



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO-SENSU
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS-PPGCIFA**



ESTUDO DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA COMPOR VIGAS LAMINADAS

AIDSON PONCIANO DIAS

FINANCIAMENTO: INCT MADEIRAS DA AMAZÔNIA/CNPq/FAPEAM

Manaus
2014



UNIVERSIDADE FEDERAL DO AMAZONAS

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS

**PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO STRICTO-SENSU
EM CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS-PPGCIFA**



ESTUDO DE MADEIRA AMAZÔNICA PARA COMPOR VIGAS LAMINADAS

AIDSON PONCIANO DIAS

Dissertação, apresentado ao Programa de Pós-Graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, como requisito para obtenção do título de Mestre em Ciências Florestais e Ambientais, área de concentração Manejo e Tecnologias de Produtos Florestais e Ambientais.

Orientador: Prof. Dr^a Claudete Catanhede do Nascimento

Manaus
2014

Ficha Catalográfica

(Catalogação realizada pela Biblioteca Central da UFAM)

Dias, Aidson Ponciano.

D541e Estudo de madeira amazônica para compor vigas laminadas /Aidson Ponciano Dias. - 2014.

74 f. : il. color..

Dissertação (mestrado em Ciências florestais e ambientais) —
Universidade Federal do Amazonas.

Orientador: Prof^a. Dr^a. Claudete Catanhede do Nascimento.



Poder Executivo
Ministério da Educação
Universidade Federal do Amazonas
Faculdade de Ciências Agrárias
Programa de Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA



PARECER
Defesa nº 157

A banca examinadora, instituída pelo colegiado do Programa de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais, da Faculdade de Ciências Agrárias da Universidade Federal do Amazonas, após arguir do mestrando AIDSON ROCHA MACHADO em relação ao seu trabalho de dissertação intitulado "ESTUDO DE MADEIRA AMBROSÍDICA PARA COMPOR VIGAS LAMINADAS", é de parecer favorável à defesa do mestrando habilitando ao título de Mestre "*Magister Scientiae*" em Ciências Florestais e Ambientais, na área de concentração em CIÊNCIAS FLORESTAIS E AMBIENTAIS.

Dra. Claudete Catanhede do Nascimento
Pesquisadora do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Presidente da banca examinadora

Dr. Joaquim dos Santos
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Primeiro examinador

Dr. Estevão Vicente Cavalcante Monteiro de Paula
Pesquisador do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia
Segundo examinador

Manaus, 12 de maio de 2014.

Prof. Dr. Marcil José Ferreira
Coordenador do Programa de Pós Graduação em
Ciências Florestais e Ambientais - PPGCIFA

A minha querida e amada
esposa e filhos, pelo
Incentivo para realização
deste trabalho

AGRADECIMENTOS

- A Profa. Dra. Claudete Catanhede, minha orientadora, pela paciência e colaboração durante os anos que me orientou.
- Ao Professor, Dr. Estevão Monteiro de Paula, que com seus conhecimentos e sugestões participou da co-orientação desta pesquisa.
- À Universidade Federal do Amazonas, que me proporcionou a oportunidade de cursar pós-graduação em um curso de excelência como o Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais.
- Ao Curso de pós-graduação em Ciências Florestais e Ambientais da Universidade Federal do Amazonas, pelo apoio que me foi dado para a conclusão desta pesquisa.
- Ao Instituto Nacional de Pesquisa da Amazônia – INPA, por meio do projeto INCT Madeiras da Amazônia.
- Aos técnicos do Laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira – LEAM do INPA., em especial ao Eng. Roberto Daniel e ao técnico Gean dos Santos.
- À Empresa, Portela em especial ao Eng. Juscelino Portela e toda a sua equipe.
- Às s pessoas mais importantes da minha vida, minha sempre amada esposa, Rose Dias, meus preciosos filhos, Aidson Júnior, Helem e meus amados netos, Theo, Lara e Gabriel meu genro André e minha querida nora Erijane, presentes de Deus, os quais abdicaram de muitos momentos comigo, sabendo compreender minha ausência e minha ansiedade, dando-me a energia necessária para os dias difíceis.
- A Deus, criador de todas as coisas, que me guarda e me conduz e que nunca se ausentou de mim, proporcionando-me o privilégio de ter realizado e feliz.

"Nossas dvidas são traiçoeiras e nos fazem perder o que de melhor poderíamos ser e ter, por medo de tentar."

(William Shakespeare)

RESUMO

A utilização de vigas compostas de madeira, formadas pela união de peças de pequenas dimensões, vem alcançando importância no setor de estruturas de madeira do Brasil, principalmente em virtude da escassez de peças sólidas de grandes dimensões. Este trabalho teve como objetivo o estudo teórico e experimental de vigas laminadas composta utilizando duas espécies de madeiras Amazônica, indo de encontro a várias teorias de que MLC deve ser construídas com madeiras de baixa densidade com uma única espécie. A aferição experimental dos modelos teóricos com estudo foi feita por meio de ensaios de flexão em protótipos de vigas compostas por duas (2) espécies Itaúba (*Mezilaurus itaúba*) e Cumaru (*Dipteryx odorata (Aubl.) Will.*). Concluindo, que vigas composta com mais de uma espécie de madeira da Amazônica pode ser produzida, desde que, levem em consideração a similaridade das propriedades física das espécies para uso do adesivo adequado como foi verificado nesta pesquisa.

Palavras chaves: Vigas laminadas, madeira, espécies Amazônica, estrutura de madeira,

ABSTRACT

The use of composite wood beams, formed by the union of small parts , has gained importance in the structural timber industry in Brazil , mainly due to the scarcity of large solid pieces. This study aimed to theoretical and experimental study of composite laminated beams using two species of Amazonian woods, going against the various theories that MLC must be built with low-density woods with a single species. The experimental verification of theoretical models to study was made by means of bending tests on prototype composed of two (2) species Itaúba (*Mezilaurus itaúba*) and Cumaru (*Dipteryx odorata* (Aub.) Willd.) beams. In conclusion , it consists of more than one wood species of the Amazon beams can be produced , provided that take into account the similarity of the physical properties of the species to use the appropriate adhesive as was verified in this study .

Keywords: laminated beams, wood, Amazon species, wooden structure.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|--|----|
| Figura 1: Tipos de usinagem das emendas..... | 28 |
| Figura 2: Tipos de usinagem das emendas dentadas..... | 28 |
| Figura 3: A - Corte das lâminas B - lâminas cortadas..... | 34 |
| Figura 4: A -.Mistura da cola, B.- Pesagem da lâmina sem cola..... | 35 |
| Figura 5: A - Pesagem da lâmina com cola B - Viga com cola..... | 35 |
| Figura 6: A - Aplicação da cola, B - Montagem da viga..... | 36 |
| Figura 7: A- Prensa sem carga B- Prensa com carga total..... | 37 |
| Figura 8: Blocos para teste de delaminação..... | 37 |
| Figura 9: A - Medição e marcação dos blocos B - Pesando os bloco..... | 38 |
| Figura 10: A - Blocos nas cubas com água B - Cubas no Autoclave..... | 38 |
| Figura 11: A - Vedação do Autoclave B - Autoclave vedado..... | 39 |
| Figura 12: A- Verificando a pressão B- Abertura do autoclave..... | 39 |
| Figura 13: A- Avaliação visual B- Blocos no saco..... | 40 |
| Figura 14: A - Secagem B - Delaminação..... | 40 |
| Figura 15: Medidor de umidade por contato..... | 43 |
| Figura 16: A - Pessando a madeira B - Stress Wave Times..... | 45 |
| Figura 17: A - Secionando laminas B - Aplainando as laminas C- Lâminas visualmente sem defeitos D - Medidor de teor de umidade E- Medição com equipamento Stress Wave Timer..... | 46 |
| Figura 18: A e B - Preparação do adesivo..... | 47 |

| | |
|---|----|
| Figura 19: A - Limpeza das lâminas B – Marcação das lâminas | 47 |
| Figura 20: A -Peso das lâminas B – distribuição do adesivo..... | 48 |
| Figura 21: A- Sequências das lâminas B -Montagem das vigas C- Vigas na prensa | 48 |
| Figura 22: A. Aplicação de carga B. Relógio de pressão de carga | 49 |
| Figura 23: A-Viga na plaina de dupla face B-dimensionamento da viga | 49 |
| Figura 24: Desenho esquemático do equipamento | 50 |
| Figura 25: A – Furação do suporte B- Fixação do suporte C – Suporte da viga | 51 |
| Figura 26: Viga de aço para distribuição da carga | 51 |
| Figura 27: Viga bi-apoia | 52 |
| Figura 28: Dendrograma (2012) | 58 |
| Figura 29: Classe de qualidade da madeira Itaúba | 62 |
| Figura 30: Classe de qualidade da madeira Cumaru | 62 |
| Figura 31: Viga 01, 03 | 63 |
| Figura 32: Viga 02 e 04 | 63 |
| Figura 33: A; B: C e D - Rompimento das vigas..... | 64 |
| Figura 34: A e B - Análise das rupturas das vigas..... | 65 |

LISTA DE TABELAS

| | |
|--|----|
| Tabela 1: Pressão de colagem das ligações de continuidade das lâminas..... | 29 |
| Tabela 2: Propriedades mecânicas da <i>Dipteryx odorata</i> | 31 |
| Tabela 3: Propriedades mecânicas da (<i>Mezilaurus itaúba</i>)..... | 32 |
| Tabela 4: Espécies selecionadas para teste de colagem..... | 34 |
| Tabela 5: Espécies de madeira pesquisadas pela Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais – CPPF do Instituto do Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA | 41 |
| Tabela 6: Teste de delaminação com as treze espécies..... | 56 |
| Tabela 7: Propriedades tecnológicas de 30 espécies de madeiras da Amazônia..... | 57 |
| Tabela 8: Espécies agrupadas | 58 |
| Tabela 9: Grupos de espécies selecionadas..... | 59 |
| Tabela 10: Estatística do módulo de elasticidade dinâmico e densidade aparente... | 60 |
| Tabela 11: Teste F | 61 |
| Tabela 12: Classe de qualidade para o Módulo de elasticidade dinâmico | 61 |
| Tabela 13: Carga máxima suportada pela vigas | 66 |

LISTA DE GRÁFICOS

| | |
|--|----|
| Gráfico 1: Carga e cisalhamento da viga 1 e 3..... | 66 |
| Gráfico 2: Carga e cisalhamento da viga 2 e 4..... | 66 |

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

SIGLA = SIGNIFICADO

D_b= Densidade básica

V_v= Volume verde da amostra

P_s= Peso seco da amostra

R = Retratibilidade linear em %;

D_v = Dimensão linear na condição de volume verde ou saturado, em cm;

D_u = Dimensão linear na condição de umidade desejada, em cm.

R_v = Retratibilidade volumétrica em %;

V_v = Volume verde ou saturado (máximo)

V_u = Volume na umidade desejada U% (cm³).

RT – Retratibilidade tangencial;

RR – Retratibilidade radial.

V = Velocidade de propagação da onda (μ/s);

L = Distância percorrida pela onda (μ) – comprimento do corpo-de-prova;

t = Tempo de propagação da onda (μs);

E_M = Módulo de elasticidade na flexão (MPa);

MOEd = Módulo de elasticidade dinâmico;

δ = Massa específica do material (kgf/m³);

G = Aceleração da gravidade (9,804 m/s²);

V = Velocidade de propagação da onda longitudinal (m/s)

L_d = Comprimento do dente (mm)

SUMÁRIO

| | |
|--|-----------|
| INTRODUÇÃO | 18 |
| 1 CONTEXTUALIZAÇÕES DA PESQUISA | 18 |
| 2 OBJETIVOS | 17 |
| 2.1 OBJETIVO GERAL | 17 |
| 2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS | 17 |
| 3 HIPÓTESES DA PESQUISA | 17 |
| 4 REVISÃO DA LITERATURA | 20 |
| 4.1 VANTAGENS DA MLC | 21 |
| 4.2 DESVANTAGENS | 22 |
| 4.3 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA MLC | 22 |
| 4.3.1 Madeira | 22 |
| 4.3.2 Adesivos | 23 |
| 4.3.2.1 – Secagem; | 24 |
| 4.3.2.2 – Classificação das peças de madeira | 25 |
| 4.3.2.3- Classificação visual | 25 |
| 4.3.2.4- Classificação pelo módulo de elasticidade | 26 |
| 4.3.3 – Ligações para Vigas Laminadas | 27 |
| 4.3.4 – Pressão de Colagem | 28 |
| 4.3.4.1- Prensagem | 29 |
| 4.3.5. Preparação da matéria prima | 30 |
| 4.4 CUMARU - <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Willd | 30 |
| 4.5 ITAÚBA (<i>Mezilaurus itaúba</i> (meissn) Taub. | 31 |
| 5. MATERIAL E MÉTODOS | 32 |
| 5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA | 32 |
| 5.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 33 |
| 5.3 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES PARA TESTE DE COLA | 33 |
| 5.3.1 Teste de colas | 34 |
| 5.4- FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS | 40 |
| 5.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS | 42 |
| 5.5.1 Determinação da Densidade aparente | 42 |
| 5.5.2 Conteúdo de umidade | 43 |

| | |
|--|-----------|
| 5.6. CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS PARA COMPOR AS VIGAS POR METODO NÃO DESTRUTIVO | 43 |
| 5.7 COMPOSIÇÃO DA VIGA E ANALISE | 45 |
| 5.8 PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS. | 45 |
| 5.8.1 Montagem da viga com as duas espécies selecionadas | 46 |
| 5.8.2 Análise dos Dados Teóricos | 52 |
| 5.8.2.1 Verificação da estabilidade | 53 |
| 5.8.2.2 Cálculo da carga máxima | 53 |
| 5.8.2.3 Cálculo de Ruptura | 54 |
| 6 RESULTADO E DISCURSÃO | 55 |
| 6.1 TESTE DE COLAGEM | 55 |
| 6.2 AGRUPAMENTO PARA SELEÇÃO DAS ESPÉCIES PARA COMPOSIÇÃO DAS VIGAS | 56 |
| 6.3 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVO DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE ITAÚBA E CUMARU | 59 |
| 6.4. AVALIAÇÃO DAS VIGAS CONFECCIONADAS | 67 |
| 6.4.1- Calculo teórico das espécies | 67 |
| 7 CONCLUSÃO | 72 |
| 8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 73 |

INTRODUÇÃO

1 CONTEXTUALIZAÇÕES DA PESQUISA

No Brasil, a madeira desempenha um grande papel como material junto à construção civil. A produção mundial de madeira para fins estruturais encontra-se por volta de 10^9 toneladas por ano (Macedo 2000), o que torna este material muito importante no contexto mundial. O Brasil apresenta uma grande disponibilidade de madeira, oriunda de reservas tropicais e reflorestamento, que precisa ser explorada adequadamente.

Entretanto com a diminuição das reservas de florestas nativas, torna-se necessário o desenvolvimento de alternativas viáveis para utilização racional da madeira. Perante esta realidade, a madeira laminada colada (MLC) aparece como uma alternativa viável para o aproveitamento racional deste material. A versatilidade da MLC com respeito às formas, dimensões e resistência dos elementos estruturais, aliada ao aumento da durabilidade proporcionado pelo tratamento com preservativo sobre pressão, vêm ampliando seu uso em diversos países.

Desta forma torna-se necessário o conhecimento de vários fatores que influenciam nas características de resistência e rigidez das vigas de MLC. Entre estes fatores podem-se destacar os aspectos relacionados à resistência como: espécies de madeira, resistência da madeira, secagem, quantidade de nós, direção das fibras e módulo de elasticidades das lâminas. Também aspectos relacionados à fabricação tais como: posição da emenda longitudinal e lateral, quantidade, posição e espessura das lâminas e dimensões das peças.

Estudos revelam que o comportamento mecânico de um compósito laminado reforçado com fibras é fortemente dependente das direções das fibras de reforço. Por esta razão uma estrutura laminada tem de ser projetada de forma a satisfazer os requisitos particulares de cada aplicação concreta, com vista à obtenção das máximas vantagens estruturais destes materiais. (TELES 2009)

A floresta Amazônia é composta por uma variedade de espécies de madeira relacionada aos seus elementos estruturais e cores de seu material lenhoso bem diversificado, algumas vezes encontrado essa variação em uma mesma espécie, podendo ser utilizadas em vários segmentos da indústria da madeira para valorização desta matéria prima. Apesar da variabilidade de espécies existentes na floresta e de estudos tecnológicos com 250 espécies de madeira diferentes, desenvolvidos pelas Instituições de pesquisas e Universidades, percebe-se desvalorização das madeiras destas espécies e escassez de estudo com vigas laminadas coladas com madeiras da Amazônia que poderia ser uma nova oportunidade de negocio para o Estado e Municípios com produção de elementos estruturais de madeira de baixo valor agregado.

Dada à diversidade de espécies de madeiras na floresta Amazônica, dos estudos tecnológicos desenvolvidos com algumas destas espécies, das madeiras comercializadas, falta de conhecimento de construção de vigas laminadas coladas (MLC) com madeiras da Amazônia, e da produção de elementos estruturais com madeira de baixo valor agregado e do baixo aproveitamento de espécies florestais existente na Amazônia, a pesquisa proposta busca agrupar espécies de madeira da Amazônia para compor vigas laminadas coladas (MLC), analisando a Densidade básica; estabilidade dimensional; módulo de ruptura (MOR); módulo de elasticidade (MOE); secagem; Tipo de cola; colagem; laminação; relação cola madeira; tipo de cura da cola; pressão de prensagem; ligações (Finger Joint) e processo de colagem.

O objetivo deste estudo consiste na utilização de espécies de madeiras Amazônica na produção de lâminas para confecção de vigas laminadas (MLC).

2 OBJETIVOS

2.1 OBJETIVO GERAL

- Avaliar a utilização de espécies de madeiras da Amazônia para fabricação de vigas laminadas coladas.

2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Avaliar a viabilidade de construção de vigas laminadas coladas constituída de diferentes espécies de madeira.

3 HIPÓTESES DA PESQUISA

As vigas de madeira laminadas coladas tem um estágio bem desenvolvidos nos países de clima temperado. Ao longo da evolução dos estudos sobre construção de vigas laminadas, foram conhecidas características da madeira e técnicas de processos de fabricação relevantes para obtenção de uma viga resistente. Evidentemente, as espécies de madeira utilizadas para este fim são coníferas com média e baixa densidade.

Por outro lado as espécies Amazônicas, que em geral tem alta densidade e pouca porosidade, não têm sido estudadas para fins de construção de vigas laminadas. Portanto, esta pesquisa foi desenvolvida em duas fases: a primeira consistiu em estudar preliminarmente a eficiência da colagem de algumas espécies amazônica e a segunda foi avaliar a construção de uma viga laminada colada constituída de **diferentes espécies de madeira**.

A primeira fase tem como premissa de que se existe conhecimento técnico científico sobre as variáveis que influenciam no processo de colagem e de fabricação de vigas laminadas. Foi possível com base nas informações já existentes, identificar preliminarmente algumas espécies que demonstraram aptidão a colagem e conseqüentemente a fabricação de vigas.

A segunda fase foi mais complexa, pois ao se aprofundar sobre fabricação de vigas laminadas de madeiras dentre tantas conclusões chega-se uma que é básica e clássica que é – vigas laminadas de madeira devem ser feitas com somente uma espécie.

Tal conclusão é justificada (com razão) pelo fato de que as peças devem ter a mesma estabilidade dimensional, ou seja, coeficientes de retrações teoricamente iguais. Partindo deste princípio pode se estabelecer as seguintes premissas:

1- A determinação dos coeficientes de retrações é resultado de uma análise amostral que apresenta uma distribuição normal com coeficientes de variações conhecidos; ou seja, embora se trabalhe com uma mesma espécie temos variações de coeficientes de retração;

2- Embora possam existir espécies de madeiras diferentes com valores de coeficientes de retrações próximos, a velocidades de retração entre as espécies podem ser diferenciadas; por exemplo, uma espécie com um determinado valor de coeficiente de retração possui um ponto de saturação de 33 e uma outra espécie que tenha um valor de coeficiente de retração próximo ao da primeira mas seu ponto de saturação é de 23% significa que as espécies devem retrair ou inchar como velocidades diferentes.

As premissas supracitadas permitiram formular a seguintes hipóteses:

Hipótese 1 – O agrupamento do coeficiente de retração de diferentes espécies em um intervalo igual ao coeficiente de variação médio das médias dos coeficientes de retração da mesma espécie, posso formar uma viga de diferentes espécies cujas laminas tenham estabilidade dimensional próxima ao de uma da mesma espécie.

Hipótese 2 - Se as espécies agrupadas em função da variabilidade média dos coeficientes de retrações das espécies individuais tiverem pontos de saturação aproximados, é possível que as lâminas se retraiam ou inchem com velocidades aproximadamente iguais.

As hipóteses 1 e 2 são indicadores confiáveis para formular a seguinte afirmativa: É possível construir uma viga Laminada colada de madeira com diferentes espécies se conseguirmos agrupá-las dentro de uma taxa de retração aproximada, e de uma variabilidade igual a variação das médias de diferentes espécies com diferentes coeficientes retrações.

4 REVISÃO DA LITERATURA

Atualmente a madeira apresenta-se como um material versátil e econômico viável para a construção civil por estar sendo empregada em projetos construtivos mais eficientes. A classificação segundo Carreira (2003) esta sendo realizado por meio de testes não destrutivos, como: tensões, vibração transversal, ultra-som e visual.

A madeira no Brasil é utilizada na construção civil em diversos usos temporários (fôrmas para concreto, andaimes e escoramentos), de forma definitiva (estruturas de cobertura, esquadrias, portas e janelas), forros e piso, (IPT, 2003).

Madeira laminada colada (MLC), conhecida também como *glued laminated timber* ou *glulam*, é um dos produtos engenheirados de madeira (PEM) mais antigos utilizado no setor da construção civil. É caracterizada pela abrangência de dimensões e por possuir uma variedade de formação de peças estruturais. Os elementos estruturais são formados por lâminas de madeira de determinada seção transversal, consolidadas entre si, com o emprego de adesivo entre suas camadas e pressão.

Góes (2002) afirma que o uso de peças compostas de madeira apresenta características que permitem o emprego em diversos tipos de construções, com destaque para a possibilidade de um maior aproveitamento do comprimento da tora para atingir grandes vãos. A madeira laminada colada é utilizada em coberturas, pilares de estruturas, como elementos estruturais de pontes e de edifícios bem como partes decorativas, esquadrias e móveis, (ZANGIÁCOMO, 2003).

Em função da homogeneização do processo de fabricação da MLC é superior ao da madeira serrada, pois a presença de nós e defeitos da madeira são distribuídos ao longo da peça e de forma mais aleatória. A MLC teve origem na Suíça, onde foi observada no final do século XIX a técnica de laminação em pequenas peças de madeira para a formação de grandes elementos estruturais. A técnica ficou conhecida como “Hetzer System”, patenteada por Hetzer.

Entretanto, essa patente utilizava adesivos que não eram resistentes à água, o que limitava o seu uso em ambientes internos ou em lugares secos. Apesar disso, o Sistema Hetzer, como conhecido hoje, se tornou mais evidente a partir de 1913 quando a técnica se expandiu e começou a ser utilizada na montagem de coberturas

e pontes, sendo então aceito em outros países da Europa, como Dinamarca, Suécia e Noruega.

Nos Estados Unidos, um dos primeiros exemplos da utilização da MLC foi em uma construção do *Forest Product Laboratory* em Madison, Wisconsin construído em 1934, o qual foi projetado com base nos princípios de engenharia para sistema de arcos (SMULSKI, 1997).

Enquanto, no Brasil, a empresa pioneira na industrialização e confecção de MLC foi a Esmara Estruturas de Madeiras Ltda, fundada em 1934 em Curitiba (PR) com tecnologia trazida por alemães. Atualmente, a Battistella Indústria e Comércio Ltda, localizada em Lages (SC), é a empresa mais antiga no ramo, com mais de 40 anos de existência, e vem atuando no setor produzindo peças e casa pré-fabricadas com uma larga utilização de MLC em suas peças estruturais. Observa-se ainda a existência de pequenas empresas na região Sudeste, principalmente em Minas Gerais, na região metropolitana de Belo-Horizonte, onde estão produzindo peças de MLC com madeira de *Eucalyptus grandis*.

4.1 VANTAGENS DA MLC

A madeira laminada colada quando comparada à madeira serrada e a outros materiais estruturais apresenta diversas vantagens, conforme USDA (1999) e Smulki (1997):

- Dimensão: A MLC pode ser composta por várias lâminas de madeiras, com dimensões variadas; grandes estruturas podem ser dimensionadas, utilizando peças de madeiras de dimensões comerciais para a confecção das peças de MLC; oferece a possibilidade de produzir grandes vãos, diferentemente da madeira sólida.

- Arquitetura: A possibilidade de criar arcos e peças curvas é um dos grandes diferenciais da MLC; com isso, uma gama de efeitos estruturais que podem ser compostos, garante uma diversidade arquitetônica aos projetistas, arquitetos e engenheiros. O raio de curvatura é controlado pela espessura das lâminas de madeira. Os elementos estruturais podem ser projetados com sua seção transversal variando ao longo de seu comprimento em função da resistência solicitada.

- Defeitos da madeira: diminuição da presença de defeitos oriundos da secagem da madeira, como rachaduras e empenos, comuns em peças de madeiras de grandes dimensões.

- Qualidade de peças: possibilita a utilização de peças de madeira menos resistentes, de qualidade inferior nas regiões onde ocorrem menores solicitações e de maior resistência nos bordos das vigas, podendo, assim, aumentar o número e combinações da montagem da MLC e homogeneizar o comportamento das peças.

- Resistência: Boa resistência quanto a ação do fogo, em função de sua seção transversal robusta; alta resistência a agentes corrosivos.

- Impacto ao meio ambiente: por poder utilizar peças de madeiras de menor qualidade, de diferentes dimensões e de várias espécies, a utilização da MLC possibilita que espécies de madeiras alternativas sejam utilizadas, diminuindo a pressão de seleção que ocorre com poucas espécies comerciais, e gerando alternativas para o uso da madeira serrada.

4.2 DESVANTAGENS

As principais desvantagens da MLC esbarram no processo de fabricação das peças, o qual é mais oneroso e demorado, necessitando de equipamentos especiais para a montagem, colagem, treinamento de funcionários, utilização de adesivos para a consolidação das peças e a modificação da planta da fábrica, os quais não são necessários para a produção de madeira serrada. Outro fator importante é o transporte das peças, que por possuírem dimensões especiais, dificultam a sua locomoção (USDA, 1999).

4.3 PROCESSOS DE FABRICAÇÃO DA MLC

A construção de uma viga laminada colada de madeira é um processo de engenharia da madeira que requer observar alguns cuidados específicos para garantir um produto de boa qualidade estrutural. O processo de fabricação exige cuidados especiais na madeira, na escolha do adesivo, no beneficiamento da madeira, na classificação da madeira, nas ligações entre peças de madeira e na pressão adequada para garantir uma boa ligação.

4.3.1 Madeira

A densidade da madeira utilizada é um fator primordial para a eficiência dos elementos estruturais de MLC. Zangiácomo (2003) e Fiorelli (2005) afirmam que

uma faixa de densidade entre 0,40 e 0,75 g/cm³ é considerada ideal para a confecção de MLC e que, possuam baixo coeficiente de retração. Madeiras com densidade acima desse valor indicado apresentam dificuldade para colagem, em função de uma baixa penetração do adesivo. Segundo a Norma NBR 7190 (1997), madeiras do gênero *Pinus* são indicadas para o uso de MLC por possuírem densidade em torno de 0,50 g/cm³.

Para Zangiácomo (2003), a indicação de uma determinada espécie para a produção de elementos estruturais de madeira laminada colada com base apenas na sua densidade poderá levar a resultados indesejados, pois tão importante quanto a densidade é a permeabilidade da espécie em relação aos adesivos disponíveis comercialmente.

4.3.2 Adesivos

Adesivo é definido como uma substância capaz de unir através do contato duas superfícies aderentes. O adesivo estrutural permite que a peça colada opere como membro estrutural por todo o seu tempo de serviço, conforme planejado CHUGG (1964). Deve mostrar completa resistência à água, calor, agentes biodegradantes e não ser poluente ao meio ambiente, KOLLMANN et al.,(1975). Albuquerque e Latorraca (2000) afirmam que a variabilidade estrutural e anatômica existente na madeira afeta de modo significativo a performance da ligação adesiva.

Enquanto, Plaster et al. (2008) indicam que a densidade da madeira é um fator que influencia diretamente na qualidade da adesão, sendo que para madeira de alta densidade ocorre um aumento da resistência e uma diminuição para o percentual de falha na madeira. Pizzi et al. (1981) relata que os adesivos mais comuns utilizados no processo de fabricação da MLC são: o resorcinol, o resorcinol-formaldeído e a base de melamina. A característica do adesivo utilizado para a fabricação da MLC é a resistência à umidade.

O resorcinol-formaldeído é uma resina de cura a frio, sendo necessário o uso de catalisador e, além da utilização em peças de madeira laminada colada, é usado em construções navais, aviação e outros. Os adesivos a base de resorcinol são capazes de suportar condições severas de exposições, como calor e umidade, e a rigidez da linha da cola. Ele produz não só ligações de altas resistências mecânicas, mas também é resistente a água e a variações climáticas. Kollmann et al. (1975)

afirma que como a resina é de cura a frio, o tempo de prensagem é variável, em função da temperatura ambiente .

A eficiência da colagem das lâminas possui ligação direta com a pressão aplicada para a consolidação da MLC. A pressão influencia na penetração do adesivo na madeira, e pressões muito altas podem gerar uma movimentação excessiva do adesivo fazendo com que ele transborde para fora da junta colada, enquanto pressões muito baixas podem diminuir a penetração do adesivo pela madeira.

A pressão de colagem também pode variar segundo a densidade da madeira. Sendo assim, para madeiras de densidade inferior ou igual a $0,5 \text{ g/cm}^3$ deve-se utilizar uma pressão de colagem igual a $0,7 \text{ N/mm}^2$ e para madeiras de densidade superior a $0,5 \text{ g/cm}^3$ pressão igual a $1,2 \text{ N/mm}^2$, ou então atender a recomendação do fabricante da cola (HENRIQUES DE JESUS, 2000).

Entretanto, Zangiácomo (2003) estudando quatro espécies tropicais para uso em MLC, afirma que é conveniente utilizar pressão de colagem de $1,6 \text{ N/mm}^2$ na confecção dos corpos-de-prova para determinação da resistência das emendas à tração. Petrusky e Della Lucia (1998) avaliaram o efeito do incremento de pressão na qualidade de juntas colada para a madeira de *Eucalyptus grandis* na ordem de $0,3$ a $1,5 \text{ N/mm}^2$, e observaram que uma pressão de $0,7 \text{ N/mm}^2$ apresenta resultados de falha na madeira equivalentes à pressões mais elevadas. Petrusky e Della Lucia (1998) avaliaram o efeito do incremento de pressão na qualidade de juntas colada para a madeira de *Eucalyptus grandis* na ordem de $0,3$ a $1,5 \text{ N/mm}^2$, e observaram que uma pressão de $0,7 \text{ N/mm}^2$ apresenta resultados de falha na madeira equivalentes à pressões mais elevadas.

4.3.2.1 – Secagem;

A secagem das lâminas é um fator significativo na qualidade das peças de MLC, pois influenciam diretamente no processo de colagem das peças. O teor de umidade ideal para as lâminas está na faixa entre 7 e 14% de umidade, em função do adesivo utilizado (SZÜCS, 1992; CHUGG, 1964). Segundo BREYER et al, 1998, deve-se evitar uso de laminas com teor de umidade diferentes para evitar contração

e inchamento das lâminas, ocasionando delaminações, em função das tensões internadas geradas.

4.3.2.2 – Classificação das peças de madeira

Quanto à classificação de acordo com NBR 7190(1997) o lote de madeira que será transformada em táboas deverá estar enquadrada nas classes de resistência definidas pela norma mencionada. Enquanto as táboas que comporão as lâminas deverão passar por uma classificação visual e pelo modulo de elasticidade.

4.3.2.3- Classificação visual

A classificação visual será a olho nu, com auxílio de instrumentos de aumento de imagem, ou ainda, equipamentos de imagem e sensores em processo informatizado.

1 - Quanto aos nós e grã: na composição das lâminas, deverão ser utilizadas tábuas que apresentem nó que ocupe menos de $\frac{1}{4}$ de sua seção transversal final, medula que ocupe menos de $\frac{1}{6}$ de sua largura final e inclinação das fibras inferior a 6° . Só deverão ser aceitas rachaduras longitudinais e que tenham extensão inferior a 30 cm.

Tábuas que atendam as recomendações do parágrafo anterior, mas que possuam nós que ocupem mais de $\frac{1}{4}$ de sua seção transversal final, poderão ser selecionadas, mas deverão ter esses nós eliminados e substituídos por ligação de continuidade, atendidas as disposições da seção 4.4.4 desta Norma.

2 - Quanto aos anéis de crescimento: no caso de espécies de crescimento rápido, deverão ser selecionadas apenas as tábuas que apresentem no mínimo 3 anéis de crescimento em 2,5 cm, medido em uma direção radial representativa.

4.3.2.4- Classificação pelo módulo de elasticidade

As tábuas que comporão as lâminas deverão passar por uma classificação mecânica prévia, não destrutiva, para a determinação do módulo de elasticidade na flexão (E_M) que deverá ser considerado como de referência para o processo de composição das peças. Essa classificação permitirá agrupar um sub-lote superior com tábuas de E_M acima da média representativa das tábuas da espécie empregada e um sub-lote inferior com tábuas de E_M abaixo dessa média.

Esse módulo de elasticidade médio na flexão, a ser considerado como representativo do lote de tábuas da espécie a ser utilizada, deverá ser obtido do ensaio preliminar de 12 tábuas escolhidas ao acaso.

A cada mudança da procedência da madeira fornecida, esse teste deverá ser repetido e sempre que houver diferença maior que 10 %, com relação ao valor médio que vinha sendo considerado para a madeira da mesma espécie, o mesmo deverá ser substituídos por esse novo valor que passará a ser o módulo de elasticidade médio representativo do lote.

As tábuas do sub-lote de E_M superior deverão ser destinadas a compor as lâminas que farão parte das quartas partes mais afastadas da linha neutra da peça de MLC e as de E_M inferior deverão ser utilizadas na composição da metade central da seção transversal dessa peça.

Para as espécies de crescimento rápido, deverá ser observado ainda que, no caso do sub-lote de E_M superior, as tábuas com maior número de anéis de crescimento em 2,5 cm, deverão ser utilizadas na composição das lâminas que ficarão mais afastadas da linha neutra.

De acordo com a ASTM D 3737 (1996), a qualidade das lâminas influencia significativamente a resistência de vigas de MLC. Sendo assim, uma classificação prévia das lâminas de madeiras utilizadas no processo de produção da MLC poderá garantir um produto de melhor qualidade e estabilidade.

Utilizando-se as lâminas de maiores resistências nas regiões das bordas externas da viga e as de menor qualidade próximas à linha neutra, a resistência e a rigidez dos elementos estruturais serão aumentadas, conforme a norma ASTM D 3737 (1996), que utiliza o método da seção transformada para avaliação da rigidez,

considerando um comportamento elástico linear da madeira. Para a determinação da resistência, é utilizado método empírico desenvolvido por Freas e Selbo (1954) que determina o coeficiente de redução da resistência da madeira em função dos defeitos existentes nas peças.

A norma ASTM D 3737 (1996) admite um valor de até $50 \text{ mm} \pm 0,30 \text{ mm}$ para a espessura das lâminas. A norma brasileira NBR 7190 (1997) considera um valor máximo de 0,30 mm.

Moody e Bohannan (1970) afirmam que o princípio básico da construção em MLC consiste em distribuir racionalmente as lâminas selecionadas para a melhor utilização do material disponível. Nesse sentido, de acordo com Grohmann e Szücs (1998), materiais com qualidades mais elevadas são colocados nas regiões do elemento que estarão mais solicitadas, e as lâminas com qualidade inferior serão posicionadas nas regiões com menores solicitações. Bodig e Jayne (1993) e Arruda (1995) apresentam estudos sobre a contribuição do momento de inércia de cada lâmina em relação ao momento de inércia total da peça.

No processo de classificação das lâminas, uma avaliação visual e mecânica é recomendada. A classificação visual tem por intuito avaliar e quantificar a presença de nós e de desvios de grã nas lâminas. As presenças desses elementos diminuem significativamente a resistência das vigas, sendo a ruptura ocasionada, normalmente na região onde ocorrem esses defeitos (COIADO e DIAS, 2004). Na classificação mecânica o processo de avaliação não destrutiva da madeira é usado para se determinar o módulo de elasticidade longitudinal (EM) das lâminas.

4.3.3 – Ligações para Vigas Laminadas

A continuidade de cada lâmina deverá ser assegurada pela união longitudinal entre as tábuas que as compõem. Essa união deverá ser realizada por colagem de entalhes múltiplos usinados nas extremidades de tábuas consecutivas.

A revisão da literatura mostra que várias foram as configurações estudadas para as emendas longitudinais, sendo que os tipos mais comuns em MLC são: as emendas de topo (*butt joints*), as emendas biseladas (*scarf joints*) e as emendas dentadas (*finger joints*).

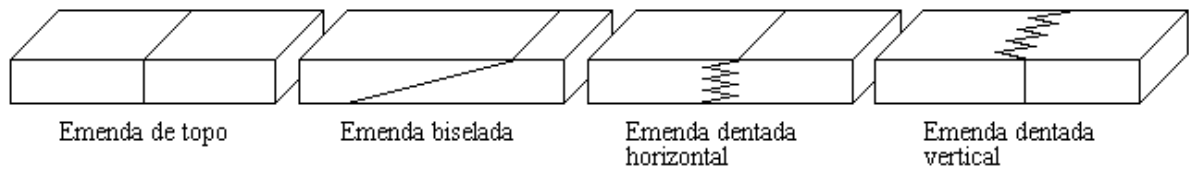


Figura 1: Tipos de usinagem das emendas

No caso dessa união ser realizada por emendas biseladas ou similar, a sua eficiência deverá ser atestada por ensaio mecânico em laboratório idôneo. As emendas de topo não deverão ser empregadas no processo de fabricação de peças estruturais de MLC. As emendas dentadas poderão ser usinadas verticalmente ou horizontalmente (Figura 2).



Figura 2: Tipos de usinagem das emendas dentadas
Fonte: http://www.salvaro.com.br/produto/linha_primer

4.3.4 – Pressão de Colagem

Os adesivos empregados nas emendas de continuidade e na fabricação das peças estruturais de MLC deverão ser estruturais e apresentar propriedades compatíveis às condições ambientais a que os elementos estruturais estarão submetidos durante toda a sua vida útil. A quantidade de adesivo e os demais parâmetros de colagem deverão seguir as recomendações dos fabricantes do adesivo, recomendando-se a comprovação experimental tanto para as emendas dentadas como para os elementos estruturais fabricados.

Na ausência de recomendação do fabricante da cola, deve-se observar que na colagem das peças de MLC a junta de cola entre lâminas deverá receber uma pressão mínima de 0,7 MPa para madeiras de densidade inferior ou igual a 0,5 g/cm³ e de 1,2 MPa para madeiras de densidade superior a 0,5 g/cm³.

Os entalhes múltiplos deverão ser colados sob a pressão indicada na Tabela 1, em função do comprimento do dente e da densidade da madeira. No entanto,

deverá ser observado que a pressão empregada não exceda o limite que provoque fissura longitudinal de extensão superior a 5 mm, na região do fundo dos dentes.

Na colagem dos entalhes múltiplos, o tempo de prensagem deverá ser de no mínimo 2 segundos.

Tabela 1: Pressão de colagem das ligações de continuidade das lâminas

| L _d (mm) | Pressão de colagem (MPa) | |
|------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| | densidade ≤ 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 |

Fonte: Associação Brasileira de Normas Técnicas NBR 7190

4.3.4.1- Prensagem

Na ausência da recomendação do fabricante da cola, a prensagem deve ser mantida por um período mínimo de 6 horas, tomando-se por base um ambiente com temperatura de 20°C e teor de umidade relativa do ar de 65 %. No caso de prensagem a quente, por resistência elétrica, hiperfrequência ou processos similares, o tempo de prensagem deverá ser atestado por laboratório idôneo, observando-se que o aumento da temperatura não provoque rachaduras superiores ao indicado nesta Norma.

Após o período de prensagem, a retirada da pressão deverá ser gradativa e aliviada em pontos alternados ao longo da peça.

4.3.5. Preparação da matéria prima

A madeira para o processo de fabricação de MLC deve ser usinada e transformada em lâminas, bitoladas, que serão identificadas por processos não destrutivos.

Para Pellerin e Ross (2002), o ensaio não-destrutivo (END) é a ciência de identificação das propriedades físicas e mecânicas de um dado material sem alterar as suas capacidades de usos finais, e usar essas informações para o uso em aplicações apropriadas do material.

O método em questão possibilita caracterizar a madeira sem obtenção de corpos de prova, pois o ensaio é realizado na própria amostra ou estrutura (OLIVEIRA, 2001). Quase todos os tipos de ensaios não destrutivos podem ser utilizados com a madeira e derivados de madeira, sendo que a escolha para a sua utilização depende da aplicação específica (BODIG, 2001).

Com o objetivo de melhorar a resistência e a rigidez das peças de VLC, pode ser feita uma disposição seletiva da qualidade das lâminas da peça. Segundo a AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION (2000), vigas de MLC devem ser produzidas com madeira de melhor resistência nas lâminas superiores e inferiores, onde ocorrem as máximas tensões de compressão e de tração.

Este conceito permite o uso mais eficiente da madeira, ao utilizar as mais resistente nas zonas de tensões máximas e as de qualidade estrutural inferior nas zonas de menores tensões. Assim a classificação estrutural das peças para fabricação de MLC torna-se imprescindível para se obter um produto eficiente.

4.4 CUMARU - *Dipteryx odorata* (Aubl.) Willd

Árvore de grande porte, com fuste ligeiramente tortuosos, superior a 60cm de diâmetro com casca lisa esverdeada, com 0,5cm de espessura, apresenta resina incolor viscosa, sapopema de ate 1 m de altura. Madeira muito pesada, cerne castanho-amarelo escuro; alburno bege-claro, grã-reversa; textura media; cheiro desagradável quando verde, desaparecendo após secagem, gosto indistinto. Nos ensaios de resistência natural realizados em laboratórios a madeira apresentou-se altamente resistente aos fungos *L. trabea*, *P. fumosus* e *P. sanguineus*. Testes de campo registraram para estacas desta madeira em contato com o solo, vida útil de 2 a 4 anos. Enquanto aos testes de laboratório o cerne mostrou-se altamente

resistente ao ataque de térmitas *Nasutitermes* sp. Segundo dados da literatura a madeira foi classificada como resistente ao ataque e térmitas.

Quanto sua trabalhabilidade considerada difícil de serrar, e fácil de aplainar, difícil de pregar e aparafusar recomendam-se pré-furação. A superfície aplainada é lisa recebe bom acabamento com tintas e vernizes. Em ensaios de preservação com produtos químicos hidrossolúveis, aplicados sob pressão, indicaram que tanto o alburno quanto o cerne dessa madeira são refratários. Podem ser utilizadas em construção pesada, dormentes, moveis pesados, cabos e objetos torneados, postes e pilares, laminados decorativos. Possui densidade básica de 0,97g/cm, contração tangencial (8,22%); radial de (5,90%) e volumétrica de 14,74%.

Tabela 2: Propriedades mecânicas da *Dipteryx odorata*

| Condição de Ensaio | Flexão estática | | Compressão paralela as fibras | Compressão perpendicular | Cisalhamento | Dureza | |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------------|-------------------|
| | MOE kg/cm ² | MOR Kg/cm ² | MOR Kg/cm ² | MOR Kg/cm ² | Tensão no limite de proporcionalidade | Paralelo Kg | Transversal Kg |
| Verde (saturada) | 158 | 1341 | 831 | 246 | 145 | 1209 | 1295 |
| Seca (12%) | 161 | 1734 | 1036 | 257 | 161 | 1224 | 1307 |

Fonte: Fonte: INPA/CPPF. 1991. Catalogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas; Área da Hidrelétrica de Balbina, Manaus/AM, 89p.

4.5 ITAÚBA (*Mezilaurus itaúba* (meissn) Taub.

Árvore grande de porte, com diâmetro superior a 80cm, fuste retilíneo, casca vermelha fissurada, com placas soltas, com 1,5cm de espessura. Madeira pesada; cerne amarelo-olivia a amarelo-pardo após secar; alburno bege-claro, com espessura media de 3,5cm; grã direita; textura media, figura pouco destacada; cheiro agradável quando trabalhada; gosto levemente distinto.

Nos ensaios de laboratórios realizados a madeira revelou resistente aos fungos *L. trabea*, *P. sanguineus* e *P. fumosus*. Nas toras cortadas e deixadas na floresta não registrou ataque e fungos após dezoito meses de exposição natural. Testes de campo indicaram que estacas diretamente em contato com o solo tem vida útil superior a 7 anos.

Sua madeira é difícil de serrar recomenda-se o uso de serras esteladas, fácil de apalinar, pregar e aparafusar. Apresenta propriedades de acabamento regulares. Quanto seu comportamento na secagem, secagem lenta com tendências a empenar e rachar. A presença de resina, comum nesta espécie, provavelmente dificulta e retarda a secagem. Quanto a preservação, em ensaios produtos químicos hidrossolúveis, aplicados sob pressão, indicaram que a madeira do alburno é difícil de tratar e o cerne é refratário. Os principais usos desta madeira é construção pesada, assoalhos, divisórias, embarcações, postes e pilares, dormentes.

Possui densidade básica de 0,70g/cm³, contração tangencial (8,60%); radial de (3,63%) e volumétrica de 13,03%.

Tabela 3: Propriedades mecânicas da (*Mezilaurus itaúba*)

| Condição de ensaio | Flexão estática | | Compressão paralela as fibras | Compressão perpendicular | Cisalhamento | Dureza | |
|--------------------|---------------------------|---------------------------|-------------------------------|---------------------------|---------------------------------------|----------|-------------|
| | MOE kg/cm ² | MOR Kg/cm ² | MOR Kg/cm ² | MOR Kg/cm ² | Tensão no limite de proporcionalidade | Paralelo | Transversal |
| Verde (saturado) | 95 | 701 | 349 | 113 | 85 | 399 | 505 |
| Seca (12%) | 133 | 1208 | 525 | 114 | 118 | 521 | 521 |

Fonte: INPA/CPFF. 1991. Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas; Área da Hidrelétrica de Balbina, Manaus/AM, 89p.

5. MATERIAL E MÉTODOS

5.1 CLASSIFICAÇÃO DA PESQUISA

A pesquisa científica pode ser classificada quanto a sua natureza; quanto à forma de abordagem, quanto aos seus objetivos e em relação aos procedimentos técnicos utilizados. Neste contexto esta pesquisa classifica-se:

Em relação à natureza a proposta da pesquisa é aplicada, pois tem o objetivo de caracterizar tecnologicamente as peças de madeira antes da composição das vigas laminadas.

Quanto à forma de abordagem a pesquisa é quantitativa, em razão de ser coletadas informações que serão capazes de descrever, por meio de números e imagens, as características peculiares da árvore em pé na floresta.

A pesquisa é exploratória e descritiva. Quanto aos procedimentos técnicos foram utilizados trabalhos já publicados como fontes de referência bibliográfica para comparação com os resultados obtidos na pesquisa, sendo sua execução em campo, ou seja, em caráter experimental.

5.2 LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

A pesquisa foi desenvolvida em três fases distintas, formação de banco de dados, teste de cola, seleção das espécies para formação das lâminas e ensaio de cisalhamento. A matéria prima utilizadas para formação das vigas foram as madeiras comercializada pela empresa Portela Wood, localizada no bairro Puraquequara, zona leste de Manaus.

5.3 SELEÇÃO DAS ESPÉCIES PARA TESTE DE COLA

Foram utilizadas nove espécies mais comercializadas pela empresa no momento da execução da proposta na condição seca (10 a 12% de umidade), foram retiradas amostra para identificação científica (família, gênero e espécie) pelo Laboratório de Anatomia da Madeira- LAM do Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA.

Com base na taxa de retração aproximada e com uma variabilidade igual a variação das médias de diferentes espécies com diferentes coeficientes de retração, foi determinado em quais espécies seriam utilizadas na confecção da viga teste.

Após identificação das espécies e verificação dos estudos tecnológicos das mesmas em literatura, foi iniciado o processo de confecção das lâminas para colagem das mesmas. As espécies selecionadas em abril de 2012 estão mencionadas na tabela 4.

Tabela 4: Espécies selecionadas para teste de colagem

| Nome vulgar | Nome científico | Densidade g/cm ³ |
|------------------|--|-----------------------------|
| Jatoba | <i>Hymenaea courbaril</i> L. | 0,96 |
| Cumaru | <i>Dipteryx odorata</i> (Aubl.) Will. | 0,97 |
| Tatajuba | <i>Bagassa guianensis</i> Aubl. | 0,85 |
| Macaranduba | <i>Manilkara huberi</i> (Ducke) Stand. | 0,92 |
| Angelim vermelho | <i>Dinizia excelsa</i> Ducke | 0,95 |
| Cumarurana | <i>Dipteryx poliphylla</i> (Ducke) Huber | 1,05 |
| Angelim pedra | <i>Dienisia excelsa</i> /Duke | 1,26 |
| Ipê | <i>Tabebuia Serratifolia</i> | 1,08 |
| Acácia | <i>Acacia podalyraefolia</i> | 0,45 |
| Andiroba | <i>Carapa guianensis</i> /Aubl | 0,68 |
| Tauari | <i>Couratari oblongifolia</i> | 0,47 |
| Itauba | <i>Mezilaurus Itaúba</i> | 0,70 |

Fonte: acervo Dias, Aidson (2012)

5.3.1 Teste de colas

Para comprovação da eficiência das colas utilizadas, foi confeccionadas vigas com as espécies selecionadas no item 3.3. Os adesivos utilizados foram (1)Purbond® HB S 309 (2), o bi-componente Wonderbond® EPI EL-70 juntamente com o catalizador Wonderbond® EPI WS 742; e (3) o bi-componente Cascophen® RS-216-M, com o catalizador Cascophen® FM-60-M., todos comercializados pela empresa Hexion. O segundo adesivo é uma formulação Polimérica de Isocianato (EPI), isento de formaldeído, e o terceiro adesivo feito a base de Resorcinol-Formoldeido, todos os procedimentos seguiram sempre as normas de utilização indicada pelo fabricante.

As madeiras das espécies selecionadas foram cortadas com 85 cm de comprimento por 11 cm de largura e 1,7 cm de espessura, para composição de vigas com seis lâminas, (Figura 3).

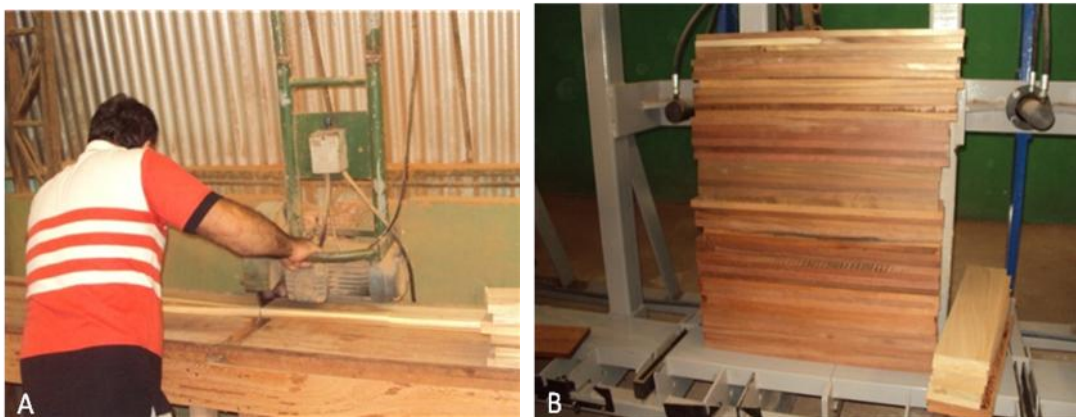


Figura 3: A - Corte das lâminas B - lâminas cortadas
 Fonte: acervo Dias, Aidson (2012)

Para o ensaio de resistência da linha de cola foi feito uma mistura na proporção de 1kg de cola para 200 g de catalisador (Figura 5A), após esta mistura esperou-se 5 minutos para começar a aplicação da cola nas lâminas, pesando primeiramente a peça de madeira que iria compor a viga (figura 4B).



Figura 4: A - Mistura da cola, B - Pesagem da lâmina sem cola
Fonte: Dias, Aidson (2012)

A aplicação do adesivo foi dimensionada em 10g para cada face da lâmina, antes de montar a viga foi obedecido um tempo de 5 minutos de cura do adesivo, após este tempo as vigas foram montadas (Figura 5).

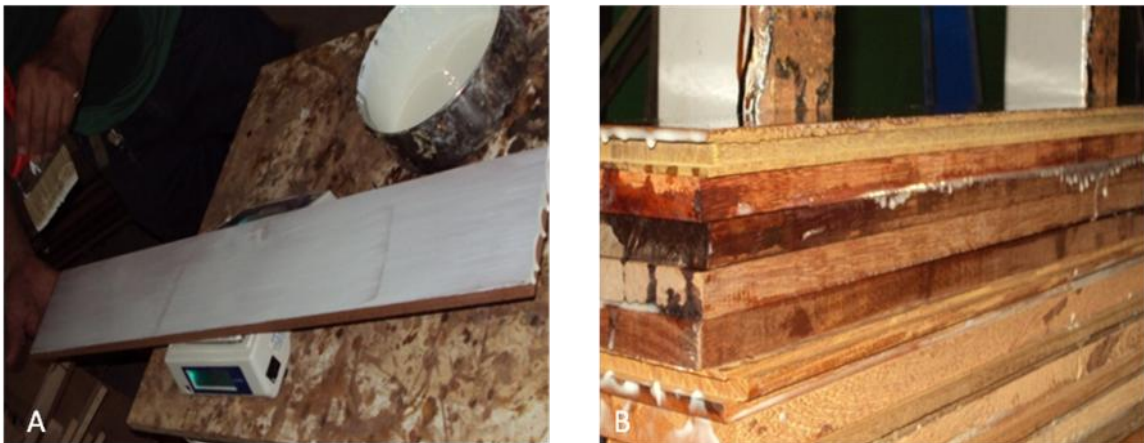


Figura 5: A - Pesagem da lâmina com cola B - Viga com cola
Fonte: Dias, Aidson (2012)

As vigas foram montadas e armazenada no sentido da altura da prensa de maneira que todos os espaços fossem preenchidos, o espaço vazio foi completado com amostras de outras espécies conforme demonstrado na figura 6.

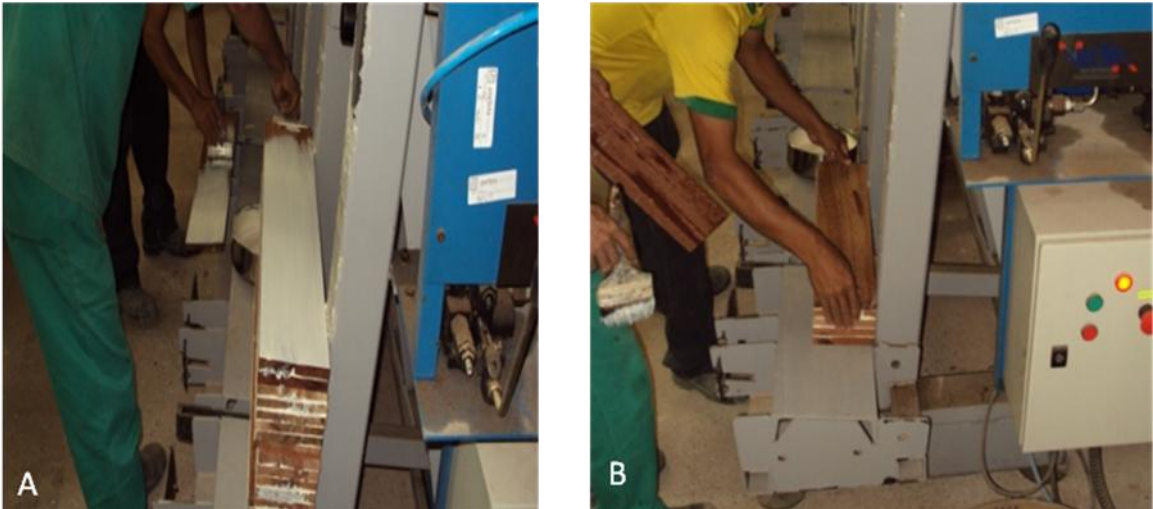


Figura 6: **A** - Aplicação da cola, **B** - Montagem da viga
Fonte: Dias Aidson (2012)

Para cálculo da pressão a ser aplicada nas vigas, foi utilizado a fórmula indicada pelo fabricante da prensa:

X= Largura da viga

Y= Valor indicado pelo fabricante da cola para cada espécie (densidade) de madeira

$$P = \frac{X \cdot 50 \cdot Y}{45,5}$$

50= Constante (distancia entre êmbulos)

45,5=Constante (diâmetro do cilindro do êmbulo)

As vigas foram colocadas na prensa recebendo uma carga de 10,9 kg/cm² mantendo esta pressão durante 3 horas. A prensa utilizada foi adquirida pelo INCT Madeiras da Amazônia possui 12 metros de comprimento com 24 êmbolos, podendo ser utilizada para qualquer comprimento de viga até 12 metros.

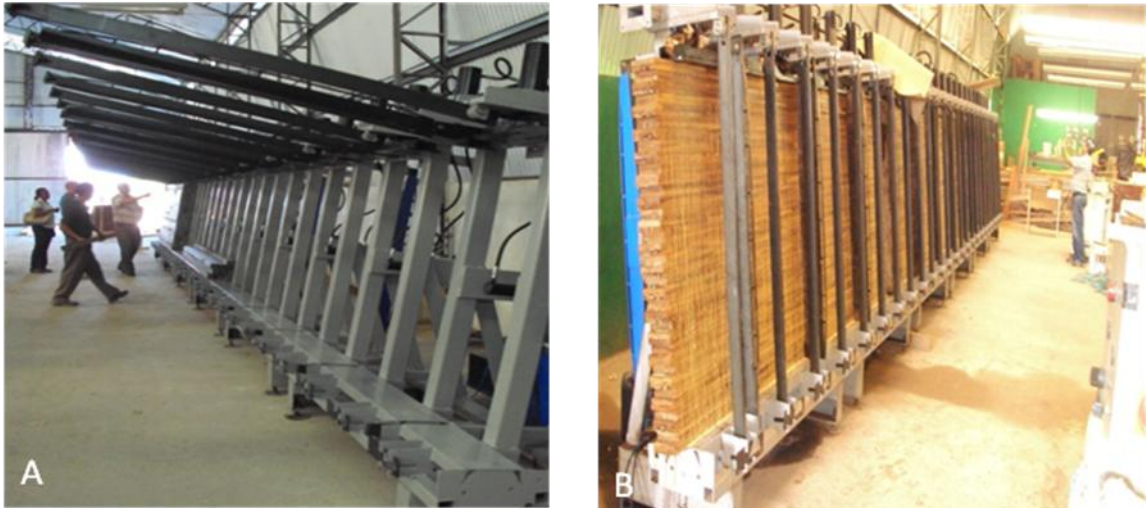


Figura 7: A- Prensa sem carga B- Prensa com carga total
Fonte: Dias Aidson (2012)

Após as três horas de prensa, de cada viga foram obtidos corpos de prova de 12x10x10,2 cm, perfazendo um total de três blocos por espécie. Estes foram levados para o laboratório de Engenharia de Artefatos de Madeira – LEAM do INPA para ser medidos e pesados.



Figura 8: Blocos para teste de delaminação
Fonte: Dias Aidson (2012)

Após identificação de cada bloco foram pesados em balança de precisão

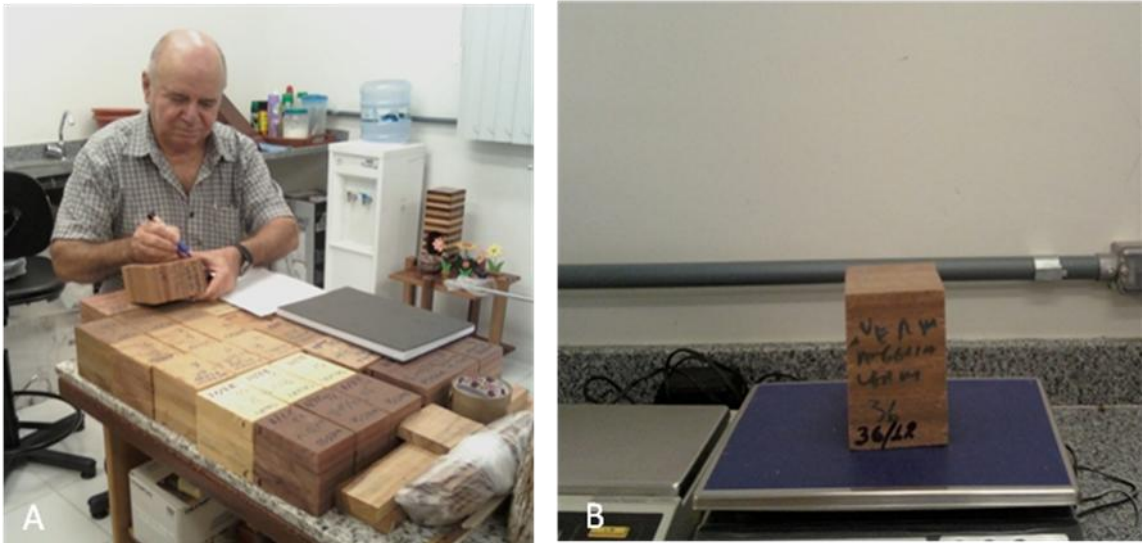


Figura 9: A - Medição e marcação dos blocos B - Pesando os bloco
Fonte: acervo Dias Aidson (2012)

Os blocos foram colocados em cubas plástica (2 amostras em cada cuba), com um calço na parte superior para evitar sua flutuação durante todo o processo. As cubas foram inundada com água e colocadas no autoclave, o mesmo foi fechado e lacrado. Antes do início da operação, devido a dificuldade de inserir no autoclave as cubas cheias de água com as amostras, foi necessário inundar o tanque do autoclave para em seguida fazer seu escoamento, garantindo assim que todas as cubas estivesse totalmente cheia de água. (Figura 10).



Figura 10: A - Blocos nas cubas com água B - Cubas no Autoclave
Fonte: acervo Dias, Aidson (2012)

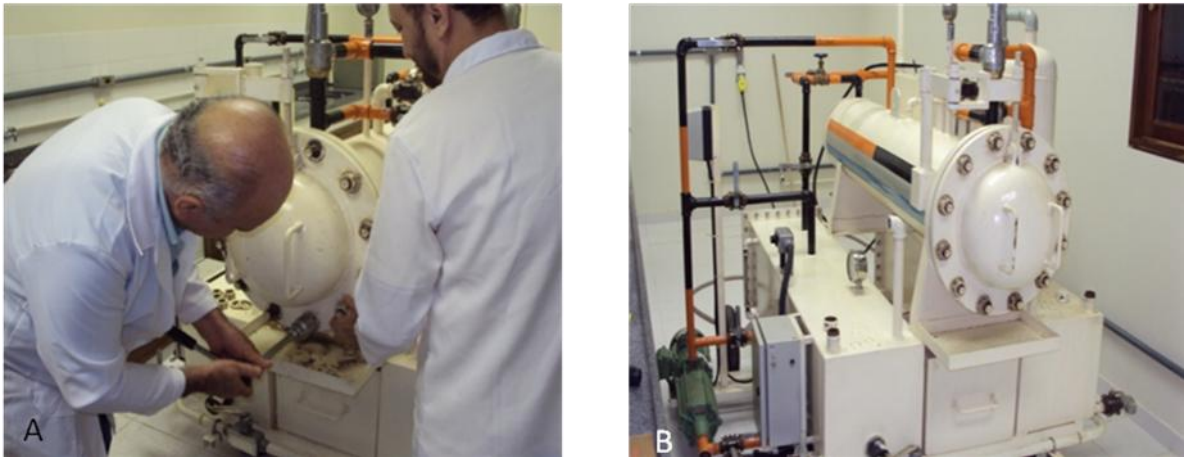


Figura 11: A - Vedação do Autoclave B - Autoclave vedado
Fonte: acervo Dias, Aidson (2012).

Seguindo a norma do American Institute of Timber Construction, teste AITC-T-110-2007, foi feito um vácuo 570 a 580 mmhg durante 30 minutos. Em seguida o tanque do autoclave foi inundado sendo aplicado uma pressão hidrostática de 4,9 a 5,5 kg/cm² durante 2 horas. Após este tempo o autoclave foi desligado, drenado e aberto, as amostras foram retiradas para ser feita uma avaliação visual, as mesmas foram pesadas e colocadas em sacos plástico para evitar evaporação.

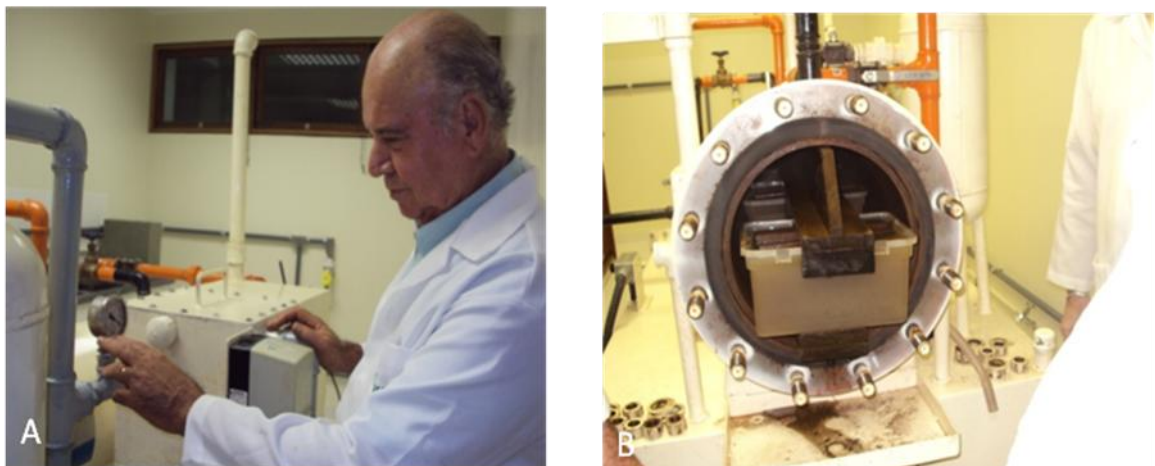


Figura 12: A- Verificando a pressão B- Abertura do autoclave
Fonte: Dias, Aidson (2012).

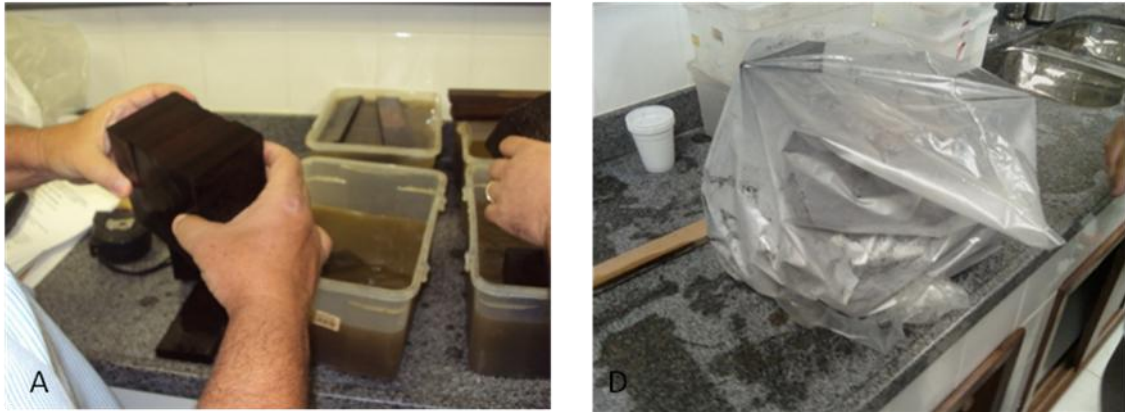


Figura 13: A- Avaliação visual **B-** Blocos no saco.
Fonte: Dias, Aidson (2012).

As amostras foram levadas para uma estufa de circulação de ar a uma temperatura de 70^oC por 12Hs aproximadamente, com a parte serrada no sentido do fluxo de ar. Após a secagem as amostras foram retiradas da estufa, pesadas e verificada a delaminação com paquímetro de precisão (figura 12).



Figura 14: A - Secagem **B -** Delaminação
Fonte: Dias Aidson (2012).

5.4- FORMAÇÃO DE BANCO DE DADOS

A primeira fase da proposta constou da formação de banco de dados com 30 espécies de madeira pesquisadas pela Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais – CPPF do Instituto do Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA, 1991(tabela 3), para formar classe de qualidade considerando densidade básica, estabilidade dimensional e ponto de saturação das fibras, no sentido de verificar a trabalhabilidade e homogeneidade de tais espécies para pré-selecionar as laminas e

compor as vigas, com as madeiras utilizadas pela empresa mencionada anteriormente.

Tabela 5: Espécies de madeira pesquisadas pela Coordenação de Pesquisas em Produtos Florestais – CPPF do Instituto do Nacional de Pesquisas da Amazônia – INPA

| ESP | ESPECIES | NOME CIENTIFICO | FAMÍLIA |
|-----|-----------------------|---|-----------------|
| 1 | Andiroba | Carapa guianensis/Aubl | Meliaceae |
| 2 | Angelim da mata | Hymenolobium exalsum/Berth | Fabaceae |
| 3 | Assacu | Hura crepitaws/ | Euphorbiaceae |
| 4 | Cardeiro | Scleronema micramphum/Ducke | Bombacaceae |
| 5 | Caroba | Jacaranda copaia (Aubr.)D.Dom | Bignoniaceae |
| 6 | Cedrorana | <i>Cedrelinga catenaeformis/ Ducke</i> | Leguminosae |
| 7 | Copaiba | Copaifera multijuga/Ducke | Fabaceae |
| 8 | Coracao de negro | <u>Swartia panacoco (Abul) Cowan</u> | Leguminosae |
| 9 | Cumaru | <i>Dipteryx odorata (Abul) Willd</i> | Leguminosae |
| 10 | Cumarurana | <i>Dipteryx odorata tolythylla (Huber)Ducke</i> | Vabaseae |
| 11 | Fava orelha de macaco | Enterolobium schomburgkii Denph | Mimosaceae |
| 12 | Guariuba | Clarissa racenosa/ R.et.Pay | Moraceae |
| 13 | Itauba | <i>Mezilaurus itauba</i> | Lauraceae |
| 14 | Jutai | Hymenaeae intermedia /Ducke | Leguminosae |
| 15 | Louro inhamui | Nectandra cymcidarum | Lauraceae |
| 16 | Louro vermelho | Ocotea rubra | Lauraceae |
| 17 | Macacarecuia | Couroupita guianensis ?Aubl. | Lcythidaceae |
| 18 | Macacauba | <i>Platymiscium ulei</i> [[Image:]] | Leguminosae |
| 19 | Macaranduba | Manilkara huberi | Sapotaceae |
| 20 | Macucu de paca | Audina etherofilla | Caesaltiniaceae |
| 21 | Melancieira | <i>Alexa grandiflora/Ducke</i> | Fabaceae |
| 22 | Mogno | <i>Swietenia macrophylla</i> | Meliaceae |
| 23 | Muiratinga | <i>Maquira sclerophylla</i> | Moraceae |
| 24 | Pau amarelo | <i>Euxylophora paraensis</i> | Rutaceae |
| 25 | Pau rainha | <i>Brosinum rubescens</i> | Fagaceae |
| 26 | Piquia-marfim | <i>Caryocar villosun</i> | Apocynaceae |
| 27 | Tauari | <i>Couratari espella</i> | Lecythidaceae |
| 28 | Ucuubarana | <i>Virola sedifera</i> | Myristicaceae |
| 29 | Urucu da mata | <i>Bixa arborea</i> | Bixaceae |
| 30 | Virola | <i>Surinamensis (Rol.)Warv.</i> | Myristicaceae |

Fonte: INPA/CPPF. 1991. Catalogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas; Área da Hidrelétrica de Balbina, Manaus/AM, 89p.

A primeira análise realizada foi a partir da formação do banco de dados com o grupo que continuam as contrações tangenciais, radiais e anisotropia, a segunda foram com as mesmas variáveis com a inclusão do ponto de saturação das fibras.

Após, identificação das espécies dentro de cada grupo, selecionou as espécies homogêneas com base no desvio padrão das variáveis (CT e CR). Com base na taxa de retração aproximada e com uma variabilidade igual a variação das médias de diferentes espécies com diferentes coeficientes de retração, foi determinado em quais espécies seriam utilizadas na confecção da viga teste.

Para composição das vigas foram utilizado banco de dados conforme (tabela 05) neste processo utilizamos um programa estatístico. Assistat todas as espécies foram agrupadas em função da variabilidade média e dos coeficientes de retrações, para em seguida ser formado grupos em que a espécies individuais tenha o pontos de saturação aproximados e com velocidades de retração aproximadamente iguais.

5.5 DETERMINAÇÃO DAS PROPRIEDADES FÍSICAS

5.5.1 Determinação da Densidade aparente

A densidade é uma das propriedades da madeira mais importante da tecnologia da madeira. Para determinação desta propriedade cada peça a ser utilizadas na confecção das vigas foram pesadas em balança eletrônica de 15kg e mensurado sua espessura(cm) com paquímetro e seu comprimento(cm) com fita métrica no mesmo conteúdo de umidade(12%) para o calculo de seu volume.

A densidade foi calculada, conforme equação.

$$D_a = \frac{P}{V} \text{ g/cm}^3$$

Onde,

D_a = densidade aparente

V = Volume da amostra(12%)

P = Peso da amostra(12%)

5.5.2 Conteúdo de umidade

O conteúdo de umidade das peças foram verificadas por meio da utilização do medidor de contato, conforme figura 13, realizando três medições ao longo da peças (extremidades e meio).



Figura 15: Medidor de umidade por contato
Fonte: acervo Dias Aidson (2014).

5.6. CLASSIFICAÇÃO DAS PEÇAS PARA COMPOR AS VIGAS POR METODO NÃO DESTRUTIVO

As tábuas das espécies selecionadas para compor a viga laminada foram analisadas por dois métodos não destrutivos: visual e por emissão de ondas de tensão.

A classificação visual foi realizada a olho nu para verificar presença de ataques de organismos xilófagos, trincamentos e rachaduras causados pelo processo de secagem e presença de alburno, cerne e nos.

As amostras foram analisadas por meio de técnica de ondas de tensão com o equipamento Stress Wave Timer 239A (Metriguard Inc), constituído por acessórios (1 transdutor com pendulo de impacto e transdutor e a caixa receptora com tela de cristal liquido para determina o tempo gasto por uma onda ultrassônica ao percorrer uma peça de madeira.

Este equipamento tem como principio de funcionamento a emissão de ondas acústicas na madeira emitida por um impacto, obdecendo o tempo de propagação da onda de tensão na madeira para se calcular a velocidade de propagação da onda(cm/s) e o modulo de elasticidade dinâmico (MOEd).

As amostras foram dispostas no sentido longitudinal das fibras no conjunto das braçadeiras (transdutores) com a determinação do comprimento nas extremidades para fixação dos transdutores, realizando quatro leituras do tempo de propagação da onda com o aparelho Stress Wave Timer, figura.14B.

A leitura consistiu na onda de tensão induzida por meio do impacto por um pendulo fixado no primeiro conjunto de braçadeiras (transdutores). A onda percorreu todo o corpo de prova ate atingir o segundo transdutor que envia um sinal elétrico para o receptor que interromper a contagem. O tempo percorrido e mostrado em tela de cristal líquido no formato de microssegundos.

De posse do tempo de propagação da onda e do comprimento do trecho percorrido (L), calculou-se a velocidade de propagação da onda em utilizando-se a expressão:

$$V = \frac{L}{t}$$

Onde:

V = velocidade de propagação da onda (cm/s);

L = distância percorrida pela onda (cm)

t = tempo de propagação da onda (s).

Para o módulo de elasticidade dinâmico, as amostras foram pesadas e mensuradas suas dimensões para o cálculo da densidade aparente, conforme explicado no item 5.5.

Por meio das velocidades de propagação das ondas de tensão medidas, e da massa específica do material, determina-se o módulo de elasticidade, calculando-o pela equação:

$$MOEd = \delta * V^2 * \left(\frac{1}{g}\right)$$

Onde:

MOEd: Módulo de elasticidade dinâmico (kgf/cm²);

δ : Massa específica do material (kgf/m³);

g: aceleração da gravidade (9,804 m/s²);

V: Velocidade de propagação da onda longitudinal (cm/s)

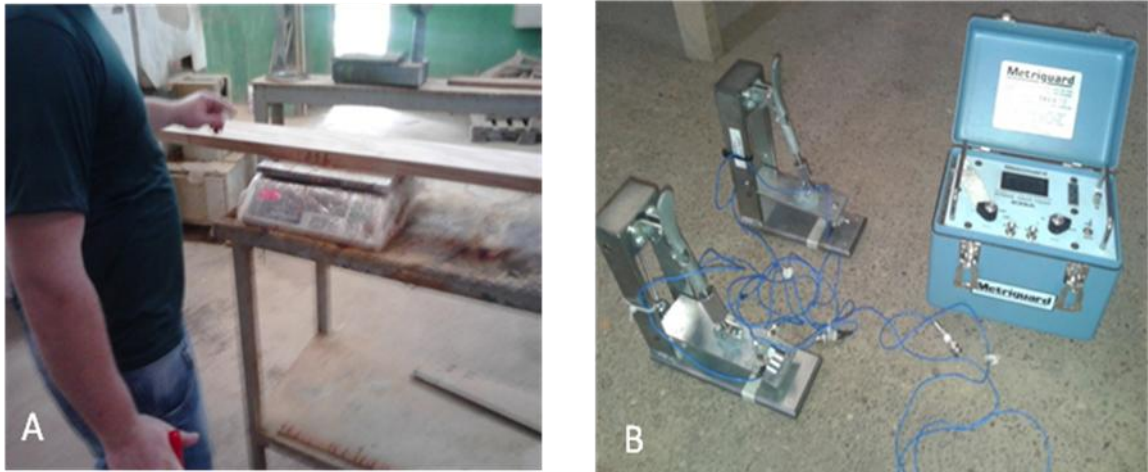


Figura 16: A - Pessando a madeira B - Stress Wave Times
Fonte: acervo Dias Aidson (2014).

As tábuas utilizadas para confecção das lâminas foram todas passadas por uma classificação mecânica prévia, não destrutiva, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico na flexão (MOEd) que foi considerado como de referência para o processo de composição das peças.

5.7 COMPOSIÇÃO DA VIGA E ANALISE

Com esta caracterização foram selecionadas espécies para composição da viga de maneira para atingir o objetivo proposto, de acordo com a AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION (2000), esta norma recomenda que as vigas de MLC devem ser produzidas com madeira de melhor resistência nas lâminas superiores e inferiores, onde ocorrem as máximas tensões de compressão e de tração.

5.8 PREPARAÇÃO DAS LÂMINAS.

As madeiras das espécies selecionadas foram secas na Empresa Portela, parceira do INCT e levadas ao laboratório do LEAM no INPA onde foram seccionadas, aplainadas e bitoladas em peças de 50mm x 2000mm por 20 mm de espessura, e posteriormente selecionadas visualmente contra defeitos.



Figura 17: A - Secionando laminas B - Aplainando as laminas C- Lâminas visualmente sem defeitos
 D - Medidor de teor de umidade E- Medição com equipamento Stress Wave Timer
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014).

5.8.1 Montagem da viga com as duas espécies selecionadas

Após serem selecionadas por método não destrutivo as 20 lâminas foram levadas para Empresa Portela para a montagem da viga.

A quantidade de adesivo utilizado foi preparado nas seguintes proporção de 200 gr de cola (pó) para 01kg de líquido (catalizador) e para isto foi utilizado uma balança eletrônica de precisão.

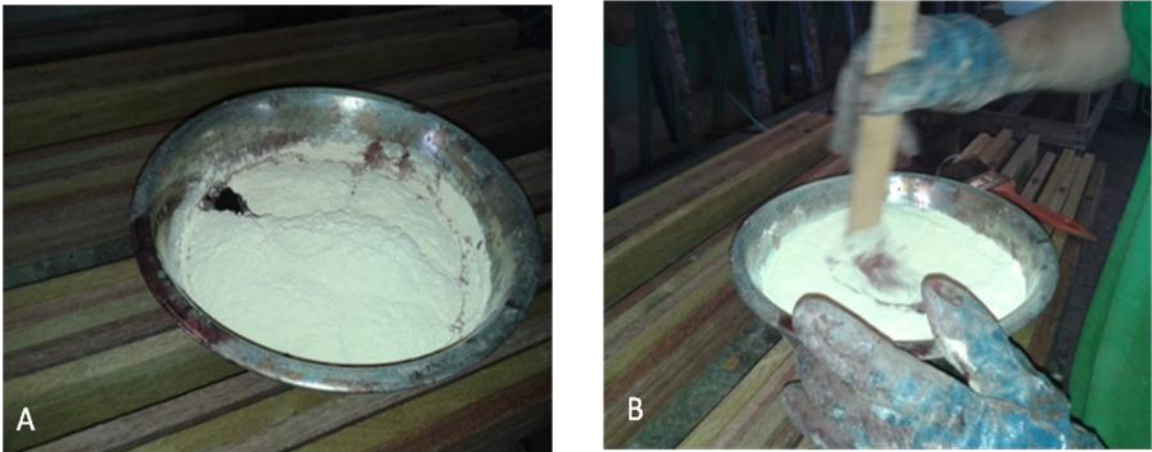


Figura 18: A e B - Preparação do adesivo
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

Enquanto o adesivo era preparado, as lâminas de madeira foram usinadas na plaina para limpeza e abertura dos poros, proporcionando assim uma área de maior contato com o adesivo. As lâminas foram todas numeradas para facilitar a montagem da viga, como também facilitar a identificação no momento do rompimento da viga.

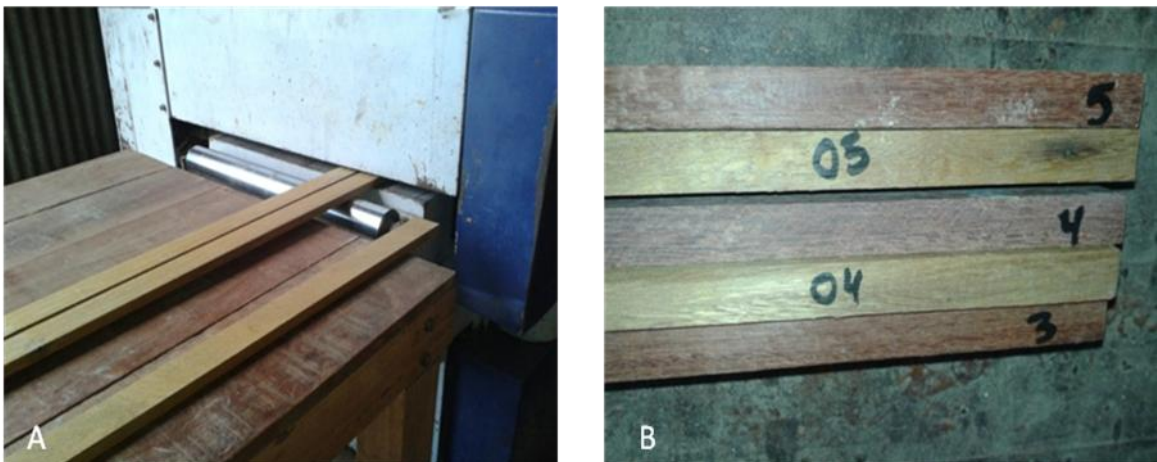


Figura 19: A - Limpeza das lâminas B – Marcação das lâminas
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

As lâminas foram todas pesadas em balança de precisão antes de receber o adesivo. Em seguida receberam uma cama de adesivo e novamente foram pesadas para comprovação da quantidade de adesivo utilizado por lâmina, que foi dimensionado para 0,20 Kg por face.

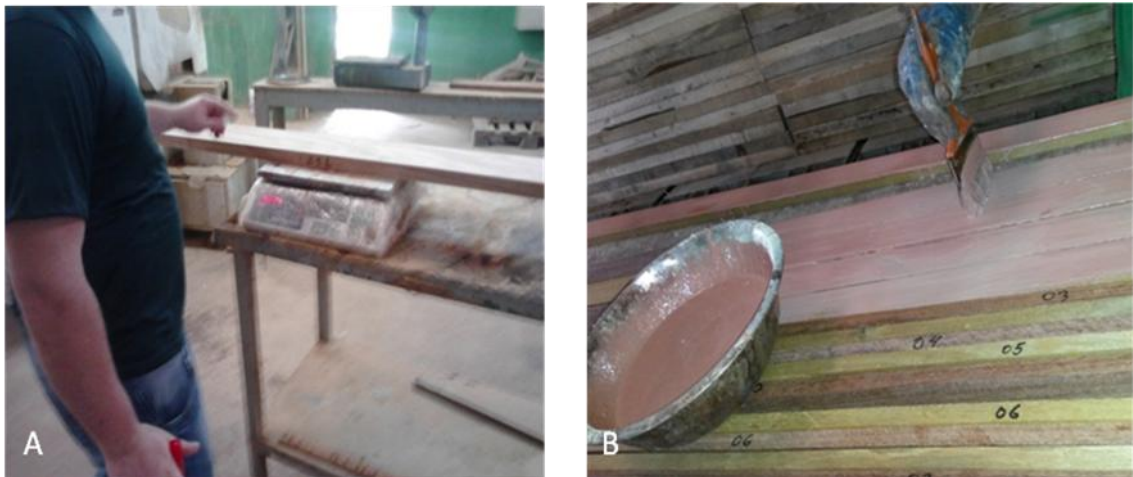


Figura 20: A -Peso das lâminas B – distribuição do adesivo
Fonte: Dias, Aidson (2014)

As vigas foram montada seguindo uma sequencias pré-determinada, para em seguida serem levada e colocadas na prensa, sendo estas separadas com papelão para evitar que as mesma colassem indevidamente uma viga na outra, visto que as 4 vigas foram prensadas juntas, conforme figuras 19.



Figura 21: A- Sequências das lâminas B -Montagem das vigas C- Vigas na prensa
Fonte: Dias, Aidson (2014)

5.3. A pressão aplica pela prensa foi de $10,26\text{kg/cm}^2$ conforme formula do item

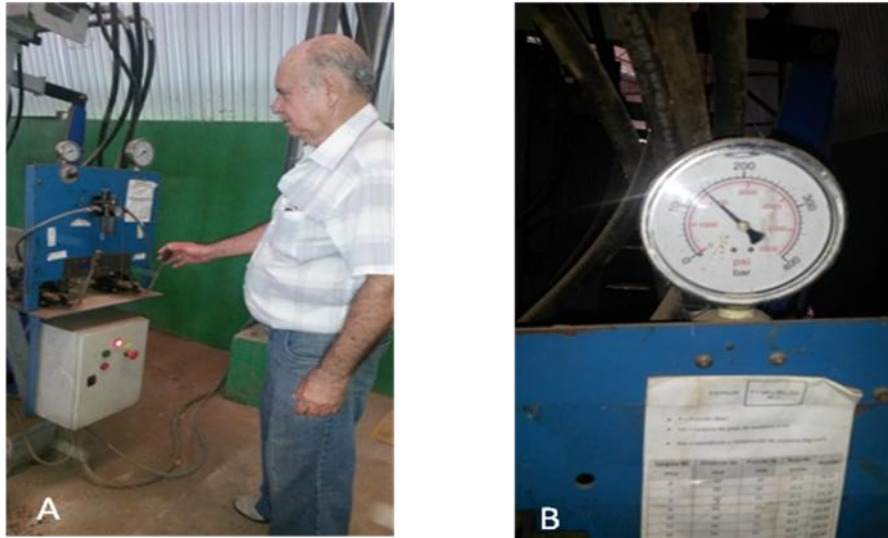


Figura 22: A. Aplicação de carga **B.** Relógio de pressão de carga
Fonte: Dias, Aidson (2014)

As vigas ficaram sob pressão durante 03 horas, após este tempo as mesmas foram passadas em uma plaina de dupla face e regulada para um resultado de 40mm de espessura, em seguida foram levadas a uma destopadeira para dimensionar seu tamanho, as mesmas foram dimensionadas para isso deixando assim as lamelas perfeitamente visíveis e numeradas para uma melhor visualização durante os testes destrutivos em laboratório



Figura 23: A-Viga na plaina de dupla face **B-**dimensionamento da viga
Fonte: Dias, Aidson (2014)

Para efeito de testes destrutivos, foi construída uma bateria de 4 vigas com a variação das posições das espécies na viga a fim de comprovação de suas resistências. Para cada uma das vigas de MLC produzidas, foi utilizadas cinco lâminas com suas interfaces coladas utilizando o adesivo estrutural Cascofem, tendo as vigas uma dimensão média de 100 mm de altura por 40 mm de largura e 2000 mm de comprimento.

Devido à falta de equipamento, visto que nenhum laboratório em Manaus existe equipamento para teste em vigas, resolvemos construir um artefato que nos permitisse fazer os testes em uma prensa do laboratório do IFAM. Este artefato consiste em duas 02 vigas metálicas conforme desenho abaixo:

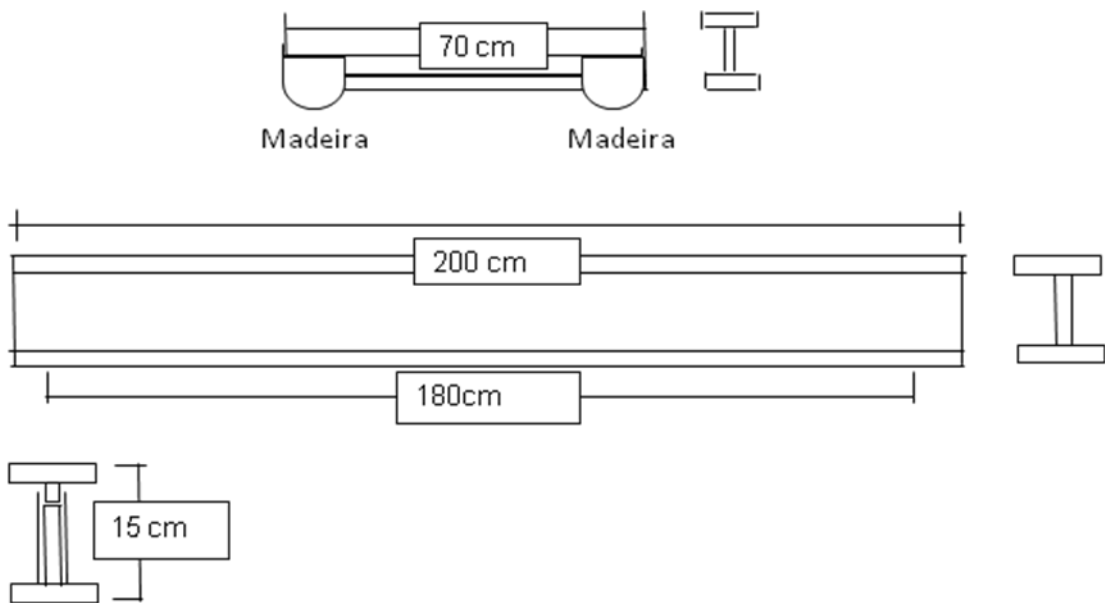


Figura 24: Desenho esquemático do equipamento
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

Primeiro foi cortado uma peça de 200 cm de comprimento de uma viga "I" de 15 Cm de altura. Em seguida foi fabricado 2 suportes de 15 Cm de altura para ser parafusado na mesa da viga, guardando um intervalo de 180 Cm entre os dois apoios, a fixação foi feito pela parte fixa do suporte através de parafusos figura 25.

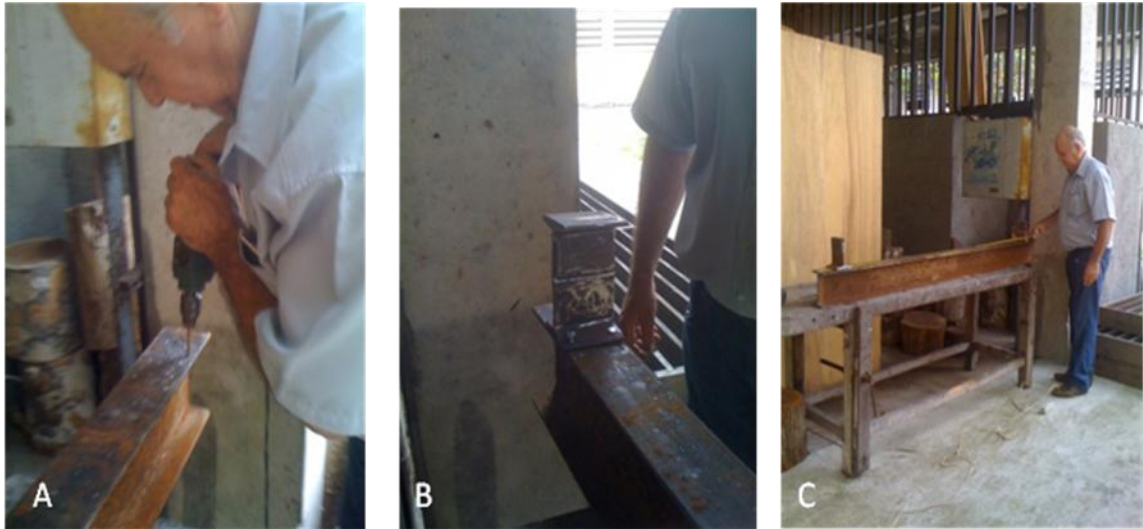


Figura 25: A – Furação do suporte B- Fixação do suporte C – Suporte da viga
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

Para a peça de carga sobre a viga, foi construída uma viga de aço com 70Cm de comprimento por 8Cm de altura, na qual foi parafusado dois apoios feito em madeira de alta densidade guardando uma distancia de 60Cm uma da outra, figura 26.



Figura 26: Viga de aço para distribuição da carga
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

Este equipamento foi utilizado como mesa de apoio da viga na prensa universal de determinação de resistência do laboratório do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Amazonas-IFAM, O equipamento foi desenvolvido visando teste de uma viga bi-apoiada com carga distribuída em duas posições .

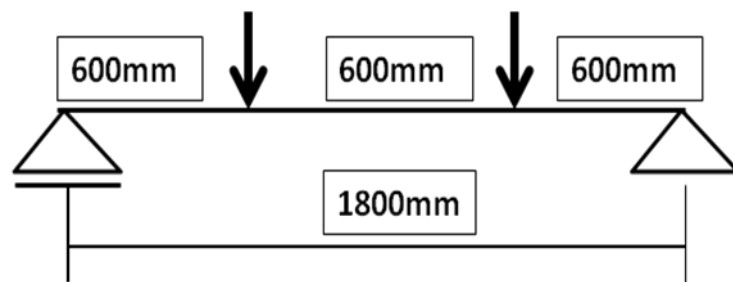


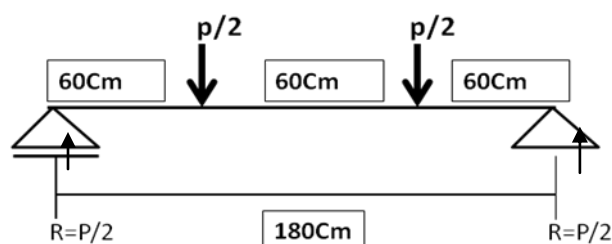
Figura 27: Viga bi-apoída
Fonte: Dias, Aidson (2014)

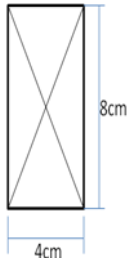
No laboratório do IFAM, o suporte acima citado foi instalado na prensa, foi colocada a viga, em seguida o suporte de carregamento. Foi medido a distância entre a viga e a base para efeito de dimensionamento da flexa. Foi dada carga de um certo valor, em seguida parava-se a carga e media a deformação, para novamente dar uma nova carga e medir a deformação, alternando carga e medição até o rompimento da viga.

Este modelo foi utilizado para a viga 01 e 02. Para as vigas 03 e 04 foi mudada a tática de rompimento, o qual se deu por acionamento de carga contínua, onde através de uma velocidade lenta a carga foi aplicada continuamente até seu rompimento.

5.8.2 Análise dos Dados Teóricos

As análises dos dados constou de duas fases distintas resultantes de ensaio destrutivos e de cálculos teórico. O ensaio do teste de cola foi verificado pelo grau de delaminação (%) e a escola das espécies para compor a viga por meio da análise de agrupamento por similaridades das propriedades físicas. Quanto o não destrutivo em relação ao modulo de elasticidade foi calculado a estatística descrita (media valores mínimos e máximos e coeficiente de variação). Os dados das vigas foram analisados com base nos cálculos teóricos.

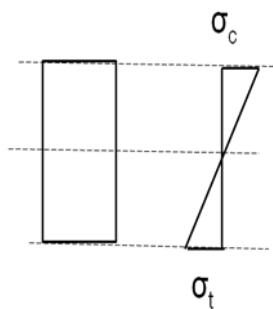




$$M_{max} = \frac{P}{2} \times \frac{\ell}{2} - \frac{P}{2} \left(\frac{\ell}{2} - \frac{\ell}{3} \right) \times \frac{P\ell}{4} - \frac{P}{2} \times \frac{\ell}{6}$$

$$M_{max} = P\ell \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{12} \right) \therefore M_{max} = \frac{P\ell}{6}$$

5.8.2.1 Verificação da estabilidade



$$\sigma_c = \frac{Mdy_c}{I} \leq f_{ck}$$

$$\sigma_t = \frac{Mdy_t}{I} \leq f_{tk}$$

5.8.2.2 Cálculo da carga máxima

O cálculo da carga máxima de cada viga foi baseado no valor característico das espécies (cumaru e Itaúba) conforme NBR 7190.

De acordo com a norma:

$$\frac{f_{c0k}}{f_{t0k}} = 0,77$$

Valor do cálculo:

$$f_{cod}c = kmod \frac{f_{ck}}{\gamma_w}$$

$$Kmod = Kmod_1 \times Kmod_2 \times Kmod_3$$

$$f_{td} = Kmod_1 \times Kmod_2 \times Kmod_3 \frac{f_{tk}}{\gamma_{wt}}$$

- Admitindo a menor resistência para as duas (2) espécies calculou-se a carga do projeto:

$$f_{cod} = \frac{M_d}{I} y_c$$

-Cálculo teórico da carga

$$M_d = \frac{Pl}{6}$$

5.8.2.3 Cálculo de Ruptura

$$f_{ck} = \frac{M_d}{I} y_c \therefore M_d = \frac{f_{ck} \cdot I}{y_c}$$

-Carga de Ruptura

$$P = \frac{M_d \times 6}{l}$$

6 RESULTADO E DISCURSÃO

Para confecção das vigas, os dados foram analisados em quatro níveis distintos: 1) Teste de colagem (delaminação); 2) Análise de agrupamento de 34 espécies de madeira da Amazônia em relação às contrações tangenciais radiais e ponto de saturação das fibras para seleção de espécies para compor a viga; 3) avaliação do módulo de elasticidade dinâmico das lâminas da composição das vigas testes e 4) Análise da resistência ao cisalhamento das vigas durante os testes destrutivos.

6.1 TESTE DE COLAGEM

Para verificação da eficiência do adesivo o bi-componente Wonderbond® EPI EL-70 juntamente com o catalizador Wonderbond® EPI WS 742 para as 12 espécies mencionadas no item 5.3, cada bloco foi analisado individualmente depois da colagem e após ser autoclavado, onde observou-se que o adesivo utilizado de maneira geral não proporcionou eficiência satisfatória na maioria dos blocos como pode ser observado na (Tabela 6).

A delaminação foi visível após a secagem em estufa. Observando-se que somente as espécies Andiroba (*Carapa guianensis* Aubl.) que possui densidade básica de $0,43\text{g/cm}^3$ e a espécie tauari (*Couratari stellata* A.C. Smith) com densidade de $0,60\text{g/cm}^3$, apresentaram resultados satisfatórios com delaminação na linha de cola variando de 4,1% a 7,7%, de acordo com American Institute of Timber Construction, teste AITC-T-110-2007, a qual afirma que a delaminação não pode ser superior a 10 %.

Tabela 6: Teste de delaminação com as treze espécies

| Espécies | Amostras | % de Delaminação pelo total de linha de cola | 12% peso inicial esperado | 15% peso inicial esperado |
|-----------------|----------|--|---------------------------|---------------------------|
| Cumaru amarelo | 1 | 100,0 | 0,876 | 0,846 |
| | 2 | 100,0 | 0,884 | 0,854 |
| | 3 | 100,0 | 0,871 | 0,842 |
| Angelim pedra | 1 | 11,8 | 0,590 | 0,570 |
| | 2 | 0,0 | 0,590 | 0,570 |
| | 3 | 0,0 | 0,590 | 0,570 |
| Jatoba | 1 | 100,0 | 0,832 | 0,803 |
| | 2 | 100,0 | 0,823 | 0,795 |
| | 3 | 100,0 | 0,823 | 0,795 |
| Ipê | 1 | 100,0 | 0,867 | 0,837 |
| | 2 | 100,0 | 0,876 | 0,846 |
| | 3 | 100,0 | 0,871 | 0,842 |
| Cumaru vermelho | 1 | 100,0 | 0,796 | 0,769 |
| | 2 | 100,0 | 0,796 | 0,769 |
| | 3 | 100,0 | 0,792 | 0,765 |
| Acacia | 1 | 17,7 | 0,471 | 0,455 |
| | 2 | 18,2 | 0,458 | 0,442 |
| | 3 | 31,8 | 0,453 | 0,438 |
| Tatajuba | 1 | 100,0 | 0,541 | 0,523 |
| | 2 | 100,0 | 0,546 | 0,527 |
| | 3 | 8,2 | 0,541 | 0,523 |
| Macaranduba | 1 | 100,0 | 0,862 | 0,833 |
| | 2 | 100,0 | 0,858 | 0,829 |
| | 3 | 100,0 | 0,858 | 0,829 |
| Maçaranduba | 1 | 100,0 | 0,836 | 0,808 |
| | 2 | 100,0 | 0,845 | 0,816 |
| | 3 | 100,0 | 0,836 | 0,808 |
| Andiroba | 1 | 5,5 | 0,532 | 0,514 |
| | 2 | 4,1 | 0,532 | 0,514 |
| | 3 | 5,5 | 0,532 | 0,514 |
| Tauari | 1 | 7,7 | 0,493 | 0,476 |
| | 2 | 5,5 | 0,488 | 0,472 |
| | 3 | 4,5 | 0,488 | 0,472 |
| Angelim | 1 | 100,0 | 0,761 | 0,735 |
| | 2 | 100,0 | 0,761 | 0,735 |
| | 3 | 100,0 | 0,761 | 0,735 |

As espécies utilizadas neste processo possuíam densidade básica acima $0,80\text{g/cm}^3$. Os dados alcançados levam a acreditar, que a utilização deste adesivo não é viável para as espécies de alta densidade sendo inviável a utilização deste adesivo para aderência das lâminas para composição das vigas.

6.2 AGRUPAMENTO PARA SELEÇÃO DAS ESPÉCIES PARA COMPOSIÇÃO DAS VIGAS

A seleção das espécies para composição das vigas, foram a partir do banco de dados formados com as propriedades físicas de 30 espécies de madeira da

Amazônia publicada pelo INPA/CPPF (1991). Todas as espécies foram agrupadas em função da variabilidade média dos coeficientes de retrações, em seguida formado grupos em que a espécies individuais tivessem pontos de saturação aproximados e com velocidades de retração aproximadamente iguais. Conforme tabela 7.

Tabela 7: Propriedades tecnológicas de 30 espécies de madeiras da Amazônia

| ESPECIES | Densidade básica g/cm ³ | Contrações | | Razão | PFS |
|-----------------------|------------------------------------|------------|-----|-------|-----|
| | | CT | Cr | | |
| Andiroba | 0,43 | 9,1 | 7,4 | 0,12 | 26 |
| Angelim da mata | 0,66 | 9,2 | 5,7 | 1,58 | 25 |
| Assacu | 0,83 | 6,9 | 5,9 | 1,16 | 31 |
| cardeiro | 0,59 | 10,5 | 5,0 | 2,08 | 27 |
| Caroba | 0,35 | 9,2 | 6,5 | 1,40 | 28 |
| Cedrorana | 0,46 | 7,7 | 3,6 | 2,10 | 29 |
| Copaiba | 0,55 | 6,4 | 3,5 | 1,83 | 27 |
| Coracao de negro | 0,97 | 9,4 | 6,7 | 1,40 | 23 |
| Cumarú | 0,97 | 8,2 | 5,9 | 1,39 | 22 |
| Cumarurana | 1,05 | 7,8 | 5,9 | 1,32 | 21 |
| Fava orelha de macaco | 0,68 | 9,4 | 4,3 | 2,16 | 26 |
| Guariuba | 0,59 | 6,3 | 3,0 | 2,07 | 22 |
| Itauba | 0,7 | 8,6 | 3,6 | 2,37 | 27 |
| Jutai | 1,09 | 8,4 | 4,7 | 1,79 | 21 |
| Louro inhamui | 0,59 | 6,9 | 4,2 | 1,66 | 27 |
| Louro vermelho | 0,67 | 9,7 | 4,7 | 2,06 | 30 |
| Macacarecuia | 0,46 | 6,6 | 4,1 | 1,61 | 28 |
| Macacauba | 1,23 | 5,9 | 4,8 | 1,22 | 18 |
| Macaranduba | 0,92 | 9,1 | 7,5 | 1,21 | 27 |
| Macucu de paca | 0,73 | 7,2 | 4,6 | 1,55 | 24 |
| Melancieira | 0,53 | 15,9 | 6,8 | 2,33 | 30 |
| Mogno | 0,6 | 3,7 | 2,7 | 1,37 | 30 |
| Muiratinga | 0,48 | 7,6 | 4,1 | 1,85 | 26 |
| Pau amarelo | 0,81 | 7 | 6,2 | 1,13 | 21 |
| Pau rainha | 0,91 | 8,5 | 5,7 | 1,48 | 20 |
| Piquia-marfim | 0,86 | 11,5 8 | 7,9 | 1,48 | 25 |
| Tuari | 0,6 | 8,7 | 6,3 | 1,37 | 27 |
| Ucuubarana | 0,69 | 9,5 | 5,0 | 1,88 | 25 |
| Urucu da mata | 0,38 | 5,8 | 3,3 | 1,76 | 26 |
| Virola | 0,52 | 11,1 | 5,9 | 1,88 | 34 |

Fonte: INPA/CPPF. 1991. Catálogo de madeiras da Amazônia: Características tecnológicas; Área da Hidrelétrica de Balbina, Manaus/AM, 89p.

Das 30 espécies utilizadas na análise, 8 são classificadas como de alta densidade, duas de baixa e o restante de média densidade. De acordo com a Distância Euclideana foram formados quatro grupos em função da densidade básica, ponto de saturação das fibras, contrações tangenciais e radiais, conforme pode ser visualizado na figura 28.

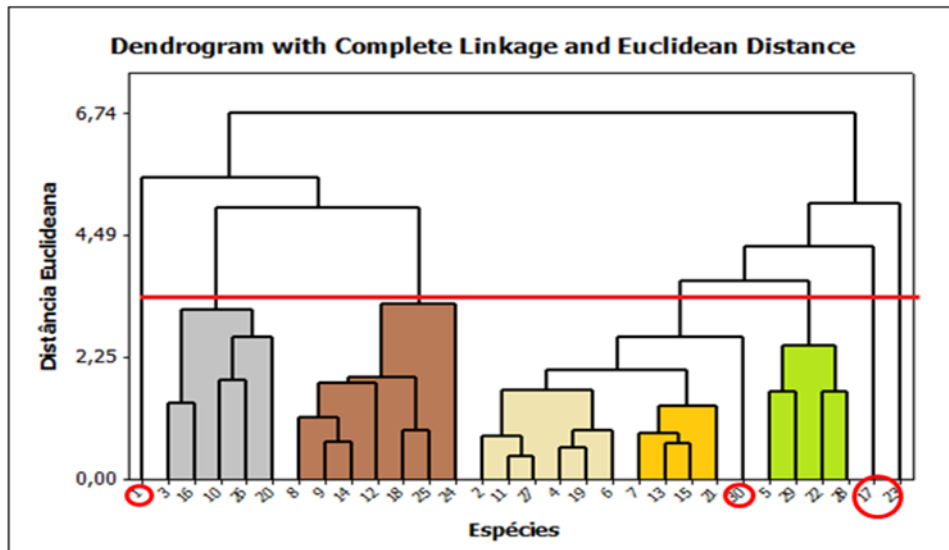


Figura 28: Dendrograma (2012)

A espécie identificada de cada grupo está especificada na tabela 8.

Tabela 8: Espécies agrupadas

| Grupo 1 | Grupo 2 | Grupo 3 | Grupo 4 |
|----------------|------------------|-----------------|---------------|
| Andiroba | Coração de negro | Angelim da mata | Caroba |
| Assacu | Cumarú | F.o.macaco | Urucu da mata |
| Louro vermelho | jutaia | Tauari | Mogno |
| Cumarurana | Guariuba | Cardeiro | Urucubarana |
| Piquia marfim | macacauba | Macaranduba | Macacarecuia |
| macucu de paca | Pau rinha | Cedrorana | Muiratinga |
| | Pau amarelo | Copaíba | |
| | | Itauaba | |
| | | louro inhamui | |
| | | Melanceira | |
| | | virola | |

Com esta caracterização foram selecionadas as espécies para composição da viga de maneira a atingir o objetivo proposto, de acordo com a norma AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION

Por meio da análise de agrupamento foram selecionadas 14 espécies de madeira da Amazônia formando 7 grupos com características semelhantes em relação a contração tangencial, considerando que o adesivo será aplicado na face tangencial das lâminas classificadas tabela 9.

Tabela 9: Grupos de espécies selecionadas

| Grupo | Espécies | | |
|-------|--|---|--|
| 1 | Sucupira Vermelha (<i>Bowdichia nitida</i>) | X | Caroba (<i>Jacarandá cuspidifolia</i>) |
| 2 | Tauari (<i>Couratari oblongifolia</i> Ducke & R. Knuth) | X | Guariuba (<i>Clarisia racemosa</i>) |
| 3 | Cumaru (<i>Dipteryx odorata</i>) | X | Itauba (<i>Mezilaurus itaúba</i>) |
| 4 | Massaranduba (<i>Manilkara huberi</i>) | X | Cedorama (<i>Cedrelinga catenaeformis</i> Ducke) |
| 5 | Andiroba (<i>Caraba guianensis</i> Aubl) | X | Coração de Negro (<i>Poecilanthe parviflora</i>) |
| 6 | Andiroba (<i>Caraba guianensis</i> Aubl) | X | Sucupira vermelha (<i>Bowdichia nitida</i>) |
| 7 | buuro Aritu (<i>Licaria aritu</i> Ducke) | X | Marfim (<i>Balfourodendron riedelianum</i>) |

Entre os grupos formados, foi selecionado o grupo três em razão da disponibilidade das espécies de madeira no mercado, apesar de existirem individualmente espécies que não formava grupo. As madeiras das espécies para confecção das vigas foram adquiridas na Empresa Portela com o teor de umidade em torno de 10% a 12%, ficando assim o grupo Itaúba e Cumaru, definidos para compor as vigas.

6.3 AVALIAÇÃO NÃO DESTRUTIVO DAS AMOSTRAS DA MADEIRA DE ITAÚBA E CUMARU

As tábuas utilizada para confecção das lâminas foram todas passadas por uma classificação mecânica prévia, não destrutiva, para a determinação do módulo de elasticidade dinâmico na flexão (MOEd) que foi considerado como de referência para o processo de composição das peças.

As madeiras das espécies selecionadas foram dimensionadas nas dimensões 5 x 2 x 220 cm, para composição de vigas com cinco lâminas, para posteriormente serem pesadas e medidas o tempo de propagação de ondas, com

equipamento stress wave timer para o cálculo do módulo de elasticidade dinâmico (MOEd) das espécies de itaúba e cumaru. Na tabela 10 estão a estatística da avaliação não destrutiva do MOEd e densidade aparente de cada amostra.

Tabela 10: Estatística do módulo de elasticidade dinâmico e densidade aparente

| Espécies | Amostra | Módulo de elasticidade dinâmico | | | | Coeficiente de variação | Densidade aparente |
|--------------|---------|---------------------------------|-----------|-----------|-------------------|-------------------------|--------------------|
| | | Media | Valores | | g/cm ³ | | |
| | | | Mínimo | Maxima | | Media | |
| Itaúba | 1 | 222.487,00 | 222.061,0 | 222.913,0 | 0,22 | 1,03 | |
| | 2 | 190.965,00 | 188.349,0 | 193.961,0 | 1,21 | 0,96 | |
| | 3 | 164.512,00 | 164.359,0 | 164.973,0 | 0,19 | 0,80 | |
| | 4 | 197.770,00 | 197.585,0 | 198.325,0 | 0,19 | 0,96 | |
| | 5 | 191.253,0 | 191.073,0 | 191.793,0 | 0,19 | 0,92 | |
| | 6 | 225181,00 | 224.967,0 | 225.822,0 | 0,19 | 1,06 | |
| | 7 | 191.304,00 | 190.415,0 | 191.839,0 | 0,36 | 0,93 | |
| | 8 | 184.705,00 | 183.861,0 | 185.213,0 | 0,35 | 0,93 | |
| | 9 | 171.581,00 | 171.102,0 | 171.741,0 | 0,19 | 0,83 | |
| | 10 | 204.279,00 | 203.890,0 | 204.669,0 | 0,22 | 0,95 | |
| Media | | 194.404,0Kg/cm ² | | | | | |
| Cumaru | 1 | 254.737,0 | 253.619,0 | 255.858,0 | 0,36 | 0,89 | |
| | 2 | 256.443,0 | 255.044,0 | 258.411,0 | 0,55 | 0,91 | |
| | 3 | 253.036,0 | 252.524,0 | 254.582,0 | 0,40 | 1,05 | |
| | 4 | 245.435,0 | 243.742,0 | 246.646,0 | 0,59 | 1,07 | |
| | 5 | 232.946,0 | 232.489,0 | 233.402,0 | 0,23 | 1,00 | |
| | 6 | 226.418,0 | 226.418,0 | 226.418,0 | 0,0 | 0,97 | |
| | 7 | 282.460,0 | 282.163,0 | 283.352,0 | 0,21 | 1,08 | |
| | 8 | 296.373,0 | 295.453,0 | 297.909,0 | 0,40 | 1,07 | |
| | 9 | 275.050,0 | 273.941,0 | 276.163,0 | 0,33 | 1,14 | |
| | 10 | 254.290,00 | 251.772,0 | 255.808,0 | 0,69 | 1,09 | |
| Média | | 257.719,0Kg/cm ² | | | | | |

De acordo com a tabela mencionada o módulo de elasticidade dinâmico para espécie itaúba variou de 164.359,0 a 225.822,0 g/cm² com densidade de 0,80 a 1,06g/cm³, enquanto que na madeira do cumaru sucessivamente variou de 226,418,0 a 297.909,0g/cm² e 0,89 a 1,17g/cm³. Considerando a segunda espécie de maior resistente consequentemente mais pesada, com coeficiente de variação 0,19 a 0,59.

Quanto a análise de variância o MOEd nas duas espécies apresentaram de forma significativo entre as dez amostras ao nível de 5% de probabilidade, conforme tabela 11.

Tabela 11: Teste F

| Espécies | F |
|----------|-----------|
| Itaúba | 2046,26** |
| Cumaru | 1569,45** |

** nível de 5% de probabilidade

Como pretendia confeccionar as vigas com as duas espécies de madeiras optou intercalar a composição das lâminas diferenciadas na linha neutra com base na norma, onde descreve que na linha neutra pode-se ser inserida madeiras com qualidade inferior. Para isso decidiu-se analisar os dados por meio do intervalo de confiança.

Na análise considerou-se o padrão mediano no intervalo [188.440,0 a 200.367,00 Kg/cm²] para a espécie itaúba e [251.078,00 a 264.360,00Kg/cm²] para a espécie cumaru, os intervalos possibilitaram classificação das peças para composição da viga, conforme categoria tabela 12.

Tabela 12: Classe de qualidade para o Módulo de elasticidade dinâmico

| Espéc | Categoria | Classe de qualidade |
|--------|---------------|--------------------------------|
| Itaúba | Externo | > 200.367,0Kg/cm ² |
| | Intermediaria | < 188.440,0 Kg/cm ² |
| Cumaru | Externo | > 245.435,0Kg/cm ² |
| | Intermediaria | < 232.418,0 Kg/cm ² |

As tábuas do lote superior de MOEd acima da média foram destinadas a compor as lâminas que fizeram parte das quartas partes mais afastadas da linha neutra da viga, as lâminas de MOEd inferior e foram utilizadas na composição da metade central da seção transversal dessa peça, ou seja na linha neutra da viga de MLC. Os grupos de classe de qualidade estão demonstrados na figuras 29 e 30.

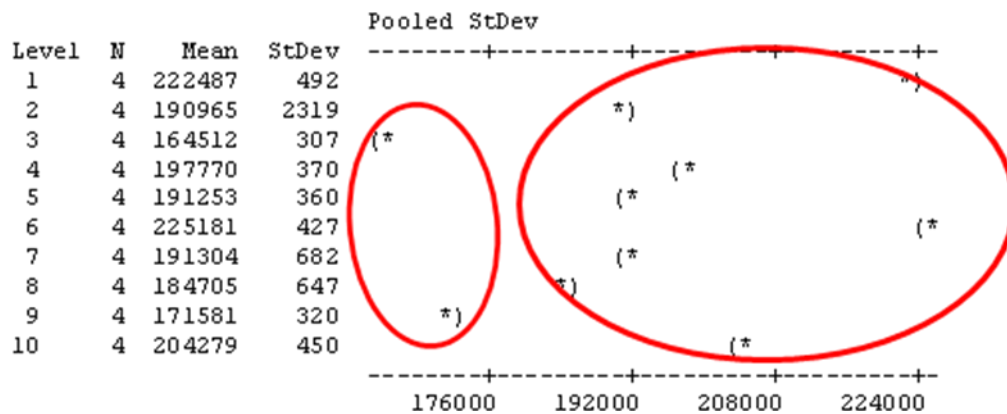


Figura 29: Classe de qualidade da madeira

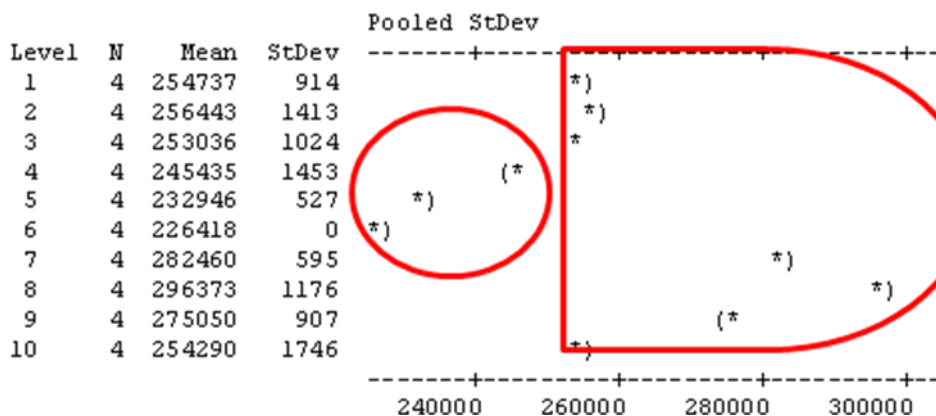


Figura 30: Classe de qualidade da madeira Cumaru

Com esta caracterização foram selecionadas espécies para composição da viga de maneira atingir o objetivo proposto, de acordo AMERICAN PLYWOOD ASSOCIATION (2000), esta norma recomenda que as vigas de MLC devem ser produzidas com madeira de melhor resistência nas lâminas superiores e inferiores, onde ocorrem as máximas tensões de compressão e de tração.

A viga 01 e 03 foi composta por cinco lâminas intercaladas, sendo **de cumaru** (*Dipteryx odorata*) as lâmina superior e a inferior, assim como a lâmina da linha neutra, ficando a segunda e a quarta lâmina da espécie **Itaúba** (*Mezilaurus itaúba*).



Figura 31: Viga 01, 03
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

A viga 02 e 04 foram compostas com a espécie **Itaúba** (*Mezilaurus itaúba*) na parte superior e inferior, e na linha neutra, ficando a segunda e a quarta lâmina da espécie Cumaru (*Dipteryx odorata*). Formando assim 2 vigas com esta combinação.



Figura 32: Viga 02 e 04
Fonte: acervo Dias, Aidson (2014)

A viga 01 e 03 foi composta por cinco lâminas intercaladas, sendo **de cumaru** (*Dipteryx odorata*) as lâmina superior e a inferior, assim como a lâmina da linha neutra, ficando a segunda e a quarta lâmina da espécie **Itaúba** (*Mezilaurus itaúba*).

A viga 02 e 04 foram compostas com a espécie **Itaúba** (*Mezilaurus itaúba*) na parte superior e inferior, e na linha neutra, ficando a segunda e a quarta lâmina da espécie Cumaru (*Dipteryx odorata*). Formando assim 2 vigas com esta combinação.

Conforme podemos observar, pelas Figuras A,B,C e D que ilustra as rupturas das vigas de Madeira Laminada Colada com duas espécies de madeira. Podemos

observar que as rupturas iniciaram sempre na região tracionada. A viga 01 ocorreu cisalhamento na lâmina número 10 de cumaru. Na viga 02 ocorreu o cisalhamento na lâmina 06 itaúba e na lâmina 06 cumaru. Na viga 03 o cisalhamento se deu na nas lâminas 05 cumaru e 05 itaúba. Enquanto que a viga 04 o cisalhamento aconteceu nas lâminas na seguinte ordem: lâmina 03 itaúba, lâmina 02 cumaru e lâmina 02 itaúba.

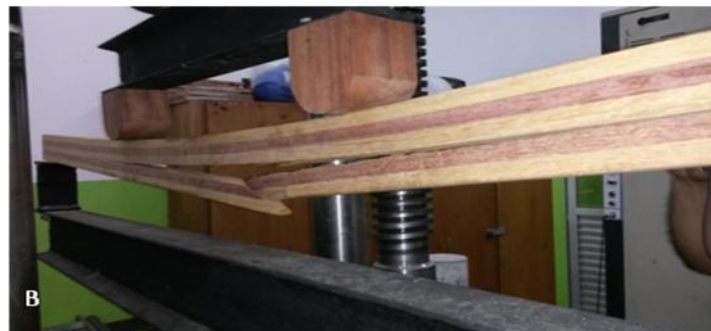


Figura 33: A; B; C e D - Rompimento das vigas

Não houve ocorrência de cisalhamento na linha de cola das vigas, apresentando assim, uma boa adesão e validando o sistema de prensagem desenvolvido.

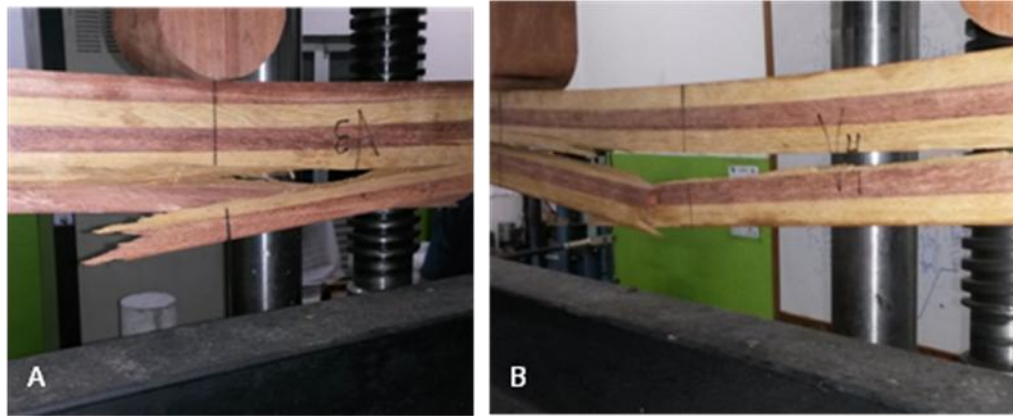


Figura 34: A e B - Análise das rupturas das vigas

É interessante observar que em todas as vigas, as rupturas iniciaram-se na região tracionado de momento fletor máximo, e após um incremento de carga, ocorreu o rompimento final da viga.

Este tipo de comportamento de ruptura foi semelhante ao observado por Fiorellin(2005) no estudo em vigas de MLC produzidas com *Pinus caribaea var hondurensis* com e sem reforço de fibra de vidro. Segundo Burdzik (1997) as lâminas menos resistentes são aquelas que iniciam o processo de ruptura na região solicitada à tração, contra aquelas que sofrem ruptura nas localidades dos defeitos naturais. Nascimento et al (2002) avaliando vigas de MLC produzidas com *Pinus elliotti* e *Pinus taeda*, observou que as rupturas iniciaram-se na parte tracionada das vigas nos locais de ocorrência das emendas, com propagação por cisalhamento.

Vigas de MLC produzidas na Europa e nos EUA, foram avaliadas por Falk e Colling (1995) onde sugerem que a classe mecânica de qualidade das lâminas mais solicitadas à tração, serve como um indicador das propriedades de resistência à flexão das vigas e parece ser uma forma efetiva de classificar a viga de MLC. Os autores afirmam ainda, que a qualidade das lâminas que compõem a MLC afeta diretamente o comportamento mecânico da viga.

Observa-se na tabela 13, que a viga 1, composta na parte superior e inferior com as lâminas da madeira de cumaru, suportou uma carga máxima superior a da viga 2 em torno de 34%, onde a lâmina superior e inferior foi composta com a

madeira de Itaúba. Era de se esperar, devido a maior flexibilidade que a madeira itaúba possui em relação cumaru, tanto que a mesma é utilizada na construção de casco de embarcação regional.

Tabela 13: Carga máxima suportada pela vigas

| Viga n° | Carga de ruptura |
|----------------|-------------------------|
| Viga 01 | 2.620 |
| Viga 02 | 1.710 |
| Viga 03 | 1.850 |
| Viga 04 | 1.610 |

Fonte: acervo Dias Aidson (2014)

Resultado semelhantes foram observados com a viga 4 compostas na mesma sequencia de espécies conforme gráfico 1 e 2.

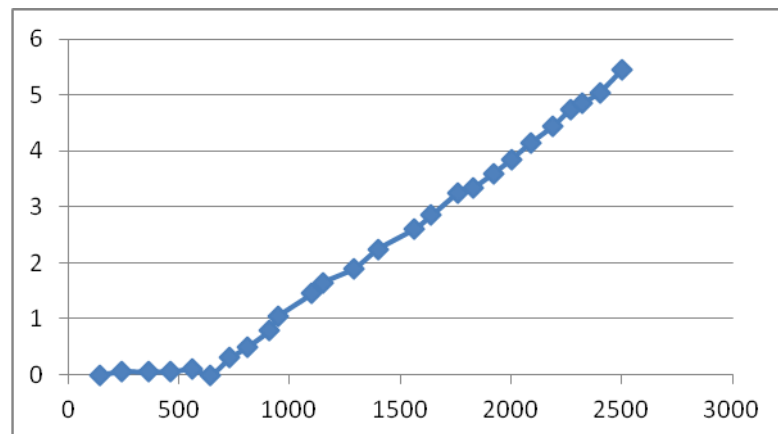


Gráfico 1: Carga e cisalhamento da viga 1 e 3

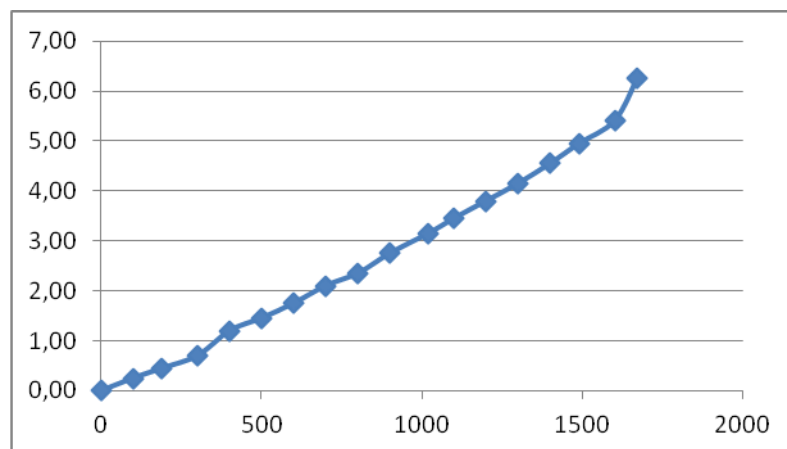
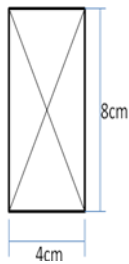
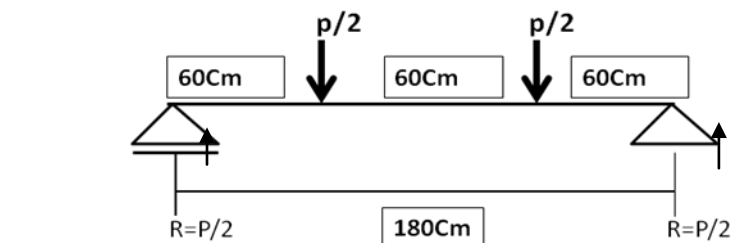


Gráfico 2: Carga e cisalhamento da viga 2 e 4

6.4. AVALIAÇÃO DAS VIGAS CONFECCIONADAS

6.4.1- Calculo teórico das espécies

Para efeito comparativo dos resultados obtidos nas quatro vigas ensaiadas por cisalhamento, fez-se cálculo teórico considerando a média das espécies em vigas maciça, conforme demonstração.



$$M_{max} = \frac{P}{2} \times \frac{\ell}{2} - \frac{P}{2} \left(\frac{\ell}{2} - \frac{\ell}{3} \right) \times \frac{P\ell}{4} - \frac{P}{2} \times \frac{\ell}{6}$$

$$M_{max} = P\ell \left(\frac{1}{4} - \frac{1}{12} \right) \therefore M_{max} = \frac{P\ell}{6}$$

3-Avaliação teórica da carga máxima (NBR 7190)

3.1 Valor característico $\rightarrow X_k$

$$\text{Cumarú} \rightarrow f_{ck} = 1.036 \text{ kg/cm}^2 \rightarrow \text{Tração} = f_{t0,k} = 1.345 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Itaúba} \rightarrow f_{ck} = \frac{525 \text{ kg}}{\text{cm}^2} \rightarrow \text{Tração} = f_{t0,k} = \frac{681 \text{ kg}}{\text{cm}^2}$$

- De acordo com a norma:

$$\frac{f_{c0k}}{f_{t0k}} = 0,77 \rightarrow f_{t0k} = \frac{f_{c0k}}{0,77}$$

Valor do cálculo:

$$K_{mod} = K_{mod_1} \times K_{mod_2} \times K_{mod_3}$$

$$K_{mod} = K_{mod_1} = 0,6$$

$$K_{mod_2} = 1$$

$$K_{mod_3} = 1$$

$$\gamma_{wc} = 1,4$$

$$\gamma_{wt} = 1,8$$

$$\text{Cumaru} = f_{cd} = K_{mod_1} \times K_{mod_2} \times K_{mod_3} \frac{f_{ck}}{\gamma_{wc}}$$

$$= f_{cd} = 0,6 \times 1 \times 1 \times \frac{1036}{1,4}$$

$$= f_{cd} = 444 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$= f_{td} = K_{mod_1} \times K_{mod_2} \times K_{mod_3} \frac{f_{tk}}{\gamma_{wt}}$$

$$f_{td} = 0,6 \times 1 \times 1 \times \frac{1345}{1,8}$$

$$f_{td} = 448 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$\text{Itauba} = f_{cd} = K_{mod_1} \times K_{mod_2} \times K_{mod_3} \frac{f_{ck}}{\gamma_{wc}}$$

$$f_{cd} = 0,6 \times 1 \times 1 \times \frac{525}{1,4}$$

$$f_{cd} = 225 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

$$f_{td} = K_{mod_1} \times K_{mod_2} \times K_{mod_3} \frac{f_{tk}}{\gamma_{wt}}$$

$$f_{td} = 0,6 \times 1 \times 1 \times \frac{681}{1,8}$$

$$f_{td} = 227 \frac{\text{kgf}}{\text{cm}^2}$$

-Admitindo a menor resistência para as duas (2) espécies calculou-se a carga do projeto:

Cumarú

$$f_{cd} = \frac{M_d}{I} y_c$$

$$M_d = \frac{f_{cd} I}{y_c}$$

$$I = \frac{4 \times 8^3}{12} \therefore I = 170,6$$

$$M_d = \frac{f_{cd} \times I}{y_c} = \frac{444 \times 170,6}{4} = \mathbf{18.944 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}$$

Itaúba

$$f_{cd} = \frac{M_d}{I} y_c \therefore M_d = \frac{f_{cd} \times I}{y_c}$$

$$M_d = \frac{225 \times 170,6}{4} \therefore M_d = \mathbf{9.596,25 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}$$

-Cálculo teórico da carga

$$M_d = \frac{Pl}{6}$$

Para Cumarú

$$\frac{Pl}{6} = 18.944 = 6 \times \frac{18.944}{180} = \mathbf{631 \text{ kg}}$$

$$P = \mathbf{631 \text{ kg}}$$

Para Itaúba

$$P = 6 \times \frac{0596}{180} = \mathbf{319 \text{ kg}}$$

-Cálculo de Ruptura

Itaúba

$$f_{ck} = \frac{M_d}{I} y_c \therefore M_d = \frac{f_{ck} I}{y_c} = \frac{525 \times 170,6}{4}$$

$$M_d = \mathbf{22.291,25 \text{ kgf} \cdot \text{cm}}$$

Cumarú

$$f_{ck} = \frac{M_d}{I} y_c \therefore M_d = \frac{f_{ck} I}{y_c} = \frac{1.036 \times 170,6}{4}$$

$$M_d = 44.030 \text{ k}_f \cdot \text{cm}$$

-Carga de Ruptura

Itaúba

$$P = \frac{M_d \times 6}{\ell} = 22.391,25 \times 6 = 746 \text{ k}_f$$

Cumarú

$$P = \frac{M_d \times 6}{\ell} = \frac{44.030 \times 6}{180} = 1.467 \text{ k}_f$$

Considerando que a ruptura tenha sido na tração:

Itaúba

$$f_{tk} = \frac{525}{0,77} = 681,8 \text{ k}_f / \text{cm}$$

Cumarú

$$f_{tk} = \frac{1036}{0,77} = 1.345,46 \text{ k}_f / \text{cm}$$

Itaúba

$$M_d = \frac{f_{tk} I}{y} \therefore M_d = \frac{681 \times 180}{4} = 30.645 \text{ k}_f \cdot \text{cm}$$

Cumarú

$$M_d = \frac{f_{tk} I}{y} = \frac{1.345,46 \times 180}{4} = 60.547 \text{ k}_f \cdot \text{cm}$$

-Cálculo da carga de ruptura a tração

Itaúba

$$P = \frac{M_d \times 6}{\ell} = \frac{30645 \times 6}{180} = 1.021,5 \text{ k}_f$$

Cumarú

$$P = \frac{M_d \times 6}{\ell} = \frac{60547 \times 6}{180} = P = 2.018.k_{gf}$$

Os valores aproximados, considerados como se fosse peças sólidas de itaúba ou de cumaru por exemplo: comparando as vigas indiferente a posição das lâminas tem-se uma carga de ruptura média dos quatro (ensaio) 1.947,25 que dá um valor próximo ao de carga e cálculo para cumaru de 2018 kgf.

Com a média das vigas obteve-se 1947kg/cm², enquanto que no cálculo da viga teórica foi de 2.018kg/cm². Considerando os resultados obtidos pode-se afirmar que possível utilizar madeira da Amazônia para fabricação de vigas laminadas. Observa-se que a carga média foi obtida por meio de ensaios de flexão em vigas laminadas constituídas de diferentes espécies; portanto, existe um forte indicador de que é possível construir vigas laminadas coladas constituídas de diferentes espécies. Ressalta-se no entanto, que é necessário realizar mais ensaios sobre o comportamento destas vigas sobre o efeito de variação da umidade.

Os resultados alcançados vem quebrar o paradigma da não utilização de madeiras de alta densidade na fabricação de vigas laminadas colada para as espécies Itaúba e Cumaru, mesmo com resultados obtido há necessidade de novos teste com diferentes espécies, em razão da diversidade das espécies na floresta Amazônica deve-se levar em consideração grau de anisotropia, estrutura anatômica e composição química que determinadas espécies Amazônica apresentam.

7 CONCLUSÃO

Os adesivos a base de ureia formaldeído não apresentaram resultado satisfatório no teste de laminação para 10 espécies de madeiras da Amazônia com alta densidade.

A madeira do tauari e da andiroba no teste de cola apresentaram resultado satisfatório quanto a delaminação com adesivo ureia formaldeído.

E possível agrupar madeira de espécies Amazônica com propriedades física similares para composição de vigas.

No ensaio estruturais das vigas com as espécies Itaúba e cumaru com adesivo cascofen foi comprovado com o teste de cisalhamento que não houve delaminação na linha de cola, mesmo usando lâminas de diferente espécies.

Concluindo, que vigas composta com mais de uma espécies de madeira da Amazônica pode ser produzida, desde que, levem em consideração a similaridade das propriedades física das espécies para uso do adesivo adequado como foi verificado nesta pesquisa.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **ASTM D143 - Standard Test Methods for small clear specimens of timber**. Philadelphia, PA, 2000.

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **ASTM D198-Standard Test Methods of Static Tests of Lumber in Structural Sizes**. Philadelphia, PA, 1997.

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **ASTM D3737-Standard Test Method for Establishing Stresses for Structural Glue Laminated Timber (Glulam)**. Philadelphia, PA, 1996.

AMERICAN SOCIETY for TESTING and MATERIALS. **ASTM D4761- Mechanical Properties of Lumber and Wood-Base Structural Material**. Philadelphia, PA, 1996.

ARRUDA, H. A. C. **Influência da classificação das lâminas em vigas de MLC**. Dissertação (Mestrado). UFSC, 1995.

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

Alcebíades NEGRÃO MACÊDO, Carlito CALIL JUNIOR. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC): avaliação de método de ensaio – NBR 7190/1997**. São Carlos, 1999.

BODIG, J.; JAYNE, B. A. **Mechanics of wood and wood composites**. New York: Van Nostrand Reinhold Company, 1993.

BODIG, J. The process of NDE research for wood and wood composites. **The e-Journal of Nondestructive Testing**, v.6, n.03, mar. 2001.

BREYER, D. E.; FRIDLEY, K. J.; COBEEN, K. E. **Design of wood structures**. ASD. 4ª ed. New York: McGraw-Hill, 1998. 966p.

CALIL JUNIOR, C.; MINA, A. Vibração Transversal: um método eficiente para a classificação de peças estruturais de madeira. **Engenharia Agrícola**, Campina Grande - Pb, v. 7, n. 2, p. 335-338, 2003

CALIL JUNIOR, Carlito; DIAS, Antonio Alves. **Utilização da madeira em construções rurais**. 1997. Disponível em: <<http://www.agriambi.com.br/revista/v1n1/071.pdf>>. Acesso em: 6 abr. 2009.

CARREIRA, M. R. **Crítérios para classificação visual de peças estruturais de Pinus sp**. Dissertação (Mestrado). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, Sp, 2003. 182p.

CHUGG, W. A. **Glulam: the theory and practice of the manufacture of glued laminated timber structures**. London : E. Benn, 1964. 423p.

COIADO, B., DIAS, A. A. **Avaliação da resistência à tração paralela às fibras de peças de madeira de *Pinus Sp* com dimensões estruturais e classificadas visualmente.** São Carlos, 2004. Relatório (Iniciação científica). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

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

GÓES, J. L. N. ; DIAS, A. A. . Avaliação experimental de vigas de madeira com seção composta. In: VIII ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 2002, Uberlândia-MG. **Anais...**, 2002.

INSTITUTO DE PESQUISA TECNOLÓGICA DO ESTADO DE SÃO PAULO. **Madeira: uso sustentável na construção civil.** IPT/SVMS/Sinduscom: São Paulo: IPT, 2003, 59p.

KOLLMANN, F. F. P.; CÔTÊ, A. C. **Principles of Wood Science and Technology.** Vol I. Solid Wood. New York: Springer-Verlag, 1968, 592p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E. W.; STAM, A. J. **Principles of Wood Science and Technology.** Vol II. Wood based materials. New York: Springer-Verlag, 1975, 702p.

PELLERIN, R. F.; ROSS, J. R. **Nondestructive evaluation of wood.** Madison: USDA, Forest Service, 2002.

PIZZI, A.; SCHARFETTER, H.; KES, E. W. Adhesives and techniques open new possibilities for the wood processing industry. **Hols als Roh und Werkstoff.** (1981) v. 39; p85-89.

PFEIL, W.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira.** Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos Editora – LTC, 2003.

SMULSKI, S. **Engineered wood products.** A guide for specifiers, designers and users. PFS Research Foundation, Madison, WI, 1997.

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

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.