Melamina ureia formaldeído e Purbond (poliuretano). Já para o *E. grandis*, resultados de 56,4 MPa, 49,8 MP e 64,1 MPa para os mesmos adesivos. Para amostras de madeira maciça, o autor encontrou valores de 79,5 MPa e 77,4 MPa respectivamente para *P. caribea hondurensis* e *E. grandis*. Constata-se que, para ambas as espécies, os resultados desta pesquisa com o adesivo melamina apresentaram média superior, tendo os demais apresentado média inferior às encontradas pelo autor. Marin (2006), utilizando madeira da espécie *Pinus hondurensis*, encontrou resistência à tração paralela às fibras de 55,60 MPa quando utilizado adesivo Cascophen (resorcina), 45,67 MPa para o poliuretano, e 26,60 MPa para a melamina. Também, os valores apresentados por Longsdon (1998) mostram resistência à tração paralela de *P. taeda* de cerca de 80 MPa, e, de *E. grandis*, pouco mais de 71 MPa. Embora os resultados desta pesquisa tenham sido inferiores aos da bibliografia consultada, reitera-se que esta diferença pode estar relacionada às características da madeira, como a anatomia e propriedades físicas e mecânicas, bem como às etapas de produção das amostras. Apesar disto, sugere-se que a pressão de colagem utilizada tenha sido a principal causa para os resultados obtidos, uma vez que não se teve controle sobre este fator e, portanto, propõe-se, para futuras pesquisas, que o mesmo seja controlado quando da produção de entalhes múltiplos.

A versão em implementação da Norma Brasileira de Estruturas em Madeira NBR 7190/2011 sugere pressões de

colagem de 0,7 MPa para madeiras de densidade inferior ou igual a $0,5 \text{ g/cm}^3$ e de 1,2 MPa para madeiras de densidade superior a $0,5 \text{ g/cm}^3$. Entretanto, recomenda-se que a pressão a ser utilizada para a colagem de entalhes múltiplos seja pré-determinada por meio de testes. Deste modo, a força aplicada será relativa à densidade da madeira empregada, assim como à geometria dos entalhes, sendo, então, uma pressão ótima.

4.6 EFEITO DA GEOMETRIA DOS ENTALHES SOBRE O GRAU DE ENFRAQUECIMENTO DAS EMENDAS

Quanto ao grau de enfraquecimento, observa-se que o eucalipto da geometria B apresentou o menor valor (14%). Com exceção das espécies avaliadas para a geometria B, todos os demais (geometrias A e C,) ultrapassaram os 16% propostos pela DIN 68140 (Tabela 28). Apesar disto, verifica-se que as características geométricas mensuradas são muito similares às da referida norma. Nota-se, também, que em nenhuma das geometrias o ângulo de inclinação excedeu os $7,1^\circ$ sugeridos, tampouco tenha sido muito pequeno.

Tabela 28. Médias das variáveis geométricas obtidas por medição para cada espécie avaliada.

Geometria	Espécie	l	t	b	α	v
		mm	mm	mm	°	%
A	Eucalipto	20,48	6,05	1,14	5,12	18
A	Pinus	20,68	6,23	1,26	5,18	20
A	Paricá	20,89	6,31	1,35	4,98	21
B	Eucalipto	20,91	6,32	0,89	6,28	14
B	Pinus	20,84	6,33	1,05	5,88	16
B	Paricá	20,84	6,40	1,06	5,92	17
C	Eucalipto	19,81	6,19	1,13	5,72	18

C	Pinus	19,80	6,15	1,15	5,54	19
C	Paricá	19,89	6,21	1,16	5,65	19
<hr/>						
DIN						
68140/71	-	20	6,20	1	7,1	16
<hr/>						
NBR						
7190/2011	-	21	7,00	1	1:9	*

Sendo: l : comprimento do entalhe; t : largura da base; b : largura da ponta do entalhe; v : grau de enfraquecimento. * Determinado a partir da fórmula: $[50 * b / (l * \text{tg}\alpha + b)] \leq 20$. Valor este que não deve exceder 0,2 em relação à resistência da madeira sem emenda e isenta de defeitos.

Ainda, percebe-se que mesmo com um grau de enfraquecimento um pouco superior, os ângulos de inclinação produzidos pelas fresas foram menores, compensando de certa forma a perda de resistência provocada pelo grau de enfraquecimento. Verifica-se, portanto, que à medida que o grau de enfraquecimento aumenta, o ângulo de inclinação tende a ser menor, apesar de esta relação não ter sido perfeita. Avaliando-se dentro de cada geometria, nota-se que a geometria C teve certa homogeneidade independentemente da espécie. Oposto a isto, as geometrias A e B tiveram relativa diferença entre as espécies, o que sugere que, mesmo com uma geometria ótima, é necessária a verificação desta com a espécie a ser utilizada, já que a fresa tenderá a imprimir na madeira diferentes geometrias devido, principalmente, à densidade.

Verifica-se que a geometria também exerceu influência na resistência à tração paralela (Tabela 29), muito embora este resultado possa estar relacionado a outros fatores, tais como espécie e densidade.

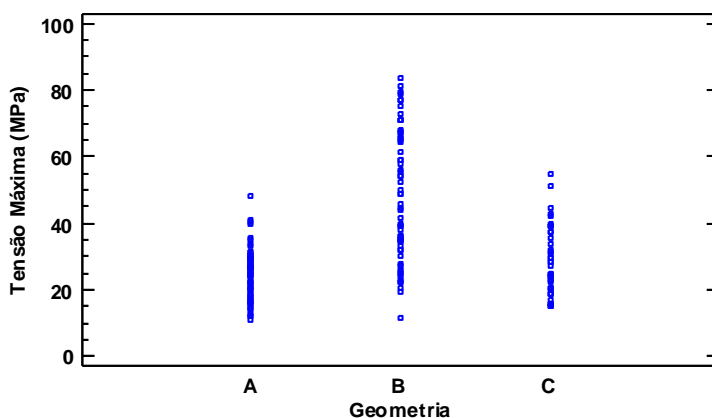
Tabela 29. Análise de Variância para a Tensão Máxima (MPa) sobre efeito da geometria.

	SM	QM	F	P valor
Efeito Principal: Geometria	22060,2	11030,1	58,62	0,0000
Resíduo	32927,2	188,155		
Total (Corrigido)	54987,3			

Onde: SM: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio.

A distribuição das médias de cada geometria pode ser analisada na Figura 26, da qual nota-se que a geometria B apresentou maior amplitude nas médias de tensão máxima. Diferentemente, as geometrias A e C tiveram resultados máximos inferiores à B, sendo que a geometria A teve os menores valores.

Figura 26. Gráfico de dispersão dos valores de Tensão para as densidades da madeira.



A Tabela 30 apresenta as médias de tensão máxima para cada geometria analisada. Constata-se que a geometria B

foi estatisticamente diferente das demais A e C, entre as quais não foi observada diferença significativa.

Tabela 30. Teste de comparação das médias de Tensão Máxima (MPa) pela geometria (g/cm^3).

Geometria (MPa)	Médias de Tensão (MPa)
B	48,21 a
C	27,82 b
A	23,41 b

Teste de Tukey realizado a 95% de significância.

Serrano (2009), avaliando a resistência de emendas múltiplas com variáveis geométricas de $l = 29,1$ mm e $t = 6,1$ mm, obteve resultados de 50,04 MPa para amostras de *E. grandis* coladas com resorcina, superiores aos valores encontrados neste estudo. Este resultado superior pode ter sido devido ao comprimento do entalhe ser maior, o que promove uma melhor interação madeira-adesivo.

4.7 PERDA DE RESISTÊNCIA

Os entalhes múltiplos não apresentam a mesma resistência da madeira maciça. Sendo assim, esta diferença de resistência foi calculada por meio do grau de enfraquecimento, ou seja, quanto de perda a peça apresenta por não ser maciça, visto que a área dos entalhes é um ponto crítico de perda de resistência. A partir disto, são apresentados na Tabela 31 os graus de enfraquecimento calculados, bem como as resistências esperada e real, e a perda de resistência. O grau de enfraquecimento proposto pela norma DIN 68140 deve ser de 16% para comprimentos de entalhes de 20 mm.

O grau de enfraquecimento calculado foi de cerca de 20%, sendo que o esperado era que as amostras com emendas múltiplas apresentassem eficiência aproximada de 80%. Porém,

foram observadas perdas de resistência muito acima do presumido, principalmente das amostras das geometrias A e C. As exceções foram o eucalipto e o paricá da geometria B, que apresentaram perdas de resistência dentro do aceitável pela norma DIN, sendo que o eucalipto (B) resistiu mais que a madeira maciça aos esforços de tração paralela às fibras. Cheung et al (2002) obtiveram, para amostras de madeira maciça e com emendas múltiplas estruturais para a resistência à tração paralela às fibras da espécie *Pinus taeda* e adesivo a base de resorcina, eficiência das emendas em cerca de 80% quando comparadas à da madeira maciça.

Tabela 31. Médias dos graus de enfraquecimento e perda de resistência.

Geometria	Espécie	Maciça (MPa)	Grau de enfraquecimento (%)	Resistência esperada (MPa)	Resistência real (MPa)	Perda de resistência (%)
A	Eucalipto	53,33	19	43,20	22,33	58,13
	Pinus	44,48	20	35,58	21,39	51,91
	Paricá	38,24	21	30,21	23,91	37,47
B	Eucalipto	53,33	14	45,86	63,56	19,18 ⁽⁺⁾
	Pinus	44,48	16	37,36	29,76	33,09
	Paricá	38,24	16	32,12	33,38	12,71
C	Eucalipto	53,33	18	43,73	29,51	44,67
	Pinus	44,48	19	36,03	27,44	38,31
	Paricá	38,24	19	30,97	28,50	25,47

(+) Não apresentou perda de resistência, mas uma resistência maior que da madeira maciça.

Percebe-se que a maior diferença entre a resistência da madeira maciça e as amostras com entalhes foi do eucalipto da geometria A (perda de 58,13%), e a menor foi de paricá da geometria B (perda de 12,71%), sem levar em consideração o eucalipto (B), que teve resistência maior que da madeira maciça (+19,18%). Muito similar às geometrias A e C, Serrano (2009), em sua pesquisa sobre emendas múltiplas de *E. grandis*, encontrou resistência à tração paralela de 50,04 MPa, correspondente a 73,18% da resistência da madeira maciça, de 68,39 MPa. Macêdo (1996) obteve valores médios de resistência para amostras maciças de 60 MPa para o *E. grandis* e 40,2 MPa para o *P. elliottii*. Já para os corpos de prova com emendas, o autor apresentou resultados de 60,9 MPa e 39 MPa respectivamente para o *E. grandis* e o *P. taeda*. Nota-se, dos valores obtidos por outros autores, que os resultados desta pesquisa foram um pouco inferiores. Contudo, reitera-se que devem ser levados em consideração os fatores que provocam esta diferença, tais como os referentes à madeira (condições de sítio, propriedades físicas, anatômicas, químicas e mecânicas), bem como aqueles relativos aos processos de produção das amostras (espécie, geometria da fresa, adesivo, pressão de colagem).

4.8 ANÁLISE DE CORRELAÇÃO DE PEARSON ENTRE AS VARIÁVEIS AVALIADAS

Sabendo-se da perda de resistência ocorrida, verifica-se a necessidade de se determinar os fatores que

mais influenciaram na resistência final das amostras. Desta forma, foram feitas análises de correlação de Pearson (Tabela 32), que avalia a relação entre cada par de variáveis de resposta estudadas neste trabalho. Os coeficientes variam entre -1 e 1 e medem a força da relação linear entre as variáveis, dos quais foram considerados valores acima de 0,50 (correlação moderada). O P-valor (subscrito) indica a significância estatística estimada das correlações.

Verifica-se que a largura da ponta do entalhe (b) apresentou forte correlação com o grau de enfraquecimento ($R= 0,9597$). Como este último é dado pela relação entre largura da ponta pela largura da base (b/t), sugere-se que, como o efeito de t foi muito menor que de b , a largura da ponta teve maior relevância. Diversos estudos indicam que a largura da ponta é um fator determinante na geometria e resistência das ligações. Isto porque a resistência tem acréscimo com aumento na relação comprimento/largura do entalhe (passo) e menor largura da ponta do entalhe. Hernandez (1998) *apud* Ajdinaj & Habipi (2015), afirma que a largura recomendada para a ponta do entalhe varia de 0,5 mm a 0,7 mm, sendo o parâmetro geométrico com influência mais acentuada.

Ainda, nota-se que o ângulo de inclinação e a pressão tiveram influência indireta sobre a largura da ponta. Ou seja, diminuindo-se b , o ângulo de inclinação aumenta, e a pressão utilizada também deverá ser maior, devido à consequente diminuição do comprimento do entalhe. Page (1959) *apud* Prins (2013), afirma que, com o

aumento na largura da ponta do entalhe, tanto a resistência de tração como de flexão são reduzidas. Este efeito diminui na medida em que a inclinação também reduz.

Tabela 32. Valores das correlações entre as variáveis.

Variáveis	l (mm)	t (mm)	b (mm)	α (°)	ν	Pressão (MPa)	ρ (g/cm ³)	T máx (MPa)
l (mm)		0,1699 (0,0263)	-0,1069 (0,1642)	-0,0924 (0,2294)	-0,1339 (0,0807)	0,3590 (0,0000)	0,1579 (0,0391)	0,1591 (0,0377)
t (mm)	0,1699 (0,0263)		-0,0609 (0,4286)	0,4046 (0,0000)	-0,2422 (0,0014)	0,3063 (0,0000)	-0,0371 (0,6298)	0,1630 (0,0331)
b (mm)	-0,1069 (0,1642)	-0,0609 (0,4286)		-0,8641 (0,0000)	0,9597 (0,0000)	-0,5851 (0,0000)	-0,4102 (0,0000)	-0,4856 (0,0000)
α (°)	-0,0924 (0,2294)	0,4046 (0,0000)	-0,8641 (0,0000)		-0,8942 (0,0000)	0,5401 (0,0000)	0,2894 (0,0001)	0,4644 (0,0000)
ν	-0,1339 (0,0807)	-0,2422 (0,0014)	0,9597 (0,0000)	-0,8942 (0,0000)		-0,6185 (0,0000)	-0,3760 (0,0000)	-0,5075 (0,0000)
Pressão (MPa)	0,3590 (0,0000)	0,3063 (0,0000)	-0,5851 (0,0000)	0,5401 (0,0000)	-0,6185 (0,0000)		0,4813 (0,0000)	0,6868 (0,0000)
ρ (g/cm ³)	0,1579 (0,0391)	-0,0371 (0,6298)	-0,4102 (0,0000)	0,2894 (0,0001)	-0,3760 (0,0000)	0,4813 (0,0000)		0,4826 (0,0000)
T máx (MPa)	0,1591 (0,0377)	0,1630 (0,0331)	-0,4856 (0,0000)	0,4644 (0,0000)	-0,5075 (0,0000)	0,6868 (0,0000)	0,4826 (0,0000)	

Onde: l : comprimento do entalhe; t : largura da base; b : largura da ponta do entalhe; ν : grau de enfraquecimento; ρ : densidade; T máx: Tensão máxima. Subscrito: P-valor.

O pesquisador notou que aumentando a largura da ponta ocorre uma redução na resistência, como em uma inclinação de 1:8 ($7,18^\circ$) para uma de 1:16 ($3,58^\circ$). Isto é esperado porque com o aumento da espessura da ponta em uma emenda com uma inclinação de 1:8, haverá redução no comprimento do entalhe. Assim, uma redução na inclinação provoca um acréscimo da área efetiva de cola da emenda. Também, percebe-se que o ângulo de inclinação teve efeito indireto sobre o grau de enfraquecimento. Isto é, aumentando-se o ângulo, diminui-se o grau de enfraquecimento. Este resultado está relacionado às variáveis largura da ponta (b) e largura da base (t).

A pressão lateral entre os entalhes é que promove a resistência da emenda, e não a pressão de topo propriamente dita. Esta pressão entre entalhes facilita a entrada do adesivo na madeira e, devido à largura da ponta do entalhe ser ligeiramente mais larga que a abertura correspondente, obtém-se pressão natural entre os entalhes. Por consequência, uma ótima pressão de colagem promoverá maior resistência à tensão máxima. Observa-se que a pressão de colagem está correlacionada com diversos fatores, entre eles, as variáveis geométricas, as quais são dependentes umas das outras. Sendo assim, havendo variação em uma das variáveis, as demais também serão alteradas. Dawe (1965) *apud* Bustos et al (2011) afirma que com um aumento na pressão, obtém-se um melhor contato entre as superfícies da emenda, podendo-se reduzir a folga entre as pontas dos entalhes e a base. Portanto, aumentando-se a pressão, obtém-se melhor eficiência e desempenho da ligação, até o ponto em que ocorram danos nas pontas dos entalhes ou fendas na base.

4.9 ANÁLISE DOS MODELOS MATEMÁTICOS

Das variáveis analisadas, as que apresentaram correlação foram a largura da ponta (b), o ângulo de inclinação, o grau de enfraquecimento e a pressão de colagem. Desta forma, estes fatores e a resistência à tração paralela foram utilizados para a determinação do modelo que melhor se ajusta às condições encontradas nesta pesquisa.

Da análise de regressão múltipla, as variáveis que foram consideradas como contribuições mais importantes foram o ângulo de inclinação e pressão de colagem (Tabela 33).

Tabela 33. Parâmetros estatísticos dos fatores.

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística	P-valor
Ângulo	0,0445537	0,0224272	1,98659	0,0486
Pressão	0,0895044	0,0113808	7,86454	0,0000

Portanto, o modelo matemático que melhor relaciona os fatores é o que segue. A análise de variância dos fatores está apresentada na Tabela 34.

$$\text{LogTensão} = 1,07122 + 0,044554 * \alpha + 0,0895044 * \text{pressão}$$

Onde: α = ângulo de inclinação.

Log = logaritmo

A partir deste modelo matemático é possível se estimar a resistência à tração que se pode obter para uma emenda, a partir da alteração de valores de pressão aplicada para colagem das emendas e mudança do ângulo de inclinação dos entalhes das emendas.

Tabela 34. Valores da Análise de Variância realizada para a regressão múltipla dos fatores.

	SM	QM	F	P-Valor
Modelo	2,90516	1,45258	58,36	0,0000
Resíduo	4,18154	0,024890		
Total (Corrigido)	7,08669			

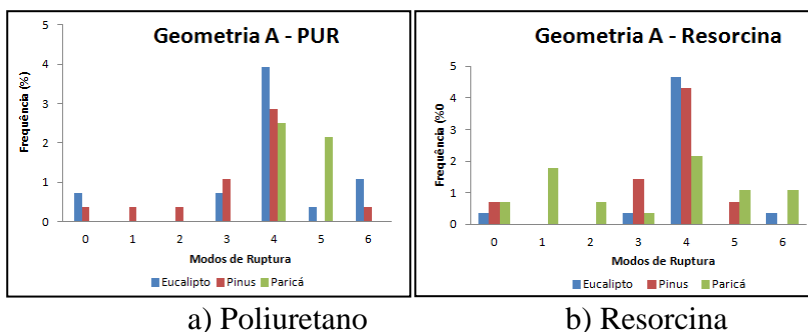
Onde: SM: Soma dos Quadrados; QM: Quadrado Médio.

4.10 MODOS DE RUPTURA OBSERVADOS NOS ENSAIOS DE TRAÇÃO PARALELA ÀS FIBRAS

Os modos de ruptura que ocorrem nos corpos de prova são devidos a tensões, e são classificados em seis modos de acordo com a norma ASTM D 4688. Além destes, foram obtidos corpos de prova que atingiram a tensão de ruptura, mas não tiveram separação das peças, ou seja, não quebraram. Estes foram chamados de modo de ruptura 0.

A frequência dos modos de ruptura, nos gráficos abaixo representados foi calculada proporcionalmente ao número total de corpos de prova, visto que as geometrias, espécies e adesivos avaliados não tiveram o mesmo número de amostras produzidas.

Figura 27. Gráficos da frequência dos modos de ruptura para a geometria A, adesivos poliuretano (a) e resorcina (b).



No gráfico da Figura 27 (a), pode-se perceber que a maior frequência dos modos de ruptura para o eucalipto e para o pinus foi do tipo 4, sendo que o paricá apresentou pequena diferença na quantidade de rupturas dos tipos 4 e 5. Comportamento similar é observado em (b), onde o eucalipto e o pinus têm maior número de ruptura do tipo 4, e o paricá varia entre os modos 1 a 6. As frequências reais podem ser verificadas na Tabela 35.

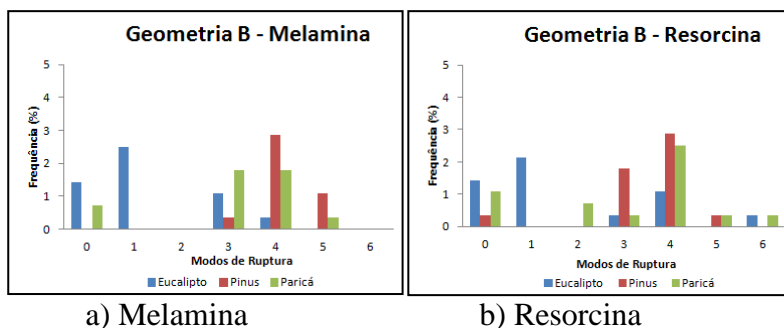
Tabela 35. Frequência dos modos de ruptura da geometria A.

Espécie	Adesivo	Modos de Ruptura						
		0	1	2	3	4	5	6
Eucalipto	Poliuretano	2	0	0	2	11	1	3
	Resorcina	3	0	0	1	13	0	2
Pinus	Poliuretano	0	0	0	3	11	1	0
	Resorcina	0	1	0	3	11	0	0
Paricá	Poliuretano	0	0	1	0	6	5	1
	Resorcina	0	5	2	2	6	2	2

Nota-se que as frequências do eucalipto e do pinus são mais homogêneas, o que não ocorre com o paricá. Fato este não desejável, uma vez que se torna difícil a determinação do

problema que está provocando as tensões nas extremidades dos entalhes.

Figura 28. Gráfico da frequência dos modos de ruptura para a geometria B, adesivos melamina (a) e resorcina (b).



O gráfico da Figura 28(a), referente à geometria B, mostra que o eucalipto teve grande frequência de ruptura do tipo 1, referente à linha de cola, bem como alguns corpos de prova do tipo 0. Para o pinus, a maioria dos corpos de prova rompeu pelo modo 4, e o paricá apresentou, no geral, modos de ruptura 3 e 4, como pode ser visualizado na Tabela 36.

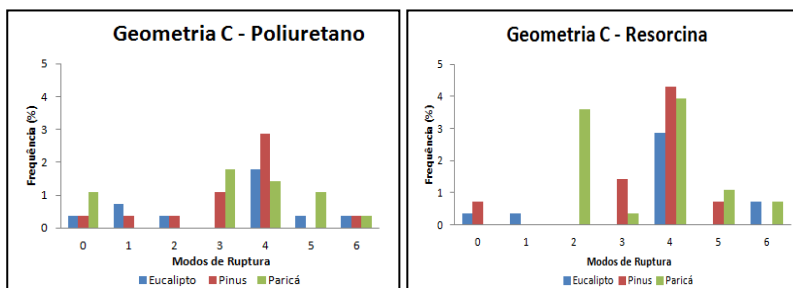
Tabela 36. Tipos de ruptura obtidos da geometria B.

Geometria	Espécie	Adesivo	Modos de Ruptura						
			0	1	2	3	4	5	6
B	Eucalipto	Melamina	4	7	1	2	1	0	0
		Resorcina	4	6	0	1	3	0	1
	Pinus	Melamina	0	0	0	1	8	3	0
		Resorcina	1	0	0	5	5	1	0
	Paricá	Melamina	2	0	0	5	5	1	0
		Resorcina	3	0	2	1	7	1	1

Os modos de ruptura das amostras com adesivo a base de resorcina e que tiveram maior frequência foram dos tipos: sem ruptura (0) e 1 para o eucalipto, 3 e 4 para o pinus, e 4 para o paricá.

Walford (2000) *apud* Habipi & Ajdinaj (2015), afirma que peças unidas por entalhes múltiplos produzidas com madeira de baixa densidade tendem a falhar na madeira, enquanto que aquelas feitas com alta densidade rompem nas emendas onde a resistência da linha de cola é o fator mais relevante. Isto foi verificado para espécie eucalipto desta geometria, da qual foi verificada a maior densidade e a maior frequência de ruptura na linha de cola. Semelhante a este, Azambuja (2006) *apud* Amaya (2013), pesquisando emendas múltiplas com a utilização de adesivo Cascophen (resorcina) para os gêneros *Pinus* e *Eucalyptus*, observou que a maior frequência das rupturas à tração das lâminas de dimensão estrutural foi o modo 4 (ruptura na base das emendas) para o *Pinus* e o modo 1 (falha na colagem) para o *Eucalyptus*. Apesar da ruptura na linha de cola, o eucalipto da geometria B apresentou os maiores valores de resistência, expressando a qualidade da produção dos elementos, assim como do perfil utilizado.

Figura 29. Gráfico da frequência dos modos de ruptura para a geometria C, adesivo poliuretano (a) e resorcina (b).



a) Poliuretano

b) Resorcina

Para o poliuretano da geometria C, o modo 4 predominou para as espécies eucalipto e pinus, o qual teve relativa quantidade também no tipo 3. Já o paricá apresentou certa distribuição, tendo predominado os tipos 3 e 4. Na Tabela 37 revela-se a quantidade de amostras que romperam em cada modo de ruptura.

Tabela 37. Frequência dos modos de ruptura da geometria C.

Geometria	Espécie	Adesivo	Modos de Ruptura						
			0	1	2	3	4	5	6
C	Eucalipto	Poliuretano	1	2	1	0	5	1	1
		Resorcina	1	1	0	0	8	0	2
	Pinus	Poliuretano	2	1	0	3	8	0	1
		Resorcina	2	0	0	4	12	2	0
	Paricá	Poliuretano	3	0	0	5	4	3	1
		Resorcina	0	0	1	1	11	3	2

Avaliando-se o gráfico (b) da Figura 29 para o adesivo resorcina, nota-se que o modo de ruptura 4 mostrou a maior frequência para o eucalipto e para o pinus. O paricá teve a maioria dos corpos de prova rompendo nos modos 2 e 4.

A partir dos gráficos apresentados (4 – 6), constatou-se que as maiores frequências de ruptura foram nos modos 3 e 4, os quais são referentes ao rompimento ao longo do perfil da emenda, mas com certa falha na base dos entalhes, apresentando considerável cisalhamento em toda a superfície do perfil (3), bem como ruptura na base das emendas (4). Em outra pesquisa, Bustos et al (2003b) afirmam que estes modos de ruptura – 3 e 4 – são geralmente associados com uma boa qualidade de colagem da madeira com emendas estruturais.

Pesquisando o comportamento estrutural de emendas múltiplas de *Picea mariana* com diferentes perfis de ligações,

Bustos et al (2003a) constataram que mais de 74% dos corpos de prova romperam nos modos 3 e 4. Segundo os autores, o modo de ruptura 4 está associado com uma falha na madeira por tensões que ocorrem na base dos entalhes. Estes tipos de ruptura são as mais comuns em produtos com entalhes múltiplos estruturais. Dos corpos de prova ensaiados, notou-se que, assim como a literatura consultada, 64% tiveram modos de ruptura 3 (14%) e 4 (50%). Também, Pierre et al (2005) avaliando a influência do teor de umidade e temperatura na resistência a tração de *Picea mariana*, verificaram que, no geral, o rompimento na madeira foi alto para todas as emendas testadas, independentemente do tipo de adesivo utilizado. Em média, 70% dos modos de ruptura foram dos tipos 3 e 4.

Os resultados demonstram que a geometria B foi a melhor entre as três avaliadas, tendo obtido os maiores valores de resistência à tração paralela às fibras. Ainda, o eucalipto (geometria B) e o adesivo resorcina apresentam os melhores resultados de resistência mecânica.

5 CONCLUSÕES

Neste trabalho foram elaborados e executados vários estudos. Tendo como base as mensurações das geometrias de cada perfil, bem como os testes de tração paralela às fibras, pressão de colagem, densidade básica, cálculo do grau de enfraquecimento, perda de resistência e modos de ruptura, foram determinadas as variáveis que apresentaram os melhores resultados. De todo o experimento realizado, conclui-se que:

- Todos os fatores analisados: Geometria, Espécie, Adesivo, Pressão de Colagem, Densidade, apresentaram efeito sobre a resistência à tração paralela às fibras.
- A espécie *Eucalyptus grandis*, cujos corpos de prova foram produzidos com a geometria B, foi a mais resistente independentemente dos adesivos e pressões de colagem utilizados.
- A geometria B apresentou os melhores resultados de resistência à tração paralela às fibras também para as amostras produzidas com o *Pinus taeda* e o *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (paricá).
- Não se recomenda utilizar a sugestão da norma alemã DIN 68140 para pressão de colagem, uma vez que a densidade da madeira interfere na qualidade da colagem.
- O eucalipto da geometria B apresentou maior densidade, sendo oriundo de um lote diferente do eucalipto das geometrias A e C.
- Os maiores valores de resistência foram provenientes dos corpos de prova com densidade básica maiores, e as amostras de menor densidade suportaram uma carga próxima da média geral.

- Quanto ao grau de enfraquecimento, o eucalipto da geometria B apresentou o menor valor (14%), e os demais - geometrias A e C, e paricá B - ultrapassaram os 16% propostos pela DIN 68140/1971.
- Avaliando-se dentro de cada geometria, percebeu-se que a geometria C teve certa homogeneidade independentemente da espécie, diferente das demais geometrias, que tiveram variação de até 3% entre as espécies.
- Analisando-se os adesivos de cada espécie e geometria, constatou-se que a melamina apresentou os maiores valores de resistência, e foi diferente estatisticamente das demais.
- Notou-se que 64% dos corpos de prova rompidos pelo teste de tração paralela às fibras tiveram modos de ruptura 3 (14%) e 4 (50%).

Os resultados demonstram, por fim, que não se pode determinar uma geometria, espécie e/ou adesivo que melhor se adequou às situações verificadas, mesmo que possam ser observados valores maiores ou menores acima apresentados. Isto porque a análise estatística realizada sugere que todos os fatores interferiram na resistência final das emendas. Desta forma, é necessário que os fatores sejam analisados conjuntamente, como foi feito na análise das correlações e regressão múltipla, de onde foi determinado o modelo matemático que melhor se ajusta às condições verificadas nesta pesquisa. Isto demonstra que nem uma das geometrias, espécies, adesivos, e pressões de colagem avaliadas foi eficiente quando analisadas separadamente. Mas, a partir do modelo proposto, que considera todos os fatores e variáveis, é possível atingir um máximo de eficiência.

Apesar disto, recomenda-se o uso de qualquer uma das três espécies estudadas, pois duas delas (*E. grandis* e *P. taeda*) já são utilizados para a produção de MLC, e o paricá tem sua

madeira caracterizada como pertencente à classe C-20 de resistência, o que expressa a possibilidade técnica de uso para fins estruturais.

Os três adesivos avaliados podem ser utilizados na produção de emendas múltiplas, os quais já são empregados por indústrias do setor da madeira laminada colada.

5.1 SUGESTÕES PARA TRABALHOS FUTUROS

Tendo como base os resultados alcançados neste trabalho, considera-se que futuros trabalhos de pesquisa poderão ser desenvolvidos como:

- Determinar a pressão de colagem a ser utilizada por meio de testes.
- Análise anatômica dos elementos, a fim de verificar se há influência desta na composição das emendas.
- Análise da penetração do adesivo (interface madeira-adesivo), que pode indicar a qualidade da colagem ou ainda responder a possíveis problemas obtidos pelo processo de adesão.
- A inclusão de maior número de geometrias e com maior diversidade de perfis, como o comprimento do entalhe de 10, 15, 22 e 28 mm.
- Análise da concentração e distribuição de tensões nos sentidos paralelo e perpendicular às fibras das emendas múltiplas por meio do desenvolvimento de modelo numérico.
- Incluir o adesivo melamina ureia formaldeído em todos os tratamentos, e, portanto, utilizar os mesmos adesivos para todas as análises.
- Realizar este estudo com outras espécies reflorestadas.

- Pelo fato deste experimento ser para fins de produção de MLC, recomenda-se fazer uma comparação com as exigências do produto final, assim como sugerem Franke et al (2014) em seu trabalho intitulado: “*Analysis of finger joints from beech wood*”.
- Verificar a fadiga nas emendas.
- Converter os valores médios em valores característicos de modo a ser possível sua utilização para cálculo estrutural.
- Determinar a área efetiva de colagem (A_{ef}), pois esta interfere diretamente na perda de resistência.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABRÃO, S. F. **Alterações físicas e químicas de um cambissolo húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações.** Dissertação (Mestrado). UFSM. Santa Maria – RS. 2011.

ABRAHÃO, C.P. **Efeito da redução da área colada no comportamento de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis*.** 2001. 61p. Dissertação (Mestrado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2001.

AGUIAR, A. V. de; SOUSA, V. A. de; SHIMIZU, J. Y. **Cultivo de Pinus. Embrapa Florestas.** 2014. Disponível em: <https://www.spo.cnpqia.embrapa.br/conteudo>. Acesso em 05/02/2016.

AJDINAJ, D.; HABIBI, B. **The effect of joint slope on bending strength of finger joint connection – case of poplar wood (*Populus alba* L.).** IN: 2nd International Balkans Conference on Challenges of Civil Engineering, BCCCE, Epoka University, Tirana, Albania. 2013.

AJDINAJ, D.; HABIPI, B. **Wood Finger-Joint Strength as Function of Finger Length and Slope Positioning of Tips.** International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS) Vol. 2, Issue 12, 2015.

ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. **Estudo da interface madeira- adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden.** Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 509-516, set. 2010.

ALMEIDA, D. H. de; SCALIANTE, R. de M.; MACEDO., L. B. de; MACÊDO, N. A.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L.; JUNIOR, C. 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. **Descrição sobre o Paricá, espécie *Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke.** 106p. Disponível em: <http://www.amatabrasil.com.br/>. Acesso em: 09/12/2015.

AMAYA, M. L. C. **Reforço de emendas dentadas com compósitos de fibras em peças de madeira.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas). Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Paulo, 2013. 95p.

AMBIFLORA EMPREENDIMENTOS FLORESTAIS E AMBIENTAIS. **Mudas florestais** 2012. Disponível em: http://www.ambiflorasul.com.br/mudas_florestais.html. Acesso em: 05/02/2016.

AMERICAN INSTITUTE OF TIMBER CONSTRUCTION. AITC A 190.1:2007. American National Standards for Wood Products. **Structural Glued Laminated Timber.** American National Standards Institute, Inc. New York, NY. 2007. 14p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. D4688-99 (reapproved 2005) Standard specification for adhesives used for laminate joints in nonstructural lumber products. Pennsylvania, 1995. 11p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. ASTM D3737. **Standard Test Method for**

Establishing Stresses for Structural Glue Laminated Timber (Glulam). 1996.

ANSELL, M. P. **Wood Composites.** Livro. Woodhead Publishing. 444 p. 2015.

APRILANTI, M. D. (2010). **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. IN: ALMEIDA, D. H. de; SCALIANTE, R. de M.; MACEDO., L. B. de; MACÊDO, N. A.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L.; JUNIOR, C. 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.

ARRUDA, L. M. et al. **Estudo preliminar das propriedades de compensados produzidos com lâminas de paricá (*Schizolobium amazonicum* Huber ex Ducke) modificadas termomecanicamente.** *Ciência da Madeira*, v. 2, n. 1, p. 29-42. 2011. *Apud* SILVA, G. F. da; MENDONÇA, A. R. de; HOFFMANN, R. G.; ZANETI, L. Z.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C.. Rendimento em laminação de madeira de Paricá na região de Paragominas, Pará. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 447-455, jun. 2015.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. NBR 7190: **Projeto de estruturas de madeira.** Rio de Janeiro – RJ. 1997.

AYAKWA, J.; HIRASHIMA, Y.; SASAKI, Y. YAMASAKI. **Influence of finger-joint geometry and end pressure on tensile properties of three finger-jointed Tropical African Hardwoods.** Southern African Forestry Journal. No 188. 2000.

AZAMBUJA, M. **Estudo experimental de adesivos para fabricação de madeira laminada colada: avaliação da resistência de emendas dentadas, da durabilidade e de vigas.** 159f. Tese (Doutorado) – Escola de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos – SP. 2006.

BIBLIS, E.; H. CARINO. **Factors influencing the flexural properties of finger-jointed southern pine LVL.** Forest Prod. J. 43(1): 41-46. 1993. *Apud* BUSTOS, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R.; MOHAMMAD, M. Structural performance of finger-jointed black spruce lumber with different joint configurations. Forest Products Journal. Vol. 53. No. 9. 2003a.

British Standard (BS) EN 386 – **Glued Laminated Timber – Performance requirements and minimum production requirements.** *Published: March 2002 - Replaced By: [BS EN 14080:2013](#).*

BUSTOS, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R.; MOHAMMAD, M. **Structural performance of finger-jointed black spruce lumber with different joint configurations.** Forest Products Journal. Vol. 53. No. 9. 2003a.

BUSTOS, C.; MOHAMMAD, M.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R. **Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-jointed black spruce lumber.** FOREST PRODUCTS JOURNAL Vol. 53, No. 11/12. 2003b.

BUSTOS, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R.; MOHAMMAD, M. **Effects of end-pressure on the finger-joint quality of Black spruce lumber: a microscopic analysis.** Maderas. Ciencia y tecnología, 2011.

CALEGARI, L.; CALEGARI, C. C. A.; LOPES, P. J. G.; GATTO, D. A.; STANGERLIN, D. M. **Normalização técnica para determinação das propriedades físicas e mecânicas de madeiras.** Ciência da Madeira (*Braz. J. Wood Sci.*), Pelotas, v. 04, n. 02, p. 122-138. 2013.

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 – SP, 2014.

CALIL NETO, C. **Madeira Laminada Colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo.** São Carlos, 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) - Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011. IN: MOLINA, J. C.; NETO, C. C.; CHRISTOFORO, A. L. Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de *Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada. Ambiente construído vol.16 no.1 Porto Alegre. 2016.

CASTRO G, PAGANINI F. **Parameters affecting end-finger joint performance in poplar wood.** International conference of IUFRO S 5.02 Timber Engineering – Copenhagen. 18-20 June 1997.

CAVALHEIRO, R. S. **Madeira laminada colada de *Schizolobium amazonizum* Herb. (Paricá): combinação**

adesivo/tratamento preservante. Dissertação (Mestrado). Universidade de São Paulo – USP. São Carlos – SP. 2014.

CHEUNG, A. B.; CALIL Jr. C.; CARREIRA, M. R.; MARINEZ, M. **Avaliação da resistência à tração de emendas dentadas em peças de madeira de dimensões estruturais.** Revista Ciência y Tecnología, Chile, 2002.

CORTELETTI, R. B. **Análise de tronco aplicada à avaliação de crescimento de árvores de paricá.** Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade Federal do Espírito Santo – ES. 2013. 82f.

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.

CÓRDOVA, F. O.; TEREZO, R. F.; BOURSCHEID, C. B.; STÜPP, Â. M.; ROSA, T. O. VALLE, Â. Do. **Análise dos métodos analítico e experimental de vigas em madeira laminada colada de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* tratadas quimicamente.** XV EBRAMEM - Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira. Curitiba, PR, Brasil. 2016.

CUNHA, A. B. da; MATOS, J. L. M. de. **Rigidez e resistência de vigas estruturais de madeira laminada colada e com perfil I compostas por diferentes adesivos.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 20, n. 2, 2010.

CUNHA, A. B. da; MATOS, J. L. M. de. **Estimativa do módulo de elasticidade em vigas laminadas coladas pelos métodos estático e dinâmico.** Floresta. Curitiba – PR. V. 41, n. 1. 2011.

DAGENAIS, C.; SALENIKOVICH, A. **Influence of machining parameters on the tensile strength of finger-jointed sugar maple lumber.** Wood Fiber Science. 41(1):55-61. 2008.

DAWE, P.S. 1965. **Strength of finger-joints.** Paper presented at the International Symposium on joints in timber structures. London, England. 9 pp. IN: BUSTOS, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R.; MOHAMMAD, M. Effects of end-pressure on the finger-joint quality of Black spruce lumber: a microscopic analysis. Maderas. Ciencia y tecnología, 2011.

DIN 68 140. **Finger joints in wood. Part 1: Finger-jointed structural timber.** Deutsches Institut für Normung (the German Institute for Standardization), Berlin, Germany. (Keilzinkenverbindung von Holz). Berlin, Alemanha. 1971.

DURAIRAJ, R. B. **Resorcinol: chemistry, technology and applications.** Berlin: Springer, 2005. 748 p. IN: ALBINO, V. C. S.; MORI, F. A.; MENDES, L. M. Estudo da interface madeira- adesivo de juntas coladas com resorcinol-formaldeído e madeira de *Eucalyptus grandis* w. Hill ex Maiden. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 509-516, set. 2010.

ECKELMAN, C. A. **Brief survey of wood adhesives.** Purdue University. 2015. Disponível em: <https://www.extension.purdue.edu/extmedia/fnr/fnr-154.pdf> Acesso em: 07/02/2016.

FRANKE, B.; SCHUSSER, A.; MÜLLER, A. **Analysis of finger joints from beech wood.** World conference on timber engineering – WCTE. Quebec, 2014.

FURTADO, F. R. C.; TEREZO, R. F.; STÜPP, A. M.; BOURSCHEID, C. B.; ROSA, T. O. **Viabilidade econômica de vigas em madeira laminada colada de paricá (*Schizolobium parahyba var amazonicum*).** II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira Belo Horizonte. Belo Horizonte, MG. 2015. Anais.

GRAEFF, André. **Estudo da Madeira Laminada-Colada com emendas de topo reforçadas com fibra de vidro.** Florianópolis, 1995. 129p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Universidade Federal de Santa Catarina.

GRANATO, A. F. **Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada.** Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos – SP. 2011.

HABIPI, B.; AJDINAJ, D. **Study of Five Joint Slope Angels on Bending Strength of Poplar Wood (*Populus alba* L.) Finger Joint Connection.** International Journal of Current Engineering and Technology. Vol.3, No.5 . 2013.

HABIPI, B.; AJDINAJ, D. **Wood finger-joint strength as function of finger length and slope positioning of tips.** International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS). Vol.2. 2015.

HABIPI, B.; ÇOTA, H.; KODRA, A. **The effect of fingers tips position on tensile strength of finger joint connection.**

Journal of international academic research for multidisciplinary. Vol. 4. Issue 1. 2016.

HENKEL. **Adesivos para estruturas em madeira.** 2015. Disponível em: http://www.henkel-adhesives.com/com/content_data/382107_20150209_Loctite_Kooperation_Bayer_PT_firmierung_Henkel.pdf Acesso em: 06/02/2016.

HENRIQUES, J. J. de; CALIL Jr. C.; CHIERICE, G. O. **Resistência à tração de emendas dentadas coladas com adesivo poliuretano à base de mamona: Parâmetros de colagem.** IN: Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira, 7.. 2002, Uberlândia. Anais... Uberlândia: EBRAMEM, 2002. 1 CD-ROM.

HERNANDEZ, R. **Analysis of strain in finger-jointed lumber**. In: J. Natterer and J.L. Sandoz (Eds.), Proceedings of the 5th World Conference on Timber Engineering, 1998, Montreux, SWITZERLAND. IN: AJDINAJ, D.; HABUPI, B. Wood Finger-Joint Strength as Function of Finger Length and Slope Positioning of Tips. International Journal of Engineering and Applied Sciences (IJEAS) Vol. 2, Issue 12, 2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - **Sistema de Informações de Madeiras Brasileiras.** São Paulo: IPT, 1989b. 291p. (Relatório No 27 078).

Disponível em: www.ipt.br/informacoes_madeiras3.php?madeira=13. Acesso em 09/12/2015.

INSTITUTO DE PESQUISAS TECNOLÓGICAS DO ESTADO DE SÃO PAULO - IPT - **Sistema de Informações de Madeiras Brasileiras.** São Paulo: IPT, 1976. RELATÓRIO

TÉCNICO- 45 SÉRIE TÉCNICA N° 5.
Brasília:PNDU/FAO/IBDF/BRA, 1976.

IWAKIRI, S. et al. **Produção de painéis laminados unidirecionais – LVL com lâminas de *Schizolobium amazonicum*, *Eucalyptus saligna* e *Pinus taeda*.** Cerne. v. 16, n. 4, p. 557-563. 2010a. *Apud* SILVA, G. F. da; MENDONÇA, A. R. de; HOFFMANN, R. G.; ZANETI, L. Z.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C.. Rendimento em laminação de madeira de Paricá na região de Paragominas, Pará. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 447-455, jun. 2015.

IWAKIRI, S. et al. **Avaliação do potencial de utilização da madeira de *Schizolobium amazonicum* “Paricá” e *Cecropia hololeuca* “Embaúba” para produção de painéis aglomerados.** *Acta Amazônica*. v. 40, n. 2, p. 303-308. 2010b. *Apud* SILVA, G. F. da; MENDONÇA, A. R. de; HOFFMANN, R. G.; ZANETI, L. Z.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C.. Rendimento em laminação de madeira de Paricá na região de Paragominas, Pará. *Ciência Florestal*, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 447-455, jun. 2015.

IWAKIRI, S.; MATOS, J. L. M. de; PRATA, J. G.; TRIANOSKI, R.; PARCHEN, C. F.; CASTRO, V. G.; IWAKIRI, V. T. **Características de vigas laminadas coladas confeccionadas com madeira de teca (*Tectona grandis*).** *Floresta e Ambiente*, Seropédica – RJ, v. 21, n. 2, p. 269-275. 2014 .

JOKERST, R, W. **The effect of geometry on the performance of structural finger-joints.** *Forest Products Technologist*, Forest Products Laboratory Forest Service, U.S. Department of Agriculture United States of America Production, Marketing and Use of Finger-Jointed Sawnwood The United Nations. 1980.

JUVONEN, R. **End pressure for finger-jointing**. In: Proc. of Production, Marketing and Use of Finger-jointed Sawwood. C.F.L. Prins, ed. Timber Committee of the UNEconomic Commission for Europe. Martinus Nijhoff/Dr W. Junk Publishers, The Hague, Boston, London. pp.181-189. 1980. *Apud* BUSTOS, C.; MOHAMMAD, M.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAUREGARD, R. Effects of curing time and end pressure on the tensile strength of finger-jointed black spruce lumber. FOREST PRODUCTS JOURNAL Vol. 53, No. 11/12. 2003b.

KARASTERGIOU, S.; NTALOS, G. **Bending strength properties of scarf jointed European spruce wood (*Picea excelsa*)**. Proceedings of International Scientific Conference Engineering Design “Interior and furniture design”. Oct. 15-17, Sofia, Bulgaria. 2005.

LOIOLA, P. L. Secagem da madeira de Teca (*Tectona grandis* L. F) sob diferentes condições. 222 f. Curitiba, 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Floresta) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba – PR. 2015.

LOGDSON, N. B. **Influência da umidade nas propriedades de resistência e rigidez da madeira**. 200 f. São Carlos, 1998. Tese (Doutorado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1998.

MACÊDO, A. N. **Estudo de Emendas Dentadas em Madeira Laminada Colada (MLC): avaliação de método de ensaio**. 115 f. São Carlos, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

MADSEN, B.; LITTLEFORD, T. W. **Finger joints for structural usage**. Forest Prod. J. 12(2):68-73. 1962.

MARCHIORI, J. N. C. **Dendrologia das gimnospermas**. Santa Maria: UFSM, 2005. IN: ABRÃO, S. F. Alterações físicas e químicas de um cambissolo húmico em povoamentos de *Pinus taeda* L. com diferentes rotações. Dissertação (Mestrado) – UFSM. Santa Maria – RS. 95 f. 2011.

MARIN, C. P. **Avaliação da resistência de emendas dentadas para madeira laminada colada**. Dissertação (Mestrado) – Escolha de Engenharia de São Carlos – USP. São Carlos – SP. 2006.

MELCHIORETTO, D.; ELEOTERIO, J. R. **Caracterização, classificação e comparação da madeira de *Pinus patula*, *Pinus elliotti* e *Pinus taeda* através de suas propriedades físicas e mecânicas**. In: Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia, XVIII, 2003, Itajaí (SC). Artigos do XVIII Congresso Regional de Iniciação Científica e Tecnológica em Engenharia. Itajaí (SC): UNIVALI, 2003.

MELO, J. E.; DE CARVALHO, G.M.; MARTINS, V. A. **Espécies de madeira substitutivas do mogno**. Brasília: IBAMA. DIRPED, Laboratório de Produtos Florestais, 1989. 16p. (IBAMA. DIRPED. LPF. Série Técnica, 6).

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.

MOLINA, J. C.; CALIL NETO, C.; CHRISTOFORO, A. L. **Resistência à tração de emendas dentadas de madeira de**

***Manilkara huberi* para o emprego em madeira laminada colada.** Ambiente Construído, Porto Alegre, v. 16, n. 1, p. 221-227, jan./mar. 2016. IN: CALIL NETO, C. **Madeira Laminada Colada (MLC): controle de qualidade em combinações espécie-adesivo-tratamento preservativo.** São Carlos, 2011. 123 f. Dissertação (Mestrado em Ciência e Engenharia de Materiais) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2011.

MORALES, E. A. M. (2005). **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. In: ALMEIDA, D. H. de; SCALIANTE, R. de M.; MACEDO., L. B. de; MACÊDO, N. A.; DIAS, A. A.; CHRISTOFORO, A. L.; JUNIOR, C. 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.

OLIVEIRA, B. R. U. de; LATORRACA, J. V. de F.; FILHO, M. T.; GARCIA, R. A.; CARVALHO, A. M. de. **Correlações dendroclimatológicas do *Eucalyptus grandis* Hill ex Maiden na região de Rio Claro, RJ.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 21, n. 3, 2011.

ÖZÇIFÇI, A.; YAPICI, F. **Structural performance of the finger-jointed strength of some wood species with different joint configurations.** Const. Build. Mater. 2007.

PAGE, M. W. **Finger jointing.** The Australian Timber Journal. 1959. IN: PRINS, C. F. L. Production, Marketing and Use of

Finger-Jointed Sawnwood. 1980. Livro. Disponível parcialmente por Springer Science & Business Media, 2013.

PALERMO, G. P. de M. **Propriedades e comportamento tecnológico da madeira de *Eucalyptus grandis* W. Hill ExMaiden visando a sua utilização em produtos de maior valor agregado.** Tese (Doutorado em Ciências Ambientais e Florestais). Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. Seropédica – RJ. 2010. 249p.

PALERMO, G. P. de; LATORRACA, J. V. de F.; SEVERO, E. T. D.; NASCIMENTO, A. M.; REZENDE, M. A. de. **Delimitação entre os lenhos juvenil e adulto de *Pinus elliottii* Engelm.** Revista *Árvore*, Viçosa-MG, v.37, n.1, p.191-200, 2013.

PANSHIN, A. J.; DE ZEEUW, C. **Text book of wood technology.** 4 ed. New York: MacGraw-Hill, 1980. 722 p. *Apud* KLITZKE, R. J. Secagem da madeira. In: José Tarcísio da Silva Oliveira, Nilton César Fiedler, Marcelo Nogueira. (Org.). *Tecnologias aplicadas ao setor madeireiro*. Visconde do Rio Branco: Suprema Gráfica e Editora Ltda, 2007, v. 1, p. 271-366.

PAVLOV V.P. - **Jointing wood longitudinally with toothed tenons.** (Wood Process. And Wood Chem. Ind.) 3(10):5-8. 1954. JOKERST R. The effect of geometry on the performance of structural finger joints. Seminar on the production, marketing and use of finger-jointed sawnwood – Hamar (Norway). 1980. *Apud* MACÊDO, A. N. *Estudo de Emendas Dentadas em Madeira Laminada Colada (MLC): avaliação de método de ensaio.* 115 f. São Carlos, 1996. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Estruturas) – Escola de Engenharia, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1996.

PETRAUSKI, S. M. F. C. **Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona.** Tese (Doutorado). Viçosa – MG. 119f. 2012.

PIERRE, B. S.; BEAUREGARD, R.; BUSTOS, C.; MOHAMMAD, M. **Effect of moisture content and temperature on tension strength of finger-jointed black spruce lumber.** FOREST PRODUCTS JOURNAL Vol. 55, No. 12. 2005.

PIZZI, A. **Wood adhesives – chemistry and technology.** New York: MarCel Deker, 1983. 364p. IN: PETRAUSKI, S. M. F. C. **Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona.** Tese (Doutorado). Viçosa – MG. 119f. 2012.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Wood adhesives.** CRC Press. 2011.

PLASTER, O. B.; OLIVEIRA, J. T. S.; ABRAHÃO, C. P.; BRAZ, R. L. **Comportamento de juntas coladas da madeira serrada de *Eucalyptus sp.*** Cerne, Lavras, v. 14, n. 3, p. 251-258, jul./set. 2008. In: SEGUNDINHO, P. G. de A.; ZANIGIÁCOMO, A. L.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. **Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.).** Cerne, Lavras, v. 19, n. 3, p. 441-449, 2013.

PRINS, C.; F.; L. **Production, Marketing and use of Finger-Jointed Sawwood.** Springer Science & Business Media. Hamar, Noruega. 282 p. 1980. Edição 2013.

PURBOND. Adhesive systems for engineered wood. Single-component polyurethane adhesive for the manufacture of engineered wood products. 2013. Disponível em: <http://www.glueguru.co.nz/product/894/> Acesso em: 06/02/2016.

RAKNES, E. The influence of production conditions on the strength of finger-joints. In: Proc. Production, Marketing and Use of Finger-jointed Sawnwood. C.F.L. Prins, ed. Timber Committee of the United Nations Economic Commission for Europe. Martinus Nijhof/Dr. W. Junk Publishers, Boston, MA. pp.154-168. 1980. *Apud* BUSTOS, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R.; MOHAMMAD, M. Effects of end-pressure on the finger-joint quality of Black spruce lumber: a microscopic analysis. Maderas. Ciencia y tecnología, 2011.

RAO, S.; GONG, M.; CHUI, Y. H.; MOHAMMAD, M. Effect of geometric parameters of finger joint profile on ultimate tensile strength of single finger-jointed boards. Wood and Fiber Science. v. 44. 2012.

RICHARDS D.B. - Improved tips for finger joints. Forest Product Journal 13(6):250. 1963. *Apud* BUSTOS, C.; HERNÁNDEZ, R. E.; BEAREGARD, R.; MOHAMMAD, M. **Structural performance of finger-jointed black spruce lumber with different joint configurations.** Forest Products Journal. Vol. 53. No. 9. 2003a.

ROCCO, F. A., SALES, A. Materiais Derivados de Madeira: Processos e aplicações. Notas de Aula. LaMEM – EESC/IQSC/IFSC – USP, São Carlos, 1998. *Apud* GRANATO, A. F. Aspectos tecnológicos da fabricação de elementos estruturais de madeira laminada colada. Trabalho de Conclusão de Curso (Engenharia Civil). Universidade Federal de São Carlos – SP. 2011.

SANTINI, E. J.; HASELEIN, C. R.; GATOO, D. A. **Análise comparativa das propriedades físicas e mecânicas da madeira de três coníferas de florestas plantadas.** Ciência Florestal, Santa Maria, v.10, n.1. 2000.

SEGUNDINHO, P. G. de A.; ZANIGIÁCOMO, A. L.; CARREIRA, M. R.; DIAS, A. A.; LAHR, F. A. R. **Avaliação de vigas de madeira laminada colada de cedrinho (*Erisma uncinatum* Warm.).** Cerne, Lavras, v. 19, n. 3, p. 441-449, 2013.

SEGUNDINHO, P. G. de A.; NETO, C. C.; GONÇALVES, F. G.; REGAZZI, A. J.; JUNIOR, C. C. **Resistência de linhas de cola para madeiras de reflorestamento.** Semina: Ciências Exatas e Tecnológicas, Londrina – PR, v. 36, n. 1, p. 107-116. 2015.

SELBO, M.L. Adhesive Bonding of Wood. Tech. Bulletin No. 1512. USDA, Washington, DC. 124 pp. 1975. *Apud* PIERRE, B. S.; BEAUREGARD, R.; BUSTOS, C.; MOHAMMAD, M. **Effect of moisture content and temperature on tension strength of finger-jointed black spruce lumber.** FOREST PRODUCTS JOURNAL Vol. 55, No. 12. 2005.

SERRANO, L. J. P. **Resistência à tração da madeira e resistência ao cisalhamento no plano de cola, seus impactos na geometria do dente e propriedades mecânicas de emendas dentadas.** Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz. Piracicaba – SP. 2009.

SILVA, B. B. R. **Desenvolvimento de adesivos de poliuretano a base de óleo de mamona.** Porto Alegre. 67p. Dissertação (Mestrado). Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2006. IN: PETRAUSKI, S. M. F. C. Desenvolvimento

de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona. Tese (Doutorado). Viçosa – MG. 119f. 2012.

SILVA, G. F. da; MENDONÇA, A. R. de; HOFFMANN, R. G.; ZANETI, L. Z.; CHICHORRO, J. F.; FERREIRA, R. L. C.. **Rendimento em laminação de madeira de Paricá na região de Paragominas, Pará.** Ciência Florestal, Santa Maria, v. 25, n. 2, p. 447-455, jun. 2015.

SKEIST, I. Handbook of adhesives. 2 ed. New York: Van Nostrand Reinhold. 1977. 921p. IN: PETRAUSKI, S. M. F. C. **Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona.** Tese (Doutorado). Viçosa – MG. 119f. 2012.

ST-PIERRE, B.; BEAUREGARD, R.; MOHAMMAD, M.; BUSTOS, C. **Effect of moisture content and temperature on the tension strength of finger jointed black spruce lumber.** Forest Products Journal. 55(12): 9-16. 2005.

STARK, N. M.; CAI, Z.; CARLL, C. **Wood-based composite materials: panel products, glued-laminated timber, structural composite lumber, and wood-nonwood composite materials.** Capítulo 11. Forest Products Laboratory. Wood handbook: Wood as an engineering material. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 508 p. 2010.

SZÜCS, C. A. **Étude d'un assemblage par pièce de coin em bois lamellé-collé, renforcé par fibres de verre.** Tese (Doutorado). Metz: Université de Metz (França) 1991. 199p.

SZÜCS, C. A.; BOHN, A. R.; DO VALLE, A. **Corpos de prova para a caracterização de elementos produzidos em madeira laminada colada**. VI Encontro Brasileiro em Madeiras e em Estruturas de Madeira – EBRAMEM. **Anais...** Vol 1. Florianópolis, 1998.

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

TELES, R. F. **Propriedades tecnológicas de vigas de madeira laminada colada produzidas com louro vermelho (*Sextonia rubra*)**. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais). Universidade de Brasília. Faculdade de Tecnologia. UNB. Brasília – DF. 118p. 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 paricá (*Schizolobium Amazonicum* Huber ex. Ducke)**. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 38, n. 87, p. 471-480, 2010.

TEREZO, R. F.; SZÜCS, C. A.; VALLE, Â. do; SAMPAIO, C. A. de P.; STÜPP, Â. M. **Propriedades da madeira de paricá em diferentes idades para uso estrutural**. Ciência da Madeira (*Brazilian Journal of Wood Science*). IN: SPECIAL

ISSUE – II Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira (CBCTEM), Belo Horizonte – MG. 2015.

TRIANOSKI, R.; MATOS, J. L. M. de; IWAKIRI, S.; PRATA, J. G. **Avaliação das propriedades mecânicas da madeira de espécies de Pinus tropicais.** Scientia Forestalis, vol. 42, n. 101. p. 21-28. 2014.

URBINATI, C. V. **Influência das características anatômicas em juntas coladas de *Schizolobium parahyba* var. *amazonicum* (Huber ex. Ducke) Barneby (paricá).** Tese (Doutorado). Universidade Federal de Lavras. Lavras – MG. 161p. 2013.

VALLE, Â. do; MORAES, P. D. de; SZÜCS, C. A.; TEREZO, R. F. **Estruturas de Madeira.** Universidade Federal de Santa Catarina. – UFSC. Florianópolis – SC. Apostila. 2015.

VASSILIOU, V.; BARBOUTIS, I.; AJDINAJ, D.; THOMA, H. **PVAc Bonding of finger jointed Beech wood originated from Albania and Greece.** Proceedings of International Conference “Wood Science and Engineering in the third millennium”, ICWSE.715:721 p. Transilvania. University of Brasov, Romania. 2009.

VIDAURRE, G. B. ; VITAL, B. R. ; COLLI, Andréia ; NAUMANN, R. **Paricá uma Espécie Promissora.** Revista da Madeira, v. 1, 2006.

VIDAURRE, G. B. **Caracterização anatômica, química e físico-mecânica da madeira de paricá (*Schizolobium amazonicum*) para produção de energia e polpa celulósica.** Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Viçosa. 2010. 74f.

VOLKMER, T.; FRANKE, B.; SCHUSSER, A. **Analysis of the penetration of adhesives at finger-joints in beech wood.** World conference on timber engineering – WCTE. Quebec, 2014.

VRAZEL, M.; JR, T. S. **The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger-joint.** [Forest Products Journal](#) 54(3):66-75. 2004.

WALFORD, B. G. **Effect of finger length on finger-joint strength in radiata pine.** **Proceedings of the wood timber engineering conference.** Whistler, Canada. 2000.

WU, S.; PAUL, C. W. **Moisture curing, liquid polyurethane adhesive for structural Wood bonding applications.** Forest Products Society, Wood Adhesives, 2005. IN: PETRAUSKI, S. M. F. C. Desenvolvimento de pórticos de madeira laminada colada de eucalipto, utilizando adesivos à base de resorcinol e óleo de mamona. Tese (Doutorado). Viçosa – MG. 119f. 2012.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada.** São Carlos: Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos, da Universidade de São Paulo, 2003, p. 82. In: CUNHA, A. B. da; MATOS, J. L. M. de. Estimativa do módulo de elasticidade em vigas laminadas coladas pelos métodos estático e dinâmico. FLORESTA, Curitiba, PR, v. 41, n. 1, p. 97-112, 2011.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada.** São Carlos, 2003. 78p. Dissertação

(Mestrado) – Escola de Engenharia de São Carlos,
Universidade de São Paulo.

ANEXOS

Estatística da Análise de Correlação

	l	t	b	Ângulo	Grau de enfraquecimento
Número de amostras	171	171	171	171	171
Média	20,5274	6,26023	1,11532	5,61795	0,17807
Desvio Padrão	0,63152	0,18323 9	0,19872 3	0,641065	0,0318326
Coefficiente de variação	3,07647 %	2,92703 %	17,8176 %	11,411%	17,8764%
Mínimo	19,23	5,83	0,62	4,03	0,1
Maximo	21,9	6,95	1,75	6,95	0,28
Range	2,67	1,12	1,13	2,92	0,18
Std. skewness	- 0,21141 5	2,45053	1,49243	-1,69865	0,98659
Std. kurtosis	-2,91079	1,55043	0,51718	-1,07494	-0,0295249

	Pressão (MPa)	Densidade (g/cm ³)	Tensão Máxima (MPa)	Tensão
Média	1,80596	0,369181	34,0488	1,48316
Desvio Padrão	1,2633	0,0793791	17,1336	0,20417 3
Coefficiente de variação	69,9514%	21,5014%	50,3208%	13,7661 %
Mínimo	0,5	0,271	10,94	1,04
Maximo	3,9	0,493	83,33	1,92
Range	3,4	0,222	72,39	0,88
Std. skewness	3,12981	1,01382	6,1923	1,37246
Std. kurtosis	-3,29709	-3,31379	1,59977	-1,32403

Estatística da Análise do Adesivo

ANOVA para o fator Adesivo

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
Efeitos Principais					
A: Adesivo	1,21371	2	0,606855	17,36	0,0000

Resíduo	5,87299	168	0,0349582		
TOTAL (Corrigido)	7,08669	170			

Tabela dos intervalos de confiança

Nível	Contagem	Média	Erro Padrão	Limite inferior	Limite superior
Adesivo					
Melamina	29	1,66724	0,0347197	1,5987	1,73578
PUR	52	1,42635	0,0259282	1,37516	1,47753
Resorcina	90	1,45667	0,0197085	1,41776	1,49557

Teste múltiplo Adesivo x Tensão de tração

Método de Tukey a 95% de significância

Adesivo	Número	LS Mean	LS Sigma	Homogeneidade dos grupos
PUR	52	1,42635	0,0259282	X
Resorcina	90	1,45667	0,0197085	X
Melamina	29	1,66724	0,0347197	X

Contrastes	Sig.	Diferença	+/- Limites
Melamina - PUR	*	0,240895	0,102421
Melamina - Resorcina	*	0,210575	0,0943626
PUR - Resorcina		-0,0303205	0,0769783

* Denota diferença estatisticamente significativa.

Densidade

ANOVA para o fator Densidade

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
Efeitos principais					
A:Densidade	3,7875	3	1,2625	63,91	0,0000
Resíduo	3,29919	167	0,0197557		
Total (Corrigido)	7,08669	170			

Tabela dos intervalos de confiança

Nível	Contagem	Média	Erro Padrão	Limite inferior	Limite superior
-------	----------	-------	-------------	-----------------	-----------------

Densidade					
DA	47	1,35957	0,020502	1,3191	1,40005
DB	31	1,7871	0,0252444	1,73726	1,83694
DC	45	1,41689	0,0209527	1,37552	1,45826
DD	48	1,47	0,0202873	1,42995	1,51005

Teste Múltiplo entre Densidade x Tensão de tração

Método de Tukey a 95% de significância

Densidade	Contagem	LS Mean	LS Sigma	Homogeneidade dos grupos
DA	47	1,35957	0,020502	X
DC	45	1,41689	0,0209527	XX
DD	48	1,47	0,0202873	X
DB	31	1,7871	0,0252444	X

Contrastes	Sig.	Diferença	+/- Limites
DA - DB	*	-0,427522	0,0845448
DA - DC		-0,0573144	0,0762094
DA - DD	*	-0,110426	0,0749828
DB - DC	*	0,370208	0,0852883
DB - DD	*	0,317097	0,0841941
DC - DD		-0,0531111	0,0758201

* Denota diferença estatisticamente significativa.

Espécie

ANOVA realizada para resistência à tração x espécie

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
Efeitos Principais					
A:Espécie	0,347744	2	0,173872	4,33	0,0146
Resíduo	6,73895	168	0,0401128		
Total (Corrigido)	7,08669	170			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabela dos intervalos de confiança

Nível	Contagem	Média	Erro Padrão	Limite inferior	Limite superior
	m				

Eucalipto	77	1,528 7	0,0228242	1,48364	1,57376
Paricá	48	1,47	0,0289082	1,41293	1,52707
Pinus	46	1,420 65	0,0295299	1,36235	1,47895

Teste Múltiplo entre Espécie x Tensão de tração

Método de Tukey a 95% de significância

Espécie	Contagem	LS Mean	LS Sigma	Homogeneidade dos grupos
Pinus	46	1,42065	0,0295299	X
Paricá	48	1,47	0,0289082	XX
Eucalipto	77	1,5287	0,0228242	X

Contrastes	Sig.	Diferença	+/- Limites
eucalipto - parica		0,0587013	0,0870568
eucalipto - pinus	*	0,108049	0,0882149
parica - pinus		0,0493478	0,0976738

* Denota diferença estatisticamente significativa.

Geometria

ANOVA para resistência à tração x geometria

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
A:Geometria	2,5293	2	1,26465	46,62	0,0000
Resíduo	4,5574	168	0,0271274		
Total (Corrigido)	7,08669	170			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabela dos intervalos de confiança

Nível	Contag em	Média	Erro Padrão	Limite inferior	Limite superior
Geometria					
A	68	1,37426	0,0199733	1,33483	1,4137
B	61	1,64426	0,0210882	1,60263	1,68589
C	42	1,42548	0,0254144	1,3753	1,47565

Teste Múltiplo entre Geometria x Tensão de tração

Método de Tukey a 95% de significância

Geometria	Contagem	LS Mean	LS Sigma	Homogeneidade dos grupos
A	68	1,37426	0,0199733	X
C	42	1,42548	0,0254144	X
B	61	1,64426	0,0210882	X

Contrastes	Sig.	Diferença	+/- Limites
A - B	*	-0,269998	0,0686517
A - C		-0,0512115	0,0763999
B - C	*	0,218786	0,0780557

* Denota diferença estatisticamente significativa.

Pressão

ANOVA para resistência à tração x Pressão de Colagem

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
A:Pressão	3,9891	7	0,569872	29,99	0,0000
Resíduo	3,09759	163	0,0190036		
Total (Corrigido)	7,08669	170			

All F-ratios are based on the residual mean square error.

Tabela dos intervalos de confiança

Nível	Contagem	Média	Erro Padrão	Limite inferior	Limite superior
Pressão					
PA	33	1,3403	0,0239972	1,29292	1,38769
PB	18	1,36722	0,0324924	1,30306	1,43138
PC	17	1,44765	0,0334344	1,38163	1,51367
PD	30	1,79367	0,0251685	1,74397	1,84337
PE	31	1,49968	0,0247593	1,45079	1,54857
PF	14	1,405	0,0368429	1,33225	1,47775
PG	14	1,42571	0,0368429	1,35296	1,49847
PH	14	1,44571	0,0368429	1,37296	1,51847

Teste Múltiplo entre Geometria x Tensão de tração

Método de Tukey a 95% de significância

Pressão	Contagem	LS Mean	LS Sigma	Homogeneidade dos Grupos
PA	33	1,3403	0,0239972	X
PB	18	1,36722	0,0324924	X
PF	14	1,405	0,0368429	XX
PG	14	1,42571	0,0368429	XX
PH	14	1,44571	0,0368429	XX
PC	17	1,44765	0,0334344	XX
PE	31	1,49968	0,0247593	X
PD	30	1,79367	0,0251685	X

Contrastes	Sig.	Diferença	+/- Limites
PA - PB		-0,0269192	0,124034
PA - PC		-0,107344	0,126372
PA - PD	*	-0,453364	0,106783
PA - PE	*	-0,159374	0,105877
PA - PF		-0,064697	0,135013
PA - PG		-0,0854113	0,135013
PA - PH		-0,105411	0,135013
PB - PC		-0,0804248	0,14316
PB - PD	*	-0,426444	0,126204
PB - PE	*	-0,132455	0,125438
PB - PF		-0,0377778	0,150842
PB - PG		-0,0584921	0,150842
PB - PH		-0,0784921	0,150842
PC - PD	*	-0,34602	0,128503
PC - PE		-0,0520304	0,127751
PC - PF		0,0426471	0,152771
PC - PG		0,0219328	0,152771
PC - PH		0,00193277	0,152771
PD - PE	*	0,293989	0,108411

PD - PF	*	0,388667	0,137009
PD - PG	*	0,367952	0,137009
PD - PH	*	0,347952	0,137009
PE - PF		0,0946774	0,136305
PE - PG		0,0739631	0,136305
PE - PH		0,0539631	0,136305
PF - PG		-0,0207143	0,159993
PF - PH		-0,0407143	0,159993
PG - PH		-0,02	0,159993

* Denota diferença estatisticamente significativa.

Regressão Múltipla – Resistência à Tração Paralela às Fibras

Parâmetro	Estimativa	Erro Padrão	Estatística T	P-Valor
Constante	1,07122	0,116814	9,17027	0,0000
Ângulo	0,0445537	0,0224272	1,98659	0,0486
Pressão (MPa)	0,0895044	0,0113808	7,86454	0,0000

ANOVA

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
Modelo	2,90516	2	1,45258	58,36	0,0000
Resíduo	4,18154	168	0,0248901		
Total (Corrigido)	7,08669	170			

$R^2 = 40,9946$ por cento

R^2 (ajustado) = 40,2921 por cento

Estimativa do erro padrão. = 0,157766

Media do erro absoluto = 0,126924

Estatística de Durbin-Watson = 1,72588 (P=0,0365)

A equação do modelo que melhor se enquadra na situação verificada é:

$$\text{Tensão} = 1,07122 + 0,0445537 * \hat{\text{Ângulo}} + 0,0895044 * \text{Pressão}$$

ANOVA para as variáveis na ordem considerada.

	Soma dos Quadrados	Df	Quadrado Médio	F	P-Valor
Ângulo	1,36568	1	1,36568	54,87	0,0000
Pressão (MPa)	1,53948	1	1,53948	61,85	0,0000
Modelo	2,90516	2			

Intervalo de confiança a 95%.

Parâmetro	Estimativa	Erro padrão	Limite inferior	Limite superior
Constante	1,07122	0,116814	0,840603	1,30183
Ângulo	0,0445537	0,0224272	0,000278158	0,0888292
Pressão (MPa)	0,0895044	0,0113808	0,0670367	0,111972

Matriz de Correlação para a estimativa dos coeficientes.

	Constante	Ângulo	Pressão (MPa)
Constante	1,0000	-0,9836	0,4066
Ângulo	-0,9836	1,0000	-0,5401
Pressão (MPa)	0,4066	-0,5401	1,0000