



UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE TECNOLOGIA

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA MECÂNICA

ÁREA DE CONCENTRAÇÃO – MATERIAIS E PROCESSOS DE FABRICAÇÃO

RUTH PEREIRA CARNEIRO

**COLAGEM DE JUNTA DE MADEIRA COM ADESIVO EPÓXI**

Belém  
2010

RUTH PEREIRA CARNEIRO

**COLAGEM DE JUNTA DE MADEIRA COM ADESIVO EPÓXI**

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará, como requisito para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica. Área de concentração – Materiais e Processos de Fabricação.

Orientador: **Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama**

Belém  
2010

RUTH PEREIRA CARNEIRO

**COLAGEM DE JUNTA DE MADEIRA COM ADESIVO EPÓXI**

Belém  
2010

RUTH PEREIRA CARNEIRO

**COLAGEM DE JUNTA DE MADEIRA COM ADESIVO EPÓXI**

Dissertação submetida para obtenção do título de Mestre em Engenharia Mecânica no Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica do Instituto de Tecnologia da Universidade Federal do Pará.

Belém - Pará, 08 de Fevereiro de 2010.

BANCA EXAMINADORA:

---

Prof. Dr. Roberto Tetsuo Fujiyama  
Universidade Federal do Pará/PPGEM – Orientador

---

Prof. Dr. Fernando Antônio de Sá  
Universidade Federal do Pará – Membro Interno

---

Prof. Dr. Joaquim Ivanir Gomes  
EMBRAPA/PA – Membro Convidado

---

Prof. Dr. Fathi Aref Ibrahim Darwish  
Universidade Federal Fluminense/UFF – Membro Externo

Belém  
2010

## DEDICATÓRIA

---

À minha família.

## AGRADECIMENTOS

---

Ao Senhor Deus pela força e sabedoria.

Ao Professor Dr Roberto Tetsuo Fujiyama pelo convite, orientação, paciência, compreensão, dedicação e incentivo durante a realização deste trabalho.

Ao Pesquisador Joaquim Ivanir Gomes – Embrapa Amazônia Oriental – área de Anatomia e Identificação de Madeira, pelos ensaios de identificação macroscópica das madeiras que foram utilizadas neste estudo.

Ao monitor Paulo Cordeiro Machado do Grupo de Pesquisa em Engenharia de Materiais – GPEMAT pelo apoio na condução dos experimentos em laboratório.

Ao graduando em Engenharia Elétrica Valter Hugo Fachinetti pelo apoio às figuras.

Aos professores do Mestrado em Engenharia Mecânica, pelos conhecimentos partilhados e a todos que de forma direta ou indiretamente contribuíram na elaboração deste trabalho.

Aos amigos Maria das Neves, Raquel, Sandoval, Paulo Pinto, Márcio Frank, Taíssa, Junilce, Marcelo Gonçalves Carol e todos com quem dividi os momentos alegres e tristes.

À minha mãe pelas orações, para a realização deste sonho.

“A educação tem raízes amargas, mas os seus frutos são doces”.

Aristóteles

## RESUMO

---

Este trabalho tem como objetivo confeccionar, testar e comparar juntas coladas de topo, biselada e encaixada de espécies de madeira de diferentes densidades. A colagem da madeira possibilita o reaproveitamento de aparas e sobras de madeiras que normalmente são descartadas, podendo minimizar o corte de muitas árvores, seja da natureza ou de plantio planejado. A metodologia de fabricação das juntas foi estabelecida com base em indicações descritas em normas brasileiras. Foi realizada observação macroscópica da madeira, para confirmação de suas espécies. Depois de estabelecida a dimensão das juntas foram confeccionados corpos de prova, utilizando o adesivo Compound Adesivo de base epóxi e as madeiras Angelim-pedra, Jatobá e Tauari, adquiridas em depósito de madeira na cidade de Ananindeua-Pa. Quanto à caracterização do adesivo, foi verificado através do ensaio de tração, que tem boa resistência mecânica. Após a colagem das juntas foi realizado ensaio de tração a fim de determinar a resistência das juntas coladas. O desempenho dessas juntas foi avaliado em função da relação entre os valores de resistência à tração da madeira sólida e os valores de resistência à tração com madeira colada e modo de ruptura. De acordo com os resultados observou-se que as juntas coladas biseladas apresentaram excelente resistência à tração, bem próxima da resistência da madeira sólida; notou-se também a boa aceitação de colagem da madeira Jatobá. Com relação à qualidade da adesão, as juntas coladas de topo e encaixada apresentaram ruptura adesiva. Os resultados experimentais obtidos indicam uma boa concordância entre os modelos teóricos para avaliar a resistência à tração e a qualificação das juntas coladas.

**Palavras-chave:** madeira, adesivo, juntas coladas.

## ABSTRACT

---

This work has as objective of making, to test and to compare the glued joints of butt, scarf and finger with three species of wood of different densities. The collage of the wood makes possible the use of pieces and surpluses of wood that are usually discarded, could minimize the cut of a lot of trees, be of the nature or of planned planting. The methodology of production of the joint, it was established with base in indications described in Brazilian norms. Macroscopic observation of the wood it was accomplished, for confirmation of your species. After established the dimension of the joints they were made bodies of proof, using the adhesive Compound Adhesive of epoxy base and wood Angelim-pedra, Jatobá and Tauari, acquired in wood deposit in the city of Ananindeua-Pa. With relationship the characterization of the adhesive, it was verified through the traction tests that has good mechanical resistance. After collages of the joints it was accomplished traction tests to determining the resistance of the glued joints. The glued joints performance it was evaluated in function of the relationship among the values of resistance to traction of the solid wood and the values of resistance to traction with glued wood and rupture way. In agreement with the results it was observed that the glued joints scarf they presented excellent resistance to traction, very close of the resistance of the solid wood; it was also noticed the good acceptance of collage of the wood Jatobá. With relationship the quality of the adhesion, the glued joints of butt and finger, therefore they presented adhesive rupture. The experimental results obtained indicate a good agreement among the theoretical models to evaluate the resistance to the traction and the qualification of the glued joints.

**Key-words: Wood, adhesive, glued joints.**

## LISTA DE FIGURAS

---

Figura 1:	Corte transversal em um tronco de árvore (CAMARGO et al. 2001).	20
Figura 2:	Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras (WILCOX et al. 1991).	22
Figura 3:	Aspectos dendrológicos do Angelim-pedra - (a) árvore, (b) casca e (c) tora (IBAMA, 1997).	25
Figura 4:	Aspectos dendrológicos do Jatobá - (a) árvore, (b) casca e (c) tora (IBAMA, 1997).	27
Figura 5:	Aspectos dendrológicos do Tauari - (a) árvore, (b) casca e (c) tora (IBAMA, 1997).	28
Figura 6:	Grupo funcional epóxi (MARK et al. 1986).	34
Figura 7:	Estrutura química do diglicidil éter de bisfenol A (MARK et al.1986).	35
Figura 8:	Desenho esquemático de uma junta de topo.	38
Figura 9:	Desenho esquemático de uma junta biselada.	39
Figura 10:	Desenho esquemático de uma junta encaixada.	40
Figura 11:	Modo de ruptura - (a) ruptura adesiva, (b) ruptura coesiva, (c) ruptura por cisalhamento de camada fina da superfície do substrato, (d) ruptura por cisalhamento de camada profunda da superfície do substrato e (e) ruptura pela falha do corpo de prova do substrato (ASTM D 5573, 1994).	47
Figura 12:	Aspecto macroscópico da madeira - Célula de parênquima axial (BURGER; RICHTER, 1991).	49
Figura 13:	Adesivo epóxi utilizado na colagem das juntas (VEDACIT, 2008).	50
Figura 14:	Forma e dimensões (em mm) dos corpos de prova do adesivo epóxi para o ensaio de tração.	51

Figura 15:	Preparo do adesivo - momento da mistura da resina epóxi com endurecedor.	52
Figura 16:	Moldes de silicone usados para a confecção dos corpos de prova do adesivo epóxi.	52
Figura 17:	Moldes de silicone com o adesivo epóxi depositado.	53
Figura 18:	Corpos de prova do adesivo epóxi após os desmoldes.	53
Figura 19:	Corpos de prova do adesivo epóxi após serem lixados.	54
Figura 20:	Máquina de ensaio com corpos de prova do adesivo epóxi (a), (b) e (c) no momento do ensaio de tração.	55
Figura 21:	Geometria (em mm) utilizada para confecção dos corpos de prova das juntas de topo para o ensaio de tração.	56
Figura 22:	Geometria (em mm) utilizada para confecção dos corpos de prova das juntas biseladas para o ensaio de tração.	57
Figura 23:	Geometria (em mm) utilizada para confecção dos corpos de prova das juntas encaixadas para o ensaio de tração.	57
Figura 24:	Amostra dos corpos de prova das juntas de topo confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	58
Figura 25:	Amostra dos corpos de prova das juntas biseladas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	58
Figura 26:	Amostra dos corpos de prova das juntas encaixadas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	58
Figura 27:	Lixamento dos corpos de prova das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c).	59
Figura 28:	Limpeza dos corpos de prova das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c).	59
Figura 29:	Aplicação do adesivo sobre a superfície de colagem das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c).	60
Figura 30:	Prensa simples.	61

Figura 31:	Sistema de prensagem dos corpos de prova das juntas coladas.	61
Figura 32:	Máquina de ensaio com os corpos de prova das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c) no momento do ensaio de tração.	62
Figura 33:	Seção transversal das madeiras usadas nas colagens - Células de parênquima axial (IBAMA, 1997).	64
Figura 34:	Resultados dos ensaios de resistência à tração dos corpos de prova do adesivo epóxi.	66
Figura 35:	Forma de fratura dos corpos de prova do adesivo epóxi.	66
Figura 36:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas de topo de Angelim-pedra.	68
Figura 37:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas de topo de Jatobá.	68
Figura 38:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas de topo de Tauari.	69
Figura 39:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas biseladas de Angelim-pedra.	70
Figura 40:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas biseladas de Jatobá.	70
Figura 41:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas biseladas de Tauari.	71
Figura 42:	Desenho esquemático das posições das forças.	71
Figura 43:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas encaixadas de Angelim-pedra.	72
Figura 44:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas encaixadas de Jatobá.	72

Figura 45:	Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas encaixadas de Tauari.	73
Figura 46:	Resultado comparativo dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Angelim-pedra.	76
Figura 47:	Resultado comparativo dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Jatobá.	77
Figura 48:	Resultado comparativo dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Tauari.	77
Figura 49:	Representação da ruptura típica das juntas coladas de topo confeccionadas com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	78
Figura 50:	Representação da ruptura típica das juntas coladas biseladas confeccionadas com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	79
Figura 51:	Representação da ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Angelim-pedra.	80
Figura 52:	Representação da ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Jatobá.	81
Figura 53:	Representação da ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Tauari.	81

## LISTA DE TABELAS

---

Tabela 1:	Composição orgânica da madeira (HELLMEISTER, 1982).	20
Tabela 2:	Propriedades mecânicas dos polímeros.	32
Tabela 3:	Propriedade física e mecânica das madeiras usadas no ensaio de tração das juntas coladas.	48
Tabela 4:	Características do adesivo Compound Adesivo (VEDACIT, 2008).	50
Tabela 5:	Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova do adesivo epóxi.	65
Tabela 6:	Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas de topo confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	74
Tabela 7:	Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas biseladas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	74
Tabela 8:	Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas encaixadas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	75
Tabela 9:	Resultado dos valores médios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.	76

## SUMÁRIO

---

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	17
<b>2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	19
2.1 – MADEIRA	19
2.1.1 - <b>Composição Química</b>	19
2.1.2 – <b>Estrutura</b>	20
2.1.3 – <b>Secagem</b>	21
2.1.4 - <b>Características Físicas</b>	22
2.1.5 - <b>Características Mecânicas</b>	23
2.1.6 - <b>Tipos de Madeiras</b>	24
2.1.6.1 - Angelim-pedra	25
2.1.6.2 – Jatobá	26
2.1.6.3 - Tauari	28
2.2 – ADESIVO	30
2.2.1 - <b>Classificação do Adesivo</b>	31
2.2.2 - <b>Tipos de Adesivo</b>	32
2.2.2.1 - Resorcinol-formaldeído	32
2.2.2.2 - Fenol-formaldeído	33
2.2.2.3 – Poliuretanos	33
2.2.2.4 - Resina Epóxi	34
2.2.2.5 - Compound Adesivo	36
2.2.3 - <b>Ensaio do Adesivo</b>	36
2.3 - JUNTAS DE MADEIRA COLADA	37
2.3.1 - <b>Tipos de juntas</b>	38
2.3.1.1 - Juntas de Topo	38
2.3.1.2 - Juntas Biselada	39
2.3.1.3 - Juntas Encaixada	39
2.3.2 - <b>Colagem das Juntas</b>	40
2.3.2.1 - Teorias Sobre o Fenômeno da Adesão ou Colagem	40
2.3.2.2 - Fatores que Afetam o Processo de Adesão ou Colagem	42

2.3.3 - Ensaio das Juntas de Madeira Colada	45
2.3.4 - Modos de Ruptura	46
<b>3 MATERIAIS E MÉTODOS</b>	<b>48</b>
3.1 – MATERIAIS	48
3.1.1 – Madeiras	48
3.1.1.1 - Ensaio de Caracterização das Madeiras	49
3.1.2 - Adesivo Epóxi	49
3.1.2.1 - Características Gerais do Adesivo	50
3.1.2.2 - Forma e Dimensões do Corpo de Prova do Adesivo	51
3.1.2.3 - Preparo do Adesivo para Confeção dos Corpos de Prova	51
3.1.2.4 - Ensaio Mecânico do Adesivo	54
3.2 - MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DAS JUNTAS DE MADEIRA COLADA	56
3.2.1 - Geometria dos Corpos de Prova das Juntas Coladas	56
3.2.2 - Confeção dos Corpos de Prova das Juntas Coladas	57
3.2.3 - Procedimento para a Colagem das Juntas	59
3.2.4 - Ensaio Mecânico das Juntas Coladas	61
3.2.5 - Modos de Ruptura	63
<b>4 RESULTADOS E DISCUSSÃO</b>	<b>64</b>
4.1 – MADEIRAS	64
4.1.1 - Ensaio de Caracterização das Madeiras	64
4.2 - ADESIVO EPÓXI	65
4.2.1 - Ensaio Mecânico do Adesivo	65
4.3 - JUNTAS DE MADEIRA COLADA	67
4.3.1 - Ensaio Mecânico das Juntas Coladas	67
4.3.2 - Modos de Ruptura	78
<b>5 CONCLUSÃO</b>	<b>83</b>
<b>REFERÊNCIAS</b>	<b>85</b>

## 1 INTRODUÇÃO

---

A madeira é um dos materiais mais complexos empregados na engenharia, mostrando-se de essencial importância para a utilização em colagem. É obtida de árvores que podem ser de dois grupos: Gimnospermas (coníferas) e Angiospermas (folhosas). Grandes diferenças anatômica, física e química ocorrem entre diferentes espécies de cada um desses grupos, e inclusive entre diferentes árvores da mesma espécie, nas quais se observam variações ao longo da seção transversal (onde melhor se observam as várias disposições dos tecidos lenhosos para fins de identificação) e do comprimento. É considerado um material anisotrópico e também higroscópico, pois perde e ganha umidade. A anisotropia causa na madeira diferentes propriedades de resistência mecânica nas direções perpendicular e paralela às fibras, apresentando maior resistência na direção paralela às fibras.

Segundo Nascimento et al. (2002), a cada ano fica mais difícil encontrar peças de madeiras consideradas nobres, principalmente de grandes dimensões. Com isso, pesquisas com finalidades de se encontrar melhores formas para a colagem de madeira são necessárias. Os pesquisadores têm o desafio de procurar além de espécies alternativas, adequar os adesivos comerciais para essas espécies.

A colagem da madeira apesar de ser uma prática muito antiga não é tão simples considerando que existem muitas variáveis envolvidas, que vão desde a característica da cola, processamento da madeira e influência do ambiente na estrutura colada (TIENNE, 2006). As madeiras folhosas, devido a sua constituição química e maior complexidade estrutural, apresentam maior dificuldade de colagem que as coníferas.

Segundo Melo e Carrasco (2004), a formação de uma colagem adequada e seu desempenho depende de uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas do adesivo e do material a ser colado, do procedimento adotado na colagem, da forma geométrica e do tamanho das peças a serem coladas, possibilitando assim, a fabricação de produtos compostos de madeira para mais variadas aplicações.

A grande vantagem da madeira colada é que com o auxílio de adesivos pode-se aproveitar uma grande quantidade de madeira de pequenas dimensões, que normalmente são descartadas e, sendo fabricada com rígidos padrões de controle

de qualidade adquire alta resistência a rigidez e durabilidade das ligações. E para confecção de grandes elementos estruturais na forma de madeira colada é necessário o uso de lâminas de comprimento suficientemente grande, as quais são obtidas por meio de juntas longitudinais que podem ser confeccionadas de vários tipos como: junta de topo, biselada e encaixada. Alguns fatores como a resistência, a facilidade e economia de produção regem a utilidade dessas juntas.

As madeiras utilizadas neste trabalho para confecção dos corpos de prova das juntas de topo, biselada e encaixada foram: Angelim-pedra, Jatobá e Tauari, e teve como adesivo para as colagens das juntas o Compound Adesivo, fabricado pela Vedacit. Foram confeccionados 63 pares de juntas que através de ensaios de tração foi submetida à carga máxima até as suas rupturas para determinação de suas resistências à tração.

Portanto, os objetivos deste trabalho foram: confeccionar, testar e comparar juntas coladas de topo, biselada e encaixada de três tipos de madeiras.

## 2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

---

### 2.1 - MADEIRA

A madeira é um dos produtos mais valiosos que as árvores oferecem. Sendo produzida a partir do tecido formado pelas plantas lenhosas com funções de sustentação mecânica, a madeira continua presente em todos os setores e, por ser um material naturalmente resistente, é frequentemente utilizada como material de construção. A madeira em seu estado natural tem característica própria que pode ser alterada com tecnologia moderna.

#### 2.1.1 - Composição Química

Os diversos componentes químicos e a variedade de elementos anatômicos atribuem à madeira uma característica de material heterogêneo que irão interferir de alguma forma na produção de produtos derivados dessa matéria prima (GEMMEL, 1980). A madeira apresenta três componentes orgânicos principais: celulose, hemicelulose e lignina. A celulose é polissacarídeo linear de alto peso molecular, não solúvel em água, encontrado nas paredes das fibras, vasos e traqueídeos, sendo considerados os compostos químicos mais abundantes no planeta. A hemicelulose é polímero amorfo encontrado intercalado às microfibrilas de celulose, dando elasticidade e impedindo que elas se toquem. A lignina é polímero tridimensional amorfo encontrado nas plantas terrestres, associado à parede celular, cuja função é de conferir rigidez, impermeabilidade e resistência à ataques microbiológicos e mecânicos aos tecidos vegetais. A lignina age na madeira como um cimento ligando as cadeias de celulose. Hellmeister (1982) escreveu que o teor de cada um desses elementos na madeira varia de acordo com a espécie da árvore. A Tabela 1 apresenta a composição orgânica da madeira.

Tabela 1: Composição orgânica da madeira (HELLMEISTER, 1982).

<b>Substância</b>	<b>Coníferas</b>	<b>Folhosas</b>
Celulose	48% a 56%	46% a 48%
Hemicelulose	23% a 26%	19% a 28%
Lignina	26% a 30%	26% a 35%

### 2.1.2 - Estrutura

Segundo Pfeil e Pfeil (2003), a madeira é constituída pelo cerne ou parte interna do tronco da árvore, que é a parte mais resistente de característica seca e densa, geralmente caracterizada por coloração escura. Contornando o cerne encontra-se o albúrnio, a parte mais úmida de coloração mais clara que o cerne, onde são armazenadas as substâncias de reserva. Essa é a parte da madeira que possui menor durabilidade. A Figura 1 ilustra o corte transversal de um tronco mostrando o cerne (no interior), e o albúrnio (parte mais clara).

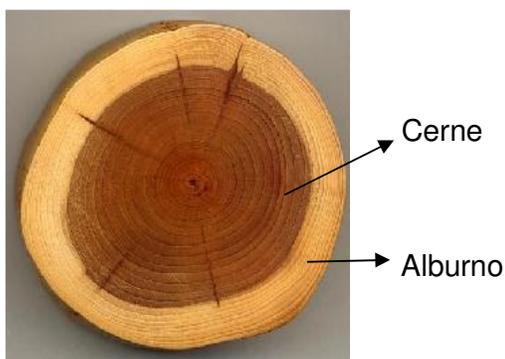


Figura 1: Corte transversal em um tronco de árvore (CAMARGO et al. 2001).

Pfeil e Pfeil (2003) escreveram que as espécies que possuem quantidade considerável de cerne são as que resultam em madeiras de lei, como o Angelim-pedra, Mogno, Maçaranduba e outras, indicadas para a construção civil e indústria de mobiliário. Já as que possuem grande quantidade de albúrnio são as menos duráveis e resistentes, como por exemplo, o Eucalipto, que são as espécies mais plantadas. Como a árvore é ser vivo, mesmo depois de cortada continua respirando,

a madeira se contrai e expande, porém em ambiente úmido absorve umidade e tende a secar em locais com umidade mais baixa.

### 2.1.3 - Secagem

A secagem da madeira consiste em extrair do seu interior o excesso de água e tem um papel fundamental na produção madeireira, porque é decisiva na qualidade da madeira (GALVÃO; JANKOWSKI, 1985). Com a evaporação da água a madeira tende a diminuir de volume. A velocidade de secagem deve ser adequada aos diferentes tipos de madeira de forma a evitar danos prejudiciais, como o aparecimento de fendas ou empenamento. Existem dois tipos de secagem: natural e artificial. A natural permite secar a madeira sobrepondo as peças umas sobre as outras de modo a obter um arejamento uniforme e permite secar a madeira até uma umidade mínima de 12%. A artificial é feita através de estufas próprias, permitindo aumentar a velocidade de secagem da madeira ao mesmo tempo em que a protege dos fungos e insetos; esse processo torna a madeira menos flexível e escurece o seu tom, além de exigir instalações caras.

Pfeil e Pfeil (2003) observaram algumas vantagens de secagem da madeira:

- Torna-se estável, apresenta um mínimo de retração em suas dimensões.
- Diminui consideravelmente seu peso, favorecendo o transporte e a execução das estruturas projetadas.
- À medida que a água de impregnação for sendo eliminada do tecido lenhoso, a resistência do material aumenta de maneira considerável e progressiva.
- Fica mais resistente aos agentes de deterioração, principalmente à ação de fungos, que necessitam de teores elevados de umidade para sobreviver.

Quando a secagem da madeira é feita por exposição ao ar, inicia-se a evaporação da água por impregnação até que haja um equilíbrio do material com o

meio-ambiente, então a madeira seca ao ar atinge o teor de umidade de 12 a 17%; sendo secada de maneira correta, a madeira ganha mais estabilidade e resistência.

#### 2.1.4 - Características Físicas

Conhecer as propriedades físicas da madeira é de grande importância porque podem influenciar significativamente no desempenho e resistência da madeira devido à orientação das células. A madeira apresenta-se direcionada longitudinalmente em planos radial e tangencial, conforme Figura 2. A diferença de propriedades entre a direção radial e tangencial raramente tem importância prática, bastando diferenciar as propriedades na direção das fibras principais (direção longitudinal) e na direção perpendicular às fibras (PFEIL; PFEIL, 2003).

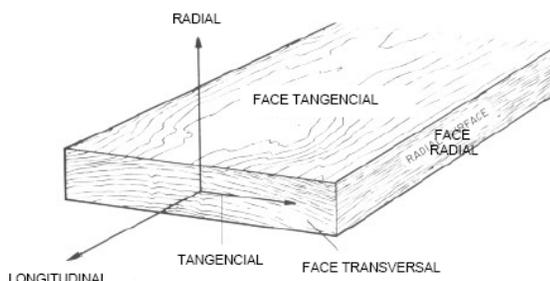


Figura 2: Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras (WILCOX et al. 1991).

Seguem-se algumas características físicas: umidade, densidade e retratibilidade.

A umidade relaciona-se ao teor de água que a madeira apresenta; a água na madeira pode estar presente preenchendo os espaços vazios dentro das células ou pode estar aderida à parede das células (água de adesão) ou pode estar compondo a estrutura química do próprio tecido (água de constituição). O tronco de uma árvore com pouco tempo de corte encontra-se saturado de água, a qual varia muito com as espécies e com a estação do ano. A faixa de variação da umidade das madeiras

verdes tem como limites aproximados 30% para as madeiras mais resistentes e 130% para as madeiras mais macias. Vários fatores irão influenciar no teor de umidade, entre eles podemos citar a anatomia do xilema, que é um tecido estruturalmente complexo característico das plantas superiores, compostos por um conjunto de células com forma e função diferenciadas (BURGER; RICHTER, 1991).

Define-se densidade básica da madeira como sendo a massa específica convencional obtida pelo quociente da massa seca pelo volume saturado. A massa seca é determinada mantendo-se os corpos de prova em estufa a 103 °C até que a massa do corpo de prova permaneça constante. O volume saturado é determinado em corpos de prova submersos em água até atingirem peso constante (NBR 7190, 1997). A densidade da madeira varia de espécie para espécie de árvore, de fatores estruturais bem como os compostos orgânicos e inorgânicos presentes no lenho. A madeira totalmente seca varia em densidade de aproximadamente 0,3 a 0,96 g/cm<sup>3</sup> e a densidade da madeira é geralmente dada em um teor de umidade de 12%. À medida que a massa específica aumenta, elevam-se proporcionalmente a resistência mecânica e a durabilidade e, em sentido contrário, diminuem a permeabilidade às soluções preservantes e à trabalhabilidade.

A retratibilidade, sendo o fenômeno de variação nas dimensões e no volume em função da perda ou ganho de umidade, provoca contração em uma peça de madeira e está relacionada aos defeitos de secagem. A contração pode ocorrer e ser avaliada em três aspectos: contração tangencial, contração radial e contração volumétrica. Na contração tangencial ocorre variação das dimensões da madeira no sentido perpendicular aos raios. Na contração radial ocorre variação das dimensões da madeira no sentido dos raios. Na contração volumétrica ocorre variação das dimensões da madeira considerando-se como parâmetro o seu volume total.

### **2.1.5 - Características Mecânicas**

A madeira sofre resistência à compressão, tração, e cisalhamento (PFEIL; PFEIL, 2003). Essas propriedades mecânicas definem o comportamento da madeira quando submetida a esforços de natureza mecânica. A norma brasileira NBR 7190

(1997) – Projeto de Estruturas de Madeira, da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) regulamenta os ensaios a serem aplicados em corpos de prova de madeira, realizados em laboratórios com máquinas especialmente destinadas a essa finalidade e que possibilitam aferir o grau de resistência a um determinado esforço.

A compressão ocorre seguindo duas orientações: paralela às fibras e normal ou perpendicular às fibras. A compressão paralela às fibras refere-se à força suportável por uma peça de madeira quando esta é aplicada em direção paralela às fibras. Na compressão normal ou perpendicular às fibras a madeira apresenta resistências menores que na compressão paralela, pois a força é aplicada na direção normal ao comprimento das células, a fim de se verificar o valor máximo que a espécie suporta sem ser esmagada.

A tração ocorre com as seguintes orientações: paralela às fibras e normal ao comprimento das fibras. Na tração paralela às fibras a ruptura ocorre por deslizamento entre as células da madeira ou por ruptura das paredes das células provocando alongamento das células ao longo do eixo longitudinal. Na tração normal ao comprimento das fibras a integridade estrutural é afetada pela separação das células da madeira perpendicular aos seus eixos e apresenta baixos valores de deformação e baixa resistência, devendo ser evitada nas situações de projetos.

O cisalhamento ocorre seguindo as formas: paralelo às fibras e normal ou perpendicular às fibras. O cisalhamento paralelo às fibras ocorre com a força aplicada no sentido longitudinal às fibras e rompe por escorregamento entre as células da madeira. No cisalhamento normal ou perpendicular às fibras a madeira antes de romper por cisalhamento apresenta esmagamento por compressão normal.

#### **2.1.6 - Tipos de Madeira**

As características da madeira são de grande importância, pois elas estão ligadas diretamente ao comportamento do adesivo na linha de cola. Pfeil e Pfeil (2003) classificaram a madeira em duas categorias principais: madeiras duras e madeiras macias. As madeiras duras são provenientes de árvores folhosas, com

folhas achatadas e largas, de crescimento lento, como Angelim-pedra, Aroeira, Carvalho e outras. As madeiras macias são provenientes em geral das árvores coníferas, com folhas em forma de agulhas ou escamas, sementes agrupadas em forma de cones, crescimento rápido, como Pinheiro do Paraná, Pinheiro Bravo e outras.

#### 2.1.6.1 - Angelim-pedra

De acordo com Ibama (1997) seguem-se: características, descrição macroscópica, principais aplicações e propriedades do Angelim-pedra. A Figura 3 apresenta respectivamente árvore, casca e tora característica do Angelim-pedra.

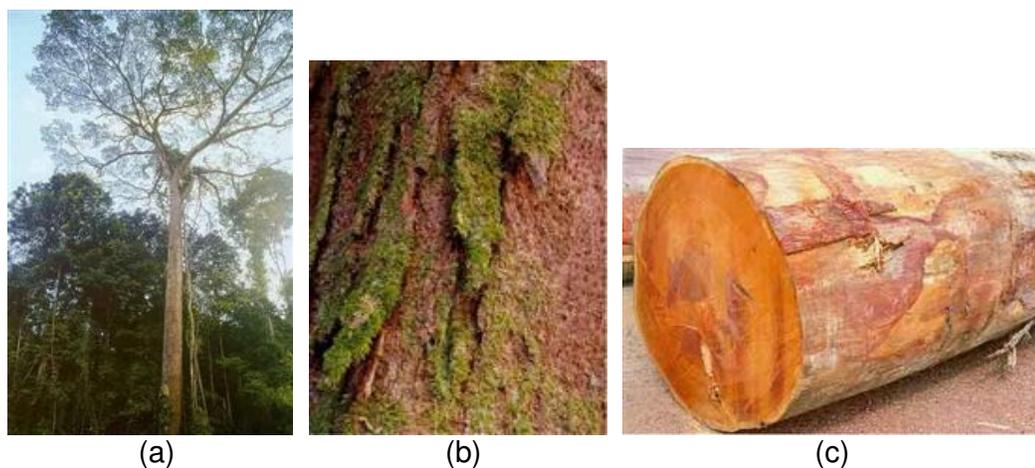


Figura 3: Aspectos dendrológicos do Angelim-pedra - (a) árvore, (b) casca e (c) tora (IBAMA, 1997).

- Características Gerais da Árvore: árvore gigantesca e volumosa, chegando a atingir 60 m de altura (incluindo a copa), tronco cilíndrico retilíneo de até 2 m de diâmetro, com sapopemas e casca vermelho-parda.
- Características Gerais da Madeira: madeira dura de densidade alta 0,71 a 0,83 g/cm<sup>3</sup>, grã irregular, alburno castanho-róseo, pouco diferenciado do cerne castanho-escuro-avermelhado, aspecto fibroso, textura grosseira, com cheiro e

gosto indistintos. Apresenta processamento difícil com serra comum, porém com relativa facilidade quando se utiliza serra estilitadas; recebe bom acabamento; seca relativamente bem ao ar, podendo ocorrer torcimentos moderados e colapsos leves; apresenta boas condições de permeabilidade.

- Descrição Macroscópica: **parênquima axial ou longitudinal** pouco contrastado, abundante, predominantemente aliforme de expansões losangular. **Poros** notados a olho nu, poucos, pequenos a médios, alguns obstruídos por conteúdo esbranquiçado; linhas vasculares visíveis a simples vista, longas, com presença de óleo-resina. **Raios** no topo, pouco perceptíveis a olho nu, um tanto numerosos: na face tangencial visíveis sob lente, baixos e irregularmente distribuídos e, na radial, são contrastados.
- Principais Aplicações: madeira amplamente usada na construção civil (carpintaria e marcenaria), interna e externa, inclusive esquadrias e assoalhos. Uso crescente na manufatura de móveis, inclusive móveis de boa qualidade, tanto em madeira sólida como em forma de lâminas decorativas. É usada também na fabricação de cabos de ferramentas, cutelaria e utensílios variados.
- Propriedades Físico-mecânicas: a madeira de Angelim-pedra pode ser classificada como de alto peso específico, baixa retratibilidade e alta resistência mecânica.

#### 2.1.6.2 - Jatobá

De acordo com Ibama (1997) seguem-se: características, descrição macroscópica, principais aplicações e propriedades do Jatobá. A Figura 4 apresenta respectivamente árvore, casca e tora característica do Jatobá.

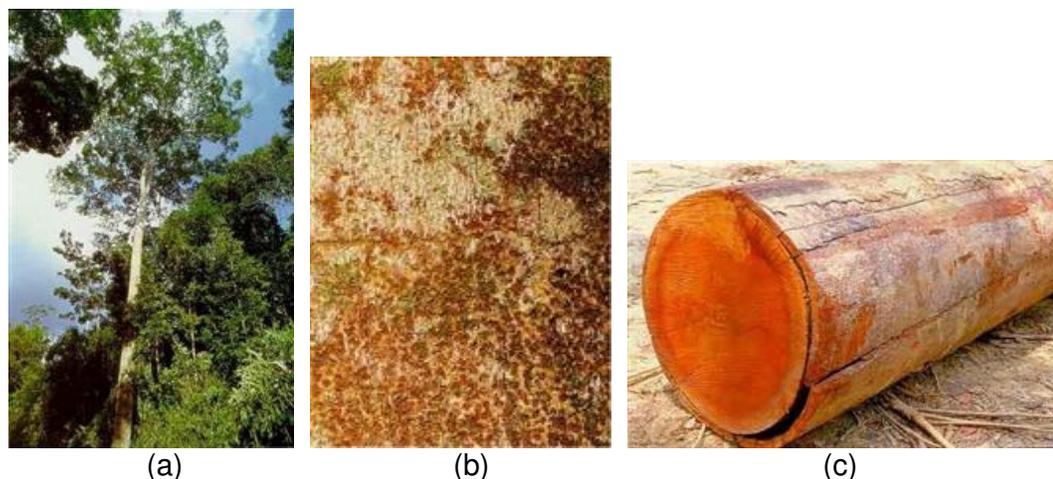


Figura 4: Aspectos dendrológicos do Jatobá - (a) árvore, (b) casca e (c) tora (IBAMA, 1997).

- Características Gerais da Árvore: árvore chegando a atingir 40 m de altura, copa ampla e ramificada, tronco cilíndrico, com aproximadamente 2 m de diâmetro, casca de superfície lisa com manchas liquênicas claro-escuras.
- Características Gerais da Madeira: madeira de densidade alta 0,74 a 0,89 g/cm<sup>3</sup>, cerne de cor castanho-avermelhado, distinto do alburno de cor creme. Superfície pouco lustrosa, textura lisa a grossa, grã normalmente reversa, gosto e odor indistintos. Apresenta processamento moderadamente fácil (serra, plaina, torno, lixa e broca), podendo ser faqueada sem maiores problemas, cola com facilidade, porém recebe pregos e parafusos com dificuldade; apresentam bom acabamento com ceras, vernizes e tintas. A secagem ao ar livre é tida como moderadamente fácil, com velocidade de secagem rápida à moderada, podendo apresentar defeitos leves de empenamentos, fendilhamento, rachaduras e endurecimentos superficiais.
- Descrição Macroscópica: **parênquima axial ou longitudinal** visível a olho nu, aliforme losangular confluyente, ligando vários poros, formando trechos tangenciais em linhas concêntricas, alinhando os poros e simulando formação de anéis. **Poros** apenas notados a olho nu; linhas vasculares visíveis a olho nu, longas e pouco sinuosas. **Raios** no topo são finos e numerosos, distintos sob

lente: na face tangencial são baixos e médios de distribuição irregular e na radial bastante contrastado.

- Principais Aplicações: são aplicadas em construções externas (obras hidráulicas, postes e vigas), construções pesadas, laminados, móveis, cabos de ferramenta, implementos agrícolas, carrocerias, vagões, dormentes, cruzetas e construção civil em geral.
- Propriedades Físico-mecânicas: a madeira de Jatobá pode ser classificada como de alto peso específico, baixa retratibilidade e alta resistência mecânica.

### 2.1.6.3 - Tauari

De acordo com Ibama (1997) seguem-se: características, descrição macroscópica, principais aplicações e propriedades do Tauari. A Figura 5 apresenta respectivamente árvore, casca e tora característica do Tauari.

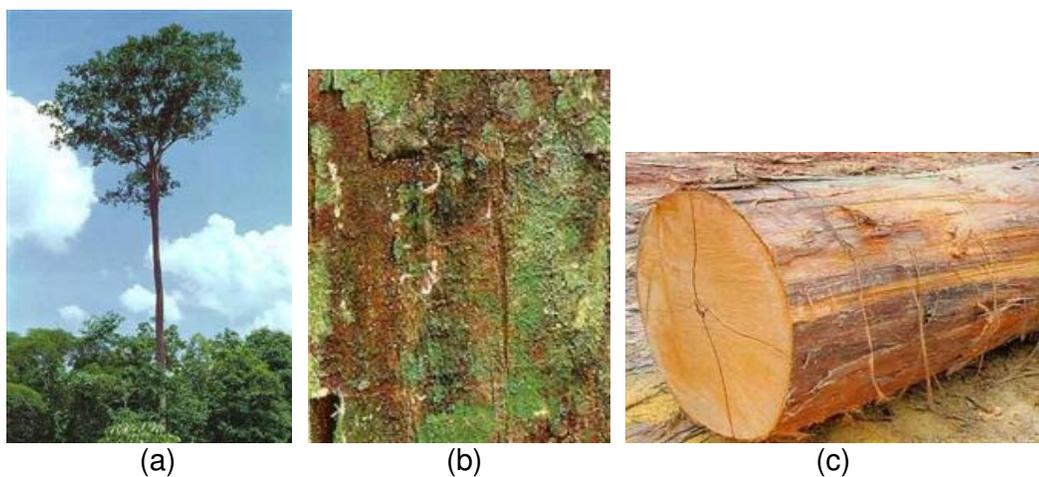


Figura 5: Aspectos dendrológicos do Tauari - (a) árvore, (b) casca e (c) tora (IBAMA, 1997).

- Características Gerais da Árvore: árvore emergente na floresta, podendo atingir até 50 m de altura (incluindo a copa) com tronco volumoso cilíndrico, sustentado

por enormes sapopemas na base, atingindo 1,5 a 2,0 m de diâmetro, com casca lisa e levemente fissurada.

- **Características Gerais da Madeira:** madeira de densidade média 0,52 a 0,61 g/cm<sup>3</sup>, cerne e alburno indiferenciados quanto à cor, creme-amarelado. Grã direita, textura média, superfície lisa ao tato e ligeiramente lustroso, cheiro e gosto imperceptíveis. Em algumas espécies a madeira apresenta cheiro desagradável e forte que se manifestam poucos dias após o corte. Apresenta processamento moderado e aplainamento fácil, macia ao corte, fresamento difícil, recomendando-se o uso de serras estilitadas e pré-furações para o uso de pregos e parafusos; tem bom acabamento, apesar de a superfície ficar às vezes com aparência felpuda. Algumas espécies possuem sílica, o que contribui para desgastar a afiação das ferramentas. A secagem da madeira ao ar livre é rápida (cerca de 20 dias), não apresentando defeitos significativos e em estufa seca rapidamente (cerca de 3 dias), mostrando tendência à rachaduras, torceduras e endurecimento moderado.
- **Descrição macroscópica:** **parênquima axial ou longitudinal** distinto sobre lente. **Poros** notados a olho nu, poucos numerosos. **Raios** no topo visíveis a olho nu, finos e numerosos, sinuosos, alguns associados: na face tangencial são baixos a médios irregularmente dispostos e na radial bem contrastado, notados a olho nu.
- **Principais Aplicações:** painéis compensados, embalagens, peças encurvadas e torneadas, móveis de uso geral e partes interiores na construção civil (caixilhos, esquadrias, forros, rodapés, lambris e similares). É usada ainda na fabricação de artigos de esporte e brinquedos, lápis, palitos de fósforos, bobinas e carretéis.
- **Propriedades Físico-mecânicas:** as características da madeira de Tauari permitem classificá-la como de massa específica, resistência mecânica e retratibilidade médias.

## 2.2 - ADESIVO

Segundo Grohmann (1998), desde os tempos dos Egípcios antigos já se utilizava como adesivos, a goma arábica (retirada de árvores de acácia), resinas de outras árvores, além do ovo e da borracha. Em 1973, com a crise do petróleo, desencadearam-se sucessivos aumentos no preço das resinas uréia-formaldeído e fenol-formaldeído, ambas de origem petroquímica, estimulando a pesquisa por novos adesivos alternativos.

O estudo da química das macromoléculas avançou consideravelmente apresentando uma grande variedade de polímeros, com melhores características quanto ao seu aspecto adesivo, e conseqüentemente, propiciou grande expansão das indústrias de adesivos à base de resinas. Devido ao avanço, foram buscadas aplicações para os processos de colagem com as mais variadas finalidades. Os fabricantes de adesivos para o mercado moveleiro estão mais conscientes e cientes do importante papel que possuem, não só no sentido de melhorar a cada dia a qualidade dos adesivos, mas principalmente da responsabilidade de torná-los menos tóxicos ao ambiente e ao ser humano (ADESIVO e SELANTE, 2006).

De acordo com Ferreira et al. (1989), o adesivo pode ser entendido como sendo uma substância com capacidade de aderir fortemente dois substratos, fluir e preencher espaços vazios entre as juntas a serem coladas, diminuindo assim, a distância entre elas gerando interações entre o adesivo e o substrato. Uma superfície rugosa pode aumentar a adesão entre as juntas (PIZZI, 1994). O adesivo deve molhar a superfície do material a ser unido e aderir a ele, de forma a permitir transferência de cargas, apresentando adesão e coesão adequadas. A adesão é força por unidade de área com a qual o adesivo se liga à superfície, ou seja, é a força de união entre o adesivo e o substrato, que tecnicamente são superfícies unidas por um adesivo. A Coesão são forças atrativas que surgem entre moléculas do mesmo tipo, ou seja, são as interações entre moléculas, que as mantêm unidas, formando um corpo.

Para avaliar a eficiência do adesivo na união das juntas sob uma determinada temperatura e condições de umidade durante um tempo específico, o adesivo deve ser submetido a testes de carregamento específico, como de cisalhamento na linha de cola. De acordo com Forest Products Laboratory (1999), os adesivos transferem carga de um aderente para outro por meio de uma ligação superficial. A resistência

das uniões das peças de madeira por adesivos depende da resistência de cada elemento envolvido na união.

Muitos adesivos são polímeros reativos; eles mudam do estado líquido para o sólido por meio de várias reações de polimerização, e essas mudanças de estado físico recebe o nome de cura. Bohn (1995) considera que o adesivo tem função de estabelecer ligação química entre as peças de madeira, portanto duas condições são fundamentais:

- O adesivo deve ocupar toda a área a ser colada.
- A película de adesivo deve ser a mais fina possível para o melhor desempenho da junta de colagem.

### 2.2.1 - **Classificação do Adesivo**

Os adesivos podem ser classificados a partir de diferentes parâmetros como: origem dos componentes primários, temperatura de cura, resistência à umidade, composição química, entre outros. Vários fatores contam na escolha de um determinado tipo de adesivo:

- Deverão ter baixo custo, tanto os adesivos quanto os métodos de colagem.
- Os adesivos não deverão ser mais rígidos que o aderente, para que as tensões não se concentrem nos adesivos.
- Após endurecerem, a junta colada deverá estar apta a resistir às condições ambientais.

Segundo Sperling (1992) e Olmos (1992), as composições químicas dos adesivos são orgânicas e inorgânicas. Os orgânicos são divididos em dois grupos: sintéticos e naturais. Os sintéticos são os mais empregados pela indústria madeireira devido à sua grande resistência à água e, por não permitir a ação de microrganismos. Os naturais são aqueles obtidos a partir da matéria prima de proteínas animais e vegetais, celulose, tanino, amidos, gomas naturais, entre outros.

Os adesivos orgânicos sintéticos são classificados em: termoplásticos e termofixos. Os termoplásticos apresentam como característica principal a sua cura reversível. Podem ser difundidos ou amolecidos quando é aumentada a temperatura, tornando a solidificar ao serem resfriados. São usados como solução ou em dispersão em água. Os termofixos endurecem por meio de reações químicas ativadas pela temperatura ou catalisadores. É resistente a umidade e ao calor. Dentre os adesivos inorgânicos mais comuns podem ser destacados os que são à base de silicatos, produzindo ligações com elevada resistência mecânica. Nos adesivos inorgânicos, a ligação acontece pela desidratação do solvente dos adesivos. Entre os polímeros termofixos mais empregados em compósitos, para o reforço estrutural, estão: poliéster, ester-vinílico, fenol e epóxi. Algumas propriedades mecânicas importantes são apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2: Propriedades mecânicas dos polímeros.

<b>Propriedades</b>	<b>Polímeros</b>		
	<b>Poliéster</b>	<b>Éster-vinílico</b>	<b>Epóxi</b>
Deformação na ruptura (%)	10 a 60	39 a 52	10 a 90
Densidade (kg/m <sup>3</sup> )	9,8 a 14,2	10,9 a 12,9	10,8 a 12,7
Resistência à tração (MPa)	20 a 100	79 a 90	55 a 130

## 2.2.2 - Tipos de Adesivo

### 2.2.2.1 - Resorcinol-formaldeído

Geralmente empregados em estruturas de madeira expostas a uma temperatura ambiente. Sua comercialização é feita na forma líquida; o agente endurecedor deve ser adicionado pouco antes do seu uso, evitando o endurecimento rápido e a perda de material. Henriques de Jesus (2000) relatou que este tipo de adesivo suporta quaisquer condições que venha a ser exposto, mesmo sob alterações climáticas, mantendo sua capacidade resistente em relação ao

carregamento. Esse tipo de adesivo veio preencher as necessidades do mercado por ser um adesivo impermeável e usado a baixas temperaturas. Sua resistência estrutural é elevada, superando a da própria madeira. Seu emprego se dá quando as condições de impermeabilidade são obrigatórias e onde as colas fenólicas, cuja cura ocorre em altas temperaturas, não forem adequadas. A colagem de vigas e painéis estruturais e a colagem de laminados marítimos são algumas das aplicações.

#### 2.2.2.2 - Fenol-formaldeído

Segundo Carrasco (1984), o adesivo fenol-formaldeído é adesivo formado a partir de resinas fenólicas sintéticas, necessitando de altas temperaturas para cura (130 a 160 °C), sendo comercializado em filmes secos, reconstituídos pela ação da água. Esse polímero necessita de um endurecedor a ser dosado com a resina, produzindo boa resistência das uniões coladas mesmo que atuem em condições extremamente adversas. Kollmann et al. (1975) concluiu que essas condições podem ter longo tempo de exposição à água quente ou fria, ciclos de secagem e de endurecimento, variações extremas de temperaturas, umidade relativa, temperaturas em torno da temperatura de carbonização da madeira, ataque de microorganismos e exposição à ação de vários tipos de componentes. Se os processos de colagem e endurecimento forem adequadamente conduzidos, as colagens feitas com adesivos fenólicos apresentarão grande durabilidade, podendo ultrapassar a da própria madeira; sua linha de cola possui coloração escura e, um dos fatores negativos, é o alto custo do fenol, cuja matéria prima é o petróleo (HENRIQUES DE JESUS, 2000).

#### 2.2.2.3 - Poliuretanos

Desde a segunda guerra mundial, químicos alemães desenvolveram poliuretanos para a fabricação de óleos impermeabilizantes, tintas, adesivos, revestimentos, espumas rígidas e flexíveis, entre outros produtos. A partir de 1940 a indústria de poliuretanos dos EUA passou a ter importância e, com a produção em larga escala, o consumo desses produtos apresentou um crescimento extraordinário.

Foram utilizados na década de 60 para produção de chapas de madeira aglomeradas. Essas chapas apresentavam as mesmas características das produzidas com adesivos fenólicos e usadas externamente. Segundo Henriques de Jesus (2000), alguns estudos desenvolvidos indicaram que essas chapas coladas com adesivos à base de poliuretanos, apresentavam propriedades superiores às chapas coladas com adesivo fenólico.

Além das espumas rígidas e flexíveis, cresceram também a produção de outros tipos de Poliuretanos, como elastômeros, tintas, adesivos e outros. Uma área de interesse na química de poliuretanas é a de adesivos especiais, onde se tenta resolver problemas específicos quanto à adesão de substratos. As propriedades dos vários tipos de Poliuretanos dependem primariamente de seu peso, grau de entrecruzamento, forças intermoleculares, rigidez dos segmentos da cadeia e cristalinidade.

#### 2.2.2.4 - Resina Epóxi

Resinas epóxi são polímeros caracterizados pela presença de pelo menos dois anéis de três membros (Figura 6), conhecidos como epóxi, epóxido, oxirano ou etano epóxi (MARK et al.1986).

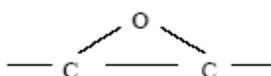


Figura 6: Grupo funcional epóxi (MARK et al.1986).

As resinas epóxi representam uma importante classe dos polímeros termorrígidos ou termofixos e têm sido comercializadas desde a década de 40. A primeira resina comercial foi o produto da reação de epiclorigidrina e bisfenol A. Essa reação produz a resina diglicidil éter de bisfenol A (DGEBA); sua estrutura química está representada na Figura 7.

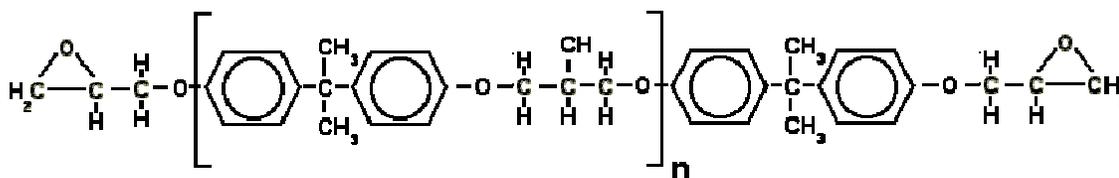


Figura 7: Estrutura química do diglicidil éter de bisfenol A (MARK et al.1986).

O valor do grau de polimerização “n” é determinado pela razão dos reagentes. Se o valor de “n” situar-se entre 0 e 1, a resina epóxi é líquida e, quando “n” for maior que 2, a resina é sólida (BAUER, 1989).

As resinas epóxi, segundo Lee (1967), podem ser formuladas em uma grande variedade de formas com o intuito de fornecer um amplo espectro de características e propriedades mecânicas. Além disso, possuem alta resistência mecânica; apresentam excelente aderência a diversos tipos de fibra e substratos; são resistentes às ações químicas e apresentam baixa retração durante o processo de cura.

Segundo Pardini (1990), as resinas epóxi são utilizadas atualmente para uma infinidade de aplicações, como revestimento interno de embalagens de cerveja e refrigerante, placas de circuito impresso, encapsulamentos de componentes, pisos industriais, pranchas de surfe, tintas anticorrosivas entre outros. Empregadas em aplicações da engenharia estrutural, geralmente são formulações do tipo bi-componente, ou seja, compostas por um agente principal (a própria resina) e um catalisador (endurecedor). Quando os componentes se misturam produzem uma reação química entre a resina epóxi e o endurecedor, originando uma estrutura sólida com propriedades muito especiais e pode ser curada à temperatura ambiente ou a temperaturas elevadas, dependendo dos produtos iniciais utilizados no processo ou das propriedades desejadas do produto final (DERMOTT, 1990). Existem temperaturas e tempos envolvidos no processo de cura das resinas epóxi como:

- **Tempo de Uso:** também conhecido como “pot life”; é o tempo decorrido desde a mistura até atingir um aumento de viscosidade considerável, a ponto de

impossibilita a aplicação no dispositivo. Quanto menor a reatividade do sistema, maior será o tempo de uso.

- **Tempo de Gelatinação:** tempo gel ou “gel time”; é o tempo decorrido a partir da mistura até que o sistema adquira consistência entre líquido altamente viscoso e um sólido. O “gel time” sempre será maior do que o “pot life”. Quanto maior a reatividade do sistema, mais curta será a faixa do “gel time”.
- **Tempo de Endurecimento:** período necessário, a partir da aplicação, para que os sistemas envolvidos adquiram estabilidade, ou seja, propriedades mecânicas mínimas para suportar os esforços que sofrerão posteriormente durante as etapas de fabricação de estruturas.
- **Tempo de Cura:** tempo decorrido a partir da aplicação, até que sejam atingidas as máximas resistências mecânicas e térmicas. É o tempo ideal que se deve aguardar antes de submeter à junta adesiva dada às exigências de trabalho.

#### 2.2.2.5 - Compound Adesivo

De acordo com o fabricante Vedacit (2008), o Compound Adesivo é um adesivo de base epóxi bicomponentes (A + B). É impermeável e resistente aos óleos, graxas e a uma série de substâncias; possui consistência fluida, usado para calafetar cascos de barcos; apresenta excelente desempenho nas colagens dos mais diversos materiais empregados na construção civil. Totalmente impermeável, possui alta resistência ao impacto e ao desgaste. Após 24 horas a sua resistência é bem superior à resistência do concreto. Permite colar concreto novo / concreto velho, concreto / concreto, concreto / ferro / alumínio / madeira / vidro.

#### 2.2.3 - Ensaio do Adesivo

A norma ASTM D 638 (2003) que trata do método para testar propriedades de plásticos serve como guia para os ensaios do adesivo epóxi.

### 2.3 - JUNTAS DE MADEIRA COLADA

A região da junta deve ser isenta de defeitos que diminuem a resistência da junta; esses defeitos são os nós e fibras irregulares. Os ensaios na junta colada avaliam a resistência do adesivo, as técnicas de obtenção da junta, limpeza da superfície de colagem, aplicação e distribuição do adesivo e método de cura. A qualificação da junta com adesivo é avaliada através da análise do modo de ruptura da junta após ensaios mecânicos.

Nascimento et al. (2001) estudaram e concluíram que o desenvolvimento das juntas adesivas depende de como são dominados e controlados os fatores envolvidos na resistência de cada junta. Os principais fatores são: tipo de madeira, tipo de adesivo, tipo de juntas, densidade da madeira, temperatura de colagem, qualidade da superfície da madeira, processo de colagem e finalmente as condições de serviço. Segundo Nascimento et al. (2001), para se conseguir uma boa junta adesiva é recomendável:

- Remover o pó, óleo ou qualquer outro material capaz de reter o ar ou impedir o contato do adesivo com o aderente.
- Eliminar qualquer composto orgânico desprovido de afinidade atrativa com o adesivo.
- As proporções da mistura resina e catalisador, recomendados pelos fabricantes, devem ser rigorosamente atendidas.
- Aplicar uma pequena pressão, para desenvolver adequadamente a cura do adesivo.
- Aplainar as superfícies muito rugosas promovendo um contato íntimo e melhor fluxo do adesivo.
- Durante a secagem ou cura o adesivo não deve sofrer retrações exageradas, responsáveis por tensões excessivas nas ligações.

A madeira de alta densidade é considerada de difícil adesão, por ser uma madeira dura e apresentar uma menor penetração do adesivo, perdendo assim a maior parte do adesivo pelas bordas da madeira a ser colada, ocasionando uma colagem menos eficaz (BRADY; KAMKE, 1988).

### 2.3.1 - Tipos de Juntas

As juntas longitudinais podem ser confeccionadas de vários tipos como: juntas de topo, biselada e encaixada. Alguns fatores como a resistência, a facilidade e economia de produção regem a utilidade destas juntas.

#### 2.3.1.1 - Juntas de Topo

Nascimento et al. (2002) relataram que as juntas de topo são as mais simples juntas longitudinais, que apesar de não desperdiçarem madeira e utilizarem pequenas quantidades de adesivo, apresentam baixa resistência mecânica em relação à junta encaixada, as quais são utilizadas com grande frequência em estruturas de madeira laminada colada. Alguns autores consideram que esses tipos de juntas praticamente não transmitem esforços, não sendo recomendáveis. Segundo Nordstrom (1995), nas juntas de topo simples, duas lâminas de madeira são unidas por uma camada de adesivo e, quando aplicado o ensaio mecânico, as juntas podem falhar tanto no adesivo quanto na interface da madeira. O mesmo autor, Nordstrom (1995) estudou a resistência à flexão da junta colada de topo com a madeira *Picea sp*, utilizando adesivo Resorcinol-formaldeído, a qual atingiu o valor de 15 MPa de resistência, que correspondeu a 20% da resistência da madeira sólida. A Figura 8 mostra um desenho esquemático de uma junta de topo.



Figura 8: Desenho esquemático de uma junta de topo.

### 2.3.1.2 - Juntas Biselada

As juntas biseladas surgiram como alternativa para suprir as limitações de resistência das juntas de topo, que mesmo sendo um tipo de junta dispendiosa, são consideradas as mais resistentes juntas longitudinais. O corte do bisel deve apresentar baixa inclinação de 1:10. A inclinação da junta em bisel é o fator mais importante no que se refere à melhoria da resistência. Góes (1998) estudou a resistência à tração da junta colada biselada com a madeira *Pinus taeda* com o adesivo Resorcinol-formaldeído e alcançou 100% de eficiência. Segundo Carrasco (1989), para eliminar as dificuldades de alinhamento na hora da montagem, que interferiam na resistência das emendas biseladas, foram introduzidas as emendas encaixadas. A Figura 9 mostra um desenho esquemático de uma junta biselada.

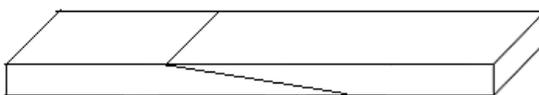


Figura 9: Desenho esquemático de uma junta biselada.

### 2.3.1.3 - Juntas Encaixada

As juntas encaixadas surgiram como uma alternativa para substituir as juntas biseladas. Esse tipo de junta é atualmente o mais utilizado na tecnologia da madeira colada, sendo considerada como uma junta de resistência intermediária entre a junta de topo e a junta biselada. A aceitação dessa junta deve-se ao fato de facilitar a retirada de defeitos da madeira, pela sua adaptação ao processo industrial, e por possuir uma resistência mecânica regular, proporcionando resultados mais uniformes que a junta biselada. Macedo (1999) desenvolveu estudo de junta colada encaixada da madeira *Eucalyptus grandis* com o adesivo Cascophen RS-216, à base de resorcinol obtendo 100% de eficiência. Hernandez (1998) relatou que a emenda mais eficiente é a encaixada e os perfis desses tipos de emendas são os mais utilizados na América do Norte pela Indústria de Madeira Laminada Colada, tanto os perfis verticais, quanto os horizontais, por apresentarem vantagem de economia de madeira de 90% em relação às biseladas no processo de produção.

É mostrado na Figura 10, um desenho esquemático de uma junta encaixada.

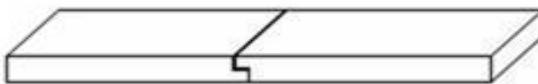


Figura 10: Desenho esquemático de uma junta encaixada.

### 2.3.2 - Colagem das Juntas

A colagem é uma etapa fundamental para o melhor aproveitamento do material madeira, principalmente no setor moveleiro e no aproveitamento de peças de pequenas dimensões. Ao realizar um processo de colagem é preciso considerar que cada espécie de madeira requer uma análise diferente para definir o tipo de cola a ser usada. Isso porque as espécies apresentam características muito diferentes e o adesivo que é bom para uma espécie pode ser desaconselhável para outra (TIENNE, 2006).

Zangiácomo (2003) afirmou que é praticamente possível colar todas as madeiras. Porém existem algumas espécies que possuem características físicas e químicas que exigem o emprego de colas especiais para a colagem das madeiras. Portanto, é recomendável colar apenas madeiras de mesma espécie, para evitar problemas de retração entre uma lâmina e outra, na superfície de cola. As espécies mais aconselhadas para o emprego em madeira colada são as coníferas com densidade entre 0,40 e 0,75 g/cm<sup>3</sup>, e as folhosas de baixa densidade que são facilmente coláveis.

#### 2.3.2.1 - Teorias Sobre o Fenômeno da Adesão ou Colagem

O mecanismo de adesão se dá através de enganchamento mecânico do adesivo (HOUWINK; SALOMON, 1965). Segundo Oliveira (1998), a colagem ou adesão podem ser entendidas como um fenômeno que provê um mecanismo de transferência de tensões entre a madeira e o adesivo, através de processos

moleculares, ou seja, a formação da ligação adesiva e, só pode ser desenvolvida quando as moléculas estão muito próximas entre si. Por essa razão, aplica-se pressão sobre as superfícies das juntas a serem coladas, tanto para colagem a frio, quanto para colagem a quente. Portanto, um adesivo necessita aderir (ligar-se) à superfície de um sólido, possuir força de coesão adequada. Segundo Sobral (1982), Watai (1987), Skeist (1990), Schultz e Nardin (1994), as principais teorias de adesão podem ser classificadas em forma geral como:

- **Teoria da Adesão Mecânica:** a fluidez e penetração do adesivo em substratos porosos levam à formação de ganchos ou um entrelaçamento mecânico do adesivo fortemente preso ao substrato após a cura e endurecimento do adesivo.
- **Teoria da Adsorção:** adesão resulta do contato molecular entre dois materiais que desenvolvem forças de atração superficiais. O processo de estabelecimento do contato contínuo entre um adesivo e um substrato é chamado de umedecimento, que pode também ser definido como a adesão de um líquido a um sólido.
- **Teoria da Difusão de Polímeros:** adesão se dá através da difusão de segmentos de cadeias de polímeros. As forças de adesão podem ser visualizadas como as mesmas produzidas na adesão mecânica, só que agora em nível molecular. No entanto, as aplicações dessa teoria também são limitadas. A mobilidade de longas cadeias de polímeros é bastante restrita, limitando severamente a interpenetração molecular proposta nessa teoria.
- **Teoria da Adesão Química:** adesão se dá através de ligações químicas (iônicas covalentes e metálicas). Acredita-se atualmente, que a adesão na interface do ponto de vista molecular, deve-se à ação das forças secundárias que é também conhecida por “Adesão Específica”.

### 2.3.2.2 - Fatores que Afetam o Processo de Adesão ou Colagem

A formação de uma colagem adequada e seu desempenho depende de uma série de parâmetros relacionados às características físico-químicas do adesivo, características da madeira, procedimentos de colagem e as condições da madeira a ser utilizada (SOBRAL, 1982, MARRA, 1992 e SZUCS, 1992). Segundo Kollmann (1975 apud CAMPOS, 2004), algumas das principais características da madeira que afetam a adesão ou colagem estão apresentadas de forma detalhada a seguir:

- **Variabilidade:** as maiores variações acontecem entre espécies, sendo que algumas delas apresentam maior facilidade de colagem que outras. A natureza biológica da madeira causa adicionalmente amplas variações entre árvores de uma mesma espécie e, também, há variações no material de uma mesma árvore. Essa variabilidade atinge uma série de propriedades (peso específico, textura, permeabilidade e outras), que por sua vez são definidas no processo de adesão e no desempenho da colagem (CESAR, 2002).
- **Densidade:** a densidade da espécie está diretamente relacionada com a sua porosidade e permeabilidade, influenciando assim o grau de rugosidade e as funções de mobilidade, fatores determinantes na formação da ligação entre adesivo e substrato. Algumas pesquisas confirmam a influência da densidade na qualidade da adesão e mostram a diferença da colagem de madeiras de coníferas e folhosas. As madeiras folhosas, devido à sua constituição química e maior complexidade estrutural, apresentam maior dificuldade de colagem que as coníferas. Van Rensburg et al. (1987) estudou a adesividade de emendas para madeira de *Pinus spp* e *Eucalyptus grandis* usando adesivo resorcinol e epóxi observando que, na madeira de eucalipto, existe uma diminuição exponencial da percentagem de falha na linha de cola, por possuir o maior valor de massa específica. A densidade da madeira indica a quantidade aproximada de espaços vazios disponíveis para receber líquidos, como por exemplo, adesivos. Assim, quanto menor a densidade, maior será a permeabilidade de sua estrutura (HUNT, 1962). No entanto, quanto menor a densidade da madeira, menor será a sua resistência mecânica (TSOUMIS, 1991).

- **Porosidade e Permeabilidade:** o tamanho, a disposição e a frequência de cavidades celulares e poros na estrutura da madeira afetam diretamente a penetração do adesivo. As interações da porosidade e permeabilidade com a migração do solvente também interferem na viscosidade da resina, afetando suas funções de mobilidade, o que acarreta mudanças na qualidade da colagem. Segundo Zangiácomo (2003), é preciso considerar a compatibilização entre a madeira e o adesivo, condicionada pela permeabilidade da espécie aos adesivos. A permeabilidade está associada não somente às particularidades anatômicas da espécie como também às características de viscosidade do adesivo. A penetração excessiva em maiores profundidades pode gerar uma ligação fraca. Isso pode explicar parcialmente os baixos valores encontrados na resistência de emenda de topo, onde existe um grande número de vazios. Isso permite uma penetração excessiva do adesivo, que gera fracas ligações (BASSET, 1960, SASSAKI; MCARTHUR, 1972, SASSAKI et al. 1973, PIZZI, 1994 e NORDSTROM, 1995).
- **Extrativos e pH:** pesquisas têm mostrado que os extrativos na superfície da madeira são os principais contribuidores da inativação da superfície, gerando assim um pobre umedecimento do adesivo, especialmente em espécies resinosas como, por exemplo, o *Pinus*. A maior parte das espécies de madeira apresenta pH ácido. Quando os extrativos depositados na superfície são de caráter ácido, podem interferir na cura de um adesivo alcalino (fenol-formaldeído), acelerando assim uma polimerização prematura e reduzindo o umedecimento, fluxo e penetração do adesivo. Segundo Pizzi (1994), o adesivo resorcinol não apresenta problemas relacionados ao pH da superfície; ele pode curar tanto em condições ácidas quanto básicas. A maior parte dos adesivos para madeira usa a água como carreador. Isso gera problema de umedecimento, fluxo e penetração da superfície coberta pelo extrativo (SKEIST, 1990 e FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).
- **Controle de Umidade:** na colagem com os tradicionais adesivos sintéticos à base de uréia, melanina, fenol e resorcinol é imprescindível que a madeira seja previamente seca até teores de umidade normalmente entre 8% e 18%. Teores de umidade mais altos podem ocasionar formação de bolhas. O controle de

umidade da madeira a ser trabalhada é importante, uma vez que esse material varia suas dimensões em função da quantidade de água de saturação presente nas fibras da madeira. Properzi et al. (2003) estudaram os efeitos da umidade da Madeira Beech (*Fagus sylvatica*) colada com os adesivos à base de poliuretanos, de fenol-resorcinol-formaldeído e melanina-uréia-formaldeído, nos teores de umidade de 12% e 22%. Para 12% de umidade todos os adesivos alcançaram à resistência padrão em poucas horas de prensagem; para a colagem com teor de umidade de 22%, a resistência aumentou de acordo com o tempo de prensagem e, o adesivo a base de poliuretanos chegou à resistência padrão mais rápido seguido pelo fenol-resorcinol e depois pela melanina-uréia-formaldeído. A norma brasileira, NBR 7190 (1997), específica à umidade de 12% como referência para a realização de ensaios e valores de resistência nos cálculos. Vale destacar que a umidade apresenta grande influência na densidade da madeira.

- **Temperatura da Colagem:** a temperatura de colagem é importante para a qualidade da colagem, pois controla o tempo de cura e a viscosidade que diretamente afetam a capacidade do adesivo de se espalhar e ser absorvido. Um estudo feito por Vrazel (2002), com algumas misturas adesivas para espécies de baixa e alta dificuldade de colagem, mostrou que não houve diferença significativa na resistência do adesivo resorcinol na colagem em baixa e alta temperatura; a maior diferença foi observada nas composições adesivas feitas com poliuretanos. Os adesivos a base de resorcinol produzem uma boa adesão para temperaturas acima de 20 °C; e nessa mesma temperatura, aumenta a capacidade de absorção do adesivo em madeiras de baixa massa específica e a resistência ao intemperismo (PIZZI, 1994 e FOREST PRODUCTS LABORATORY, 1999).
- **Pressão de Colagem:** a pressão influencia na penetração do adesivo na madeira. 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 de acordo com a massa específica da madeira. Nascimento et al. (2002) experimentou níveis de pressão diferentes e

observou que houve um aumento na resistência ao cisalhamento até a pressão de 1,0 MPa, acima dessa pressão houve queda na resistência.

Abrahão (1999) e Petruski (1999) estudando diferentes níveis de pressão para madeira de *Eucalyptus Grandis* concluíram que a pressão de colagem para uma quantidade de adesivo próxima a 300 g/m<sup>2</sup> seria de 1,14 MPa, notaram também, que a utilização de baixas pressões como 0,3 MPa é necessário um maior consumo de adesivo.

### 2.3.3 - Ensaio das Juntas de Madeira Colada

A norma brasileira, NBR 7190 (1997) apresenta o procedimento para a determinação da resistência à tração paralela às fibras da junta colada, forma e dimensão do corpo de prova e, também, determina como comparar a eficiência da junta colada, estabelecendo que a resistência dessa junta deva ser no mínimo igual à resistência ao cisalhamento da madeira sólida. Portanto, a execução dos ensaios de tração é fundamental no estudo do comportamento das juntas de madeira colada que é avaliado pelo modo de ruptura.

A resistência é determinada convencionalmente pela razão entre a máxima força de tração aplicada a um corpo-de-prova alongado e a área do trecho da emenda.

$$\sigma = \frac{F}{A_0} \quad (1.0)$$

onde:

$\sigma$  - Tensão de ruptura (resistência à tração), (MPa).

$F$  - Força máxima aplicada (carga máxima aplicada), (N).

$A_0$  - Área de colagem, (mm<sup>2</sup>).

Os resultados das resistências das juntas à tração paralela às fibras devem ser analisados e apresentados em valores característicos. Esses valores devem ser apresentados em forma de tabelas e gráficos que possibilitem uma boa visualização de possíveis variações dos resultados obtidos.

#### 2.3.4 - Modos de Ruptura

De acordo com Azambuja (2002), não só os valores de resistência importam, mas também os modos de ruptura, que devem ser observados e comparados, após os ensaios de tração das juntas coladas. Não se constatou durante as pesquisas, nenhuma norma específica para classificar o modo de ruptura das juntas coladas. Como a madeira apresenta características de um material composto, a norma ASTM D 5573 (1994), que trata da classificação dos modos de ruptura de juntas de plásticos reforçados por fibras, servirá de referência para classificar os modos de ruptura das juntas coladas. É importante a consideração de duas possibilidades relativamente à propagação do dano: **junta coesiva**, caracterizada pela propagação do dano no interior do adesivo e **junta adesiva**, onde a propagação do dano ocorre na interface entre o adesivo e a madeira.

Os modos de ruptura dos corpos de prova das juntas coladas podem ser classificados de acordo com a norma ASTM D 5573 (1994). Os principais tipos de superfícies de ruptura de acordo com a norma são: ruptura coesiva, ruptura adesiva, ruptura por cisalhamento de camada fina da superfície do substrato, ruptura por cisalhamento de camada profunda da superfície do substrato e ruptura pela falha do corpo de prova do substrato. A Figura 11 ilustra na forma esquemática os modos de ruptura.

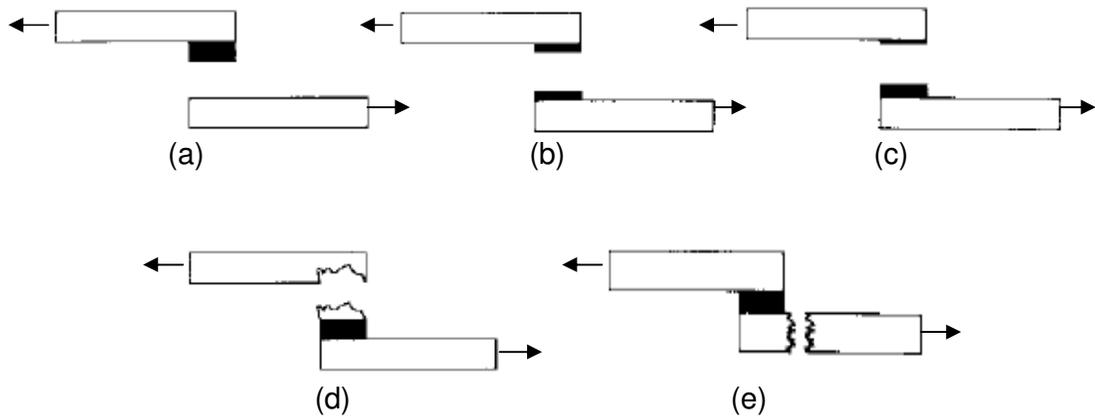


Figura 11: Modos de ruptura - (a) ruptura adesiva, (b) ruptura coesiva, (c) ruptura por cisalhamento de camada fina da superfície do substrato, (d) ruptura por cisalhamento de camada profunda da superfície do substrato e (e) ruptura pela falha do corpo de prova do substrato (ASTM D 5573, 1994).

### 3 MATERIAIS E MÉTODOS

---

#### 3.1 - MATERIAIS

Para a constituição das juntas coladas de topo, biselada e encaixada, utilizou-se os principais componentes: madeiras e o adesivo epóxi.

##### 3.1.1 - Madeiras

As espécies de madeiras utilizadas para a confecção dos corpos de prova das juntas coladas foram: *Hymenolobium petraeum* Ducke (Angelim-pedra), *Hymenaea courbaril* L. (Jatobá) e *Couratari oblongifolia* Ducke et R. Knuth (Tauari), adquiridas em depósito de madeira na cidade de Ananindeua – PA. O material foi selecionado através de classificação visual e aleatória, buscando peças sem qualquer defeito aparente, para evitar a influência de falha na colagem por defeito na madeira. Após essa seleção, foram confeccionados os corpos de prova. A Tabela 3 apresenta a propriedade física e mecânica das madeiras que foram usadas no ensaio de tração das juntas coladas.

Tabela 3: Propriedade física e mecânica das madeiras usadas no ensaio de tração das juntas coladas.

Propriedades	Madeiras (12%) umidade		
	Angelim-pedra	Jatobá	Tuari
Densidade (g/cm <sup>3</sup> )	0,83	0,74	0,52
Tensão de ruptura (MPa)	12,9	15,4	10,2

### 3.1.1.1 - Ensaio de Caracterização das Madeiras

Foi necessário executar um ensaio para identificação das espécies das amostras das madeiras envolvidas neste trabalho, pelo fato de que para uma mesma família vegetal podem existir diferentes espécies de madeiras, e cada uma pode ter diferente propriedade física e mecânica.

A caracterização macroscópica da madeira que deram origem aos corpos de prova das juntas coladas usados nas colagens foi realizada na Embrapa Amazônia Oriental – Belém. A identificação macroscópica consiste em cortar a superfície transversal da madeira ou do corpo de prova e observá-la com a lente conta-fio de 10x de aumento. Nesse nível de aumento se distingue as células de parênquima axial, como mostra a Figura 12, distribuídas de forma e concentrações diversas.

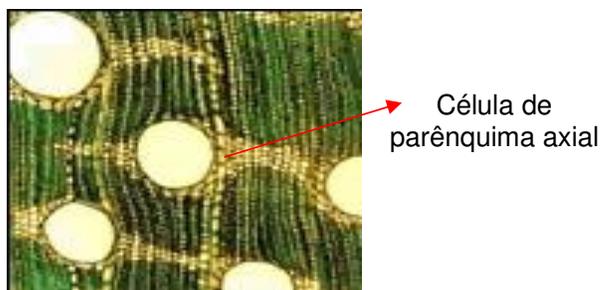


Figura 12: Aspecto macroscópico da madeira - Célula de parênquima axial (BURGER; RICHTER, 1991).

### 3.1.2 - Adesivo Epóxi

Para a confecção dos corpos de prova das juntas coladas foi utilizado o adesivo Compound Adesivo de base epóxi, fabricado pela Vedacit, mostrado na Figura 13.



Figura 13: Adesivo epóxi utilizado na colagem das juntas (VEDACIT, 2008).

### 3.1.2.1 - Características Gerais do Adesivo

De acordo com o boletim técnico, obteve-se uma breve descrição do adesivo epóxi utilizado na pesquisa. O Compound Adesivo é um adesivo bicomponente (A + B), cuja base de formulação de um dos componentes é uma resina epóxi e o outro é um endurecedor tipo poliamino-amida; possui consistência pastosa, apresenta excelente desempenho nas colagens dos mais diversos materiais empregados na construção civil, é impermeável e resistente aos óleos, graxas e a uma série de substância química, secando em 24 h. Após a cura, o produto é 100% sólido e seu índice de contração é praticamente nulo. A resistência máxima é obtida somente sete dias após a aplicação nas juntas coladas. Suas características estão apresentadas na Tabela 4.

Tabela 4: Características do adesivo Compound Adesivo (VEDACIT, 2008).

<b>Características</b>	
<b>Densidade (g/cm<sup>3</sup>)</b>	Componente A: 1,52 g/cm <sup>3</sup>
<b>Cor</b>	Componente A: cor branca
	Componente B: cor preta
<b>Composição básica</b>	Componente A: resina epóxi
	Componente B: poliamino-amida

### 3.1.2.2 - Forma e Dimensões do Corpo de Prova do Adesivo

Com base na norma ASTM D 638 (2003), os corpos de prova do adesivo epóxi foram confeccionados por moldagem manual, com as dimensões aproximadas de 150 mm de comprimento, 20 mm de largura e 3,2 mm de espessura. A forma e dimensões que foram utilizadas para confecção dos corpos de prova do adesivo epóxi, para o ensaio de tração, estão apresentadas na Figura 14.

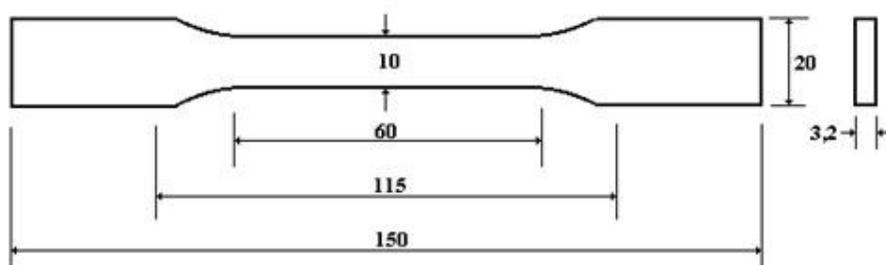


Figura 14: Forma e dimensões (em mm) dos corpos de prova do adesivo epóxi para o ensaio de tração.

### 3.1.2.3 - Preparo do Adesivo para Confecção dos Corpos de Prova

O adesivo epóxi foi preparado, adotando-se uma parte de resina epóxi e uma de endurecedor (mistura de 1:1), os componentes foram misturados com o auxílio de uma pequena espátula até a obtenção de uma massa homogênea de cor cinza, como demonstra a Figura 15.

Foram confeccionados dez corpos de prova do adesivo epóxi, os quais foram submetidos ao ensaio de tração, sete dias após a cura.



Figura 15: Preparo do adesivo - momento da mistura da resina epóxi com endurecedor.

Para a confecção dos corpos de prova do adesivo epóxi foram utilizados os moldes de silicone mostrado na Figura 16, onde o adesivo epóxi foi adicionado com o devido cuidado, para ocorrer preenchimento total dos moldes.



Figura 16: Moldes de silicone usados para a confecção dos corpos de prova do adesivo epóxi.

A Figura 17 mostra o adesivo epóxi depositado nos moldes de silicone, os quais ficaram até a cura, por 24h.



Figura 17: Moldes de silicone com o adesivo epóxi depositado.

Após o período de cura foram feitos os desmoldes do adesivo epóxi e em seguida um lixamento cuidadoso para a retirada das imperfeições e obter uma superfície aproximadamente uniforme. A Figura 18 mostra corpos de prova do adesivo epóxi após os desmoldes e, a Figura 19, mostra os corpos de prova do adesivo epóxi após o lixamento.



Figura 18: Corpos de prova do adesivo epóxi após os desmoldes.



Figura 19: Corpos de prova do adesivo epóxi após serem lixados.

#### 3.1.2.4 - Ensaio Mecânico do Adesivo

Para a determinação da resistência à tração do adesivo epóxi, foi realizado o ensaio de tração nos corpos de prova do adesivo epóxi, utilizando a máquina Kratos, aplicando-se uma velocidade de deslocamento de 5 mm / min.

Antes da execução dos ensaios, a máquina precisou ser formatada através do computador, ajustando-a a norma ASTM D 638 (2003), que de acordo com a qual os corpos de prova do adesivo epóxi foram confeccionados. Os corpos de prova do adesivo epóxi foram presos por suas extremidades nas garras de fixação do dispositivo da máquina de maneira alinhada, para que fossem alongados a uma velocidade constante. A máquina executou uma medição simultânea da carga aplicada (força) e de alongamento, no corpo de prova do adesivo epóxi, registrando automaticamente os resultados dos ensaios no computador. Esse procedimento foi feito para cada um dos dez corpos de prova do adesivo epóxi. A Figura 20 mostra a realização do ensaio de tração em alguns corpos de prova do adesivo epóxi.



(a)



(b)



(c)

Figura 20: Máquina de ensaio com corpos de prova do adesivo epóxi (a), (b) e (c) no momento do ensaio de tração.

Conforme a norma, ASTM D 638 (2003), a resistência à tração (tensão de ruptura) do adesivo epóxi foi determinada dividindo-se a força máxima aplicada nos corpos de prova do adesivo epóxi, obtida nesse ensaio, pela área inicial.

### 3.2 - MÉTODOS DE PREPARAÇÃO DAS JUNTAS DE MADEIRA COLADA

A metodologia de fabricação dos corpos de prova das juntas coladas foi estabelecida nos procedimentos descritos na norma brasileira NBR 7190 (1997), desde a confecção dos corpos de prova, procedimentos de ensaios, até o tratamento final dos resultados obtidos.

#### 3.2.1 - Geometria dos Corpos de Prova das Juntas Coladas

As Figuras 21, 22 e 23 demonstram as geometrias dos corpos de prova das juntas de topo, biselada e encaixada respectivamente, que foram utilizadas para confecção dos corpos de prova para o ensaio de tração.

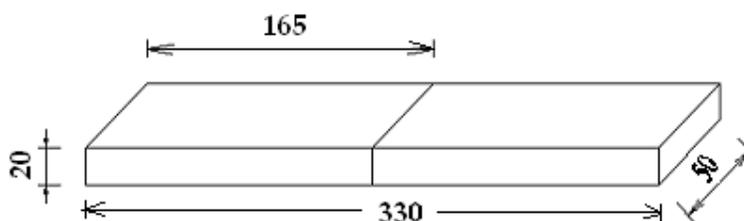


Figura 21: Geometria (em mm) utilizada para confecção dos corpos de prova das juntas de topo para o ensaio de tração.

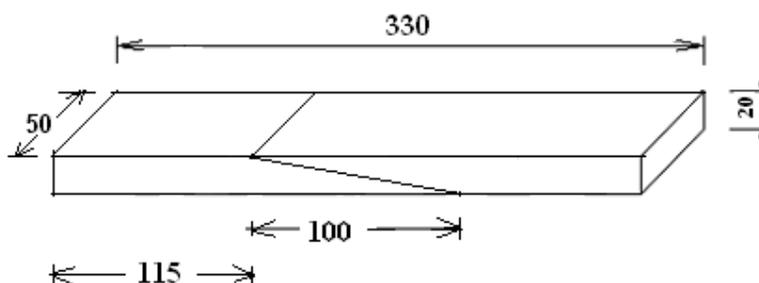


Figura 22: Geometria (em mm) utilizada para confecção dos corpos de prova das juntas biseladas para o ensaio de tração.

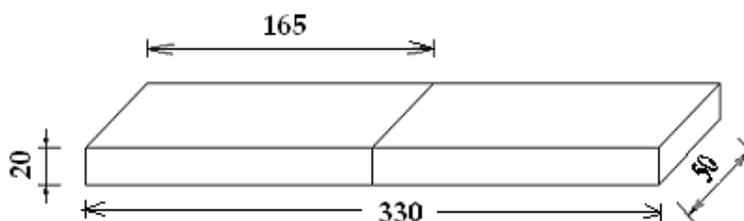


Figura 23: Geometria (em mm) utilizada para confecção dos corpos de prova das juntas encaixadas para o ensaio de tração.

### 3.2.2 - Confecção dos Corpos de Prova das Juntas Coladas

Foram preparados sessenta e três pares de juntas, confeccionados com as dimensões aproximadas de 330 mm de comprimento, 50 mm de largura e 20 mm de espessura, para o ensaio de tração. Os valores de área de colagem usados para determinar a resistência à tração das juntas de topo foi aproximadamente de 1000 mm<sup>2</sup>, das juntas biseladas 5099 mm<sup>2</sup>, e das encaixadas 1500 mm<sup>2</sup>. As Figuras 24, 25 e 26 apresentam amostras dos corpos de prova das juntas de topo, biselada e encaixada respectivamente, confeccionadas com os três tipos de madeira antes do processo de colagem.



Figura 24: Amostra dos corpos de prova das juntas de topo confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.



Figura 25: Amostra dos corpos de prova das juntas biseladas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.



Figura 26: Amostra dos corpos de prova das juntas encaixadas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

### 3.2.3 - Procedimento para a Colagem das Juntas

Pouco antes de receber o adesivo epóxi, os corpos de prova com os três tipos de juntas foram lixados na área de cola, com lixa para madeira de número 80, com a finalidade de apresentar as faces ativadas para a aplicação do adesivo. A Figura 27 mostra os corpos de prova das juntas de topo, biselada e encaixada sendo lixados.

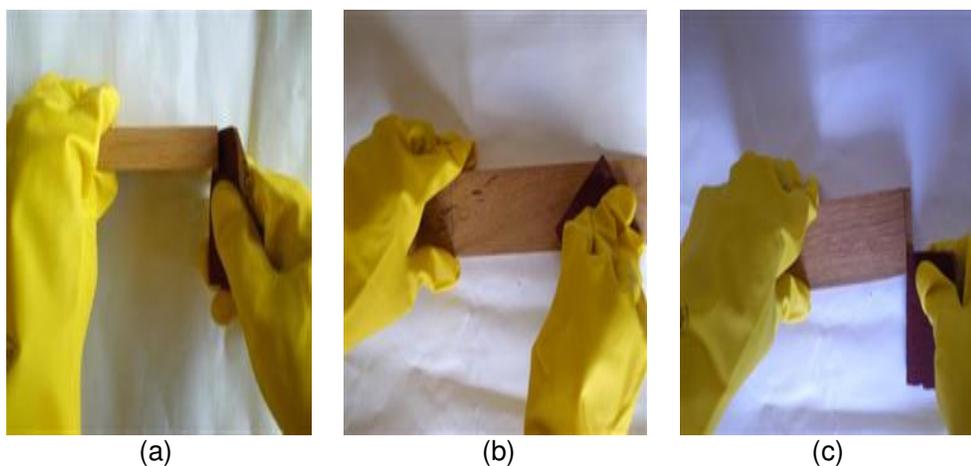


Figura 27: Lixamento dos corpos de prova das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c).

Após o lixamento, os corpos de prova das três juntas passaram por uma limpeza com pincel na área de cola para retirada do pó, como demonstra a Figura 28.

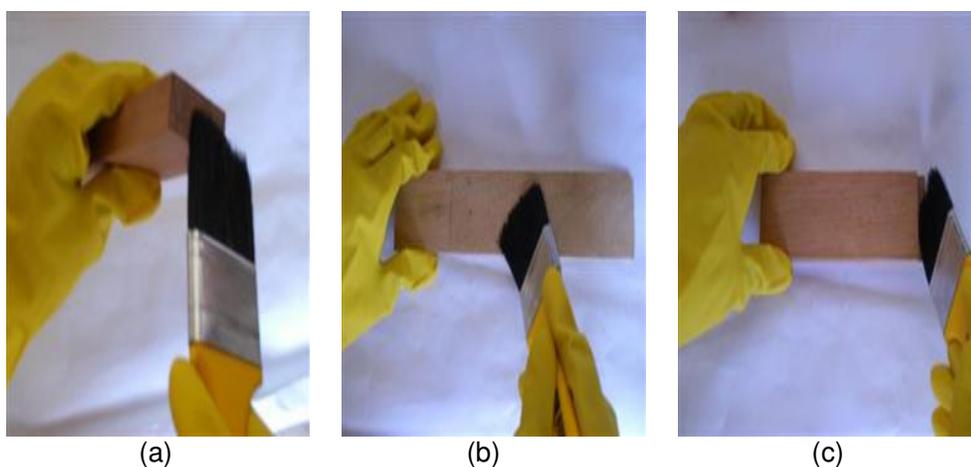


Figura 28: Limpeza dos corpos de prova das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c).

Preparou-se o adesivo Compound Adesivo, poucos minutos antes de seu emprego e, espalhou-se o adesivo com pincel em cada face da área de colagem dos corpos de prova das juntas, preenchendo toda a superfície, como mostra a Figura 29.

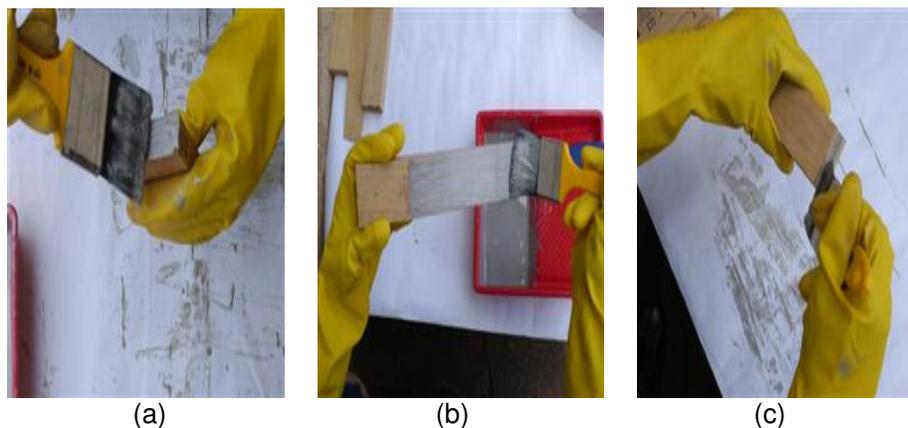


Figura 29: Aplicação do adesivo sobre a superfície de colagem das juntas de topo (a), biselada (b) e encaixada (c).

A aplicação do adesivo nos corpos de prova das juntas não excedeu a nove juntas coladas por cada mistura dos componentes do adesivo preparados. O número limitado de juntas coladas por vez deveu-se ao endurecimento do adesivo com o passar do tempo, dificultando assim, a aplicação e comprometendo a eficiência da colagem da juntas. A quantidade de adesivo aplicada nos corpos de prova das juntas de topo, biselada e encaixada com os três tipos de madeira para cada junta, foi de aproximadamente  $30 \text{ g/cm}^2$ .

Após a aplicação do adesivo, as juntas foram imediatamente fechadas e seguras por alguns minutos, posteriormente foram prensadas e permaneceram ao tempo de secagem do adesivo, por 24h. Nesse procedimento foi utilizada uma prensa simples mostrada na Figura 30. Apresentam-se, na Figura 31, alguns corpos de prova das juntas coladas sendo pressionados. O tempo após a prensagem para obter a máxima resistência da ligação adesiva foi de sete dias. Após esse tempo foram realizados os ensaios de tração nos corpos de prova das juntas coladas.



Figura 30: Prensa simples.



Figura 31: Sistema de prensagem dos corpos de prova das juntas coladas.

### 3.2.4 - Ensaio Mecânico das Juntas Coladas

Foi utilizado na realização do ensaio de caracterização mecânica das juntas coladas, o mesmo procedimento do ensaio de caracterização mecânica para o adesivo, tendo como referência a norma NBR 7190 (1997), que de acordo com a qual os corpos de prova das juntas coladas foram confeccionados. A máquina de ensaio utilizada foi a Kratos, que possui atuador servo hidráulico com capacidade de 78400 N, aplicando-se uma velocidade de deslocamento de 5 mm / min. A resistência à tração (tensão de ruptura) foi calculada pela razão entre o valor de carga de ruptura e a área de colagem, conforme fórmula (1.0) descrita em revisão bibliográfica.

O número de repetições para os três tipos de juntas foi de vinte e uma vezes, com cada tipo de madeira, ou seja, sete de Angelim-pedra, sete de Jatobá e sete de Tauari,

A Figura 32 mostra o mecanismo utilizado para a execução dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas coladas de topo, biselada e encaixada.



(a)



(b)



(c)

Figura 32: Máquina de ensaio com os corpos de prova das juntas topo (a), biselada (b) e encaixada (c) no momento do ensaio de tração.

### 3.2.5 - Modos de Ruptura

Após os ensaios de tração nos corpos de prova das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com os três tipos de madeira, foram tiradas fotos das superfícies de colagem, para observação e comparação dos modos de ruptura das referidas juntas. Como não foi encontrada, durante as pesquisas, norma exclusiva para caracterização dos modos de ruptura em juntas coladas, tomou-se, como base para observar e comparar os modos de ruptura dessas juntas, os classificados na norma ASTM D 5573 (1994). Os modos de ruptura foram avaliados após a execução dos ensaios de tração, subsídio fundamental no estudo do comportamento das juntas de madeira colada. Observou-se semelhança com os resultados encontrados nos modos de ruptura das juntas coladas com os classificados na citada norma.

## 4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

---

### 4.1 - MADEIRAS

Foi observado que das espécies de madeiras utilizadas no estudo das juntas coladas, o *Hymenaea courbaril* (Jatobá) foi o mais eficiente em relação às espécies *Hymenolobium petraeum* (Angelim-pedra), e *Couratari oblongifolia* (Tauari).

#### 4.1.1 - Ensaio de Caracterização das Madeiras

Através dos procedimentos apresentados em materiais e métodos obteve-se a identificação das espécies de madeiras utilizadas para a confecção dos corpos de prova. A Figura 33 mostra as células de parênquima axial que identificam cada espécie. Os padrões da distribuição das células desse parênquima são de extrema utilidade para a descrição da anatomia da madeira e auxilia na identificação das espécies. As madeiras apresentam uma organização interna bastante característica e variável entre os diversos grupos, o que permite a sua identificação segura.

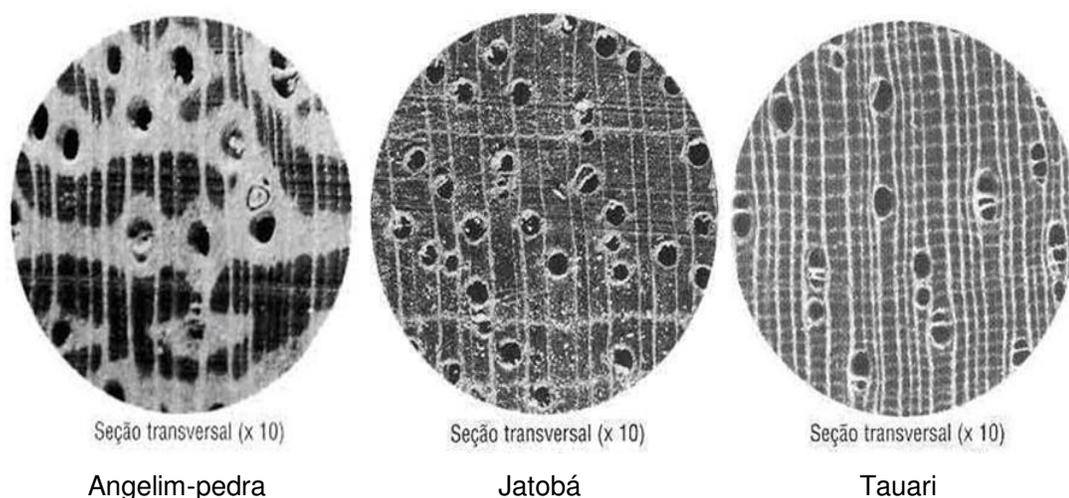


Figura 33: Seção transversal das madeiras usadas nas colagens - Células de parênquima axial (IBAMA, 1997).

## 4.2 - ADESIVO EPÓXI

Observou-se no adesivo Compound Adesivo, que possui como base de formulação de um dos componentes a resina epóxi e o outro um endurecedor tipo poliamino-amida, consistência pastosa e excelente desempenho nas colagens das madeiras.

### 4.2.1 - Ensaio Mecânico do Adesivo

Os resultados dos ensaios de tração realizados nos corpos de prova do adesivo epóxi são apresentados na Tabela 5.

Tabela 5: Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova do adesivo epóxi.

<b>Adesivo epóxi</b>	<b>Tensão de ruptura (MPa)</b>	<b>Alongamento (mm)</b>
Média	12,82	3,58
Desvio padrão	0,007	0,03
Coefficiente de variação %	0,05	0,84

A Figura 34 identifica a máxima resistência que cada corpo de prova suportou até a fratura. Analisando individualmente os corpos de prova da Figura 34, observou-se que um dos corpos de prova apresentou tensão menor (corpo de prova seis), devido à produção de bolhas no adesivo, ocasionando ponto de fragilidade.

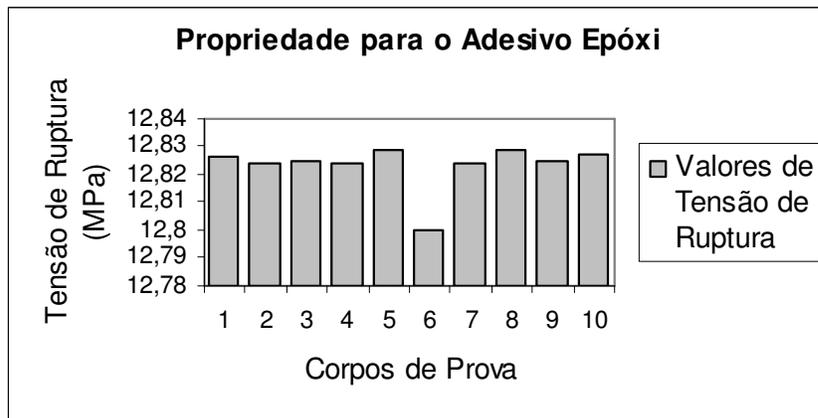


Figura 34: Resultados dos ensaios de resistência à tração dos corpos de prova do adesivo epóxi.

A Figura 35 apresenta o modo de fratura típica de alguns corpos de prova do adesivo epóxi após os ensaios de tração, que ocorreu dentro do comprimento de 60 mm como determina a norma ASTM D 638 (2003), em que foi baseado o ensaio. Analisando a Figura 35, observou-se que o corpo de prova de número oito foi o que apresentou melhor desempenho, pois a ruptura aconteceu quase no meio do corpo de prova.

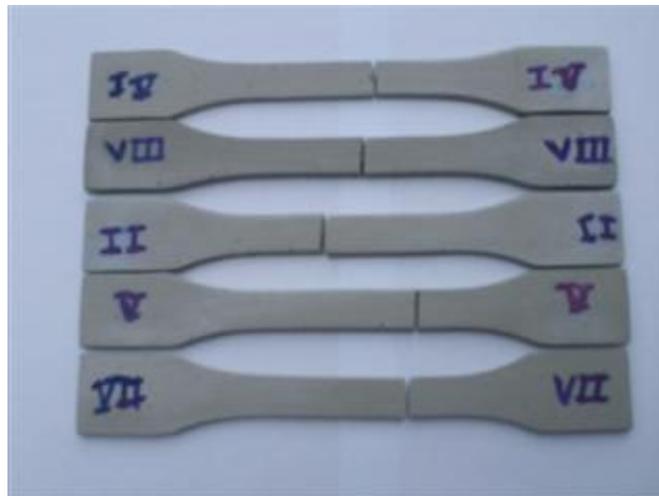


Figura 35: Forma de fratura dos corpos de prova do adesivo epóxi.

Comprovou-se com os resultados que o adesivo Compound Adesivo de base epóxi tem boa resistência mecânica como indica o fabricante, não apresentando valores para comparação com os resultados experimentais.

#### 4.3 - JUNTAS DE MADEIRA COLADA

Os resultados mostram o comportamento diferenciado de cada tipo de junta colada com as espécies de madeira, fato este ocorrido pela diferença da dimensão da área colada.

##### 4.3.1 - Ensaio Mecânico das Juntas Coladas

Os resultados dos ensaios de tração realizados nos corpos de prova das juntas coladas de topo, biselada e encaixada, com adesivo de base epóxi, Compound Adesivo são apresentados a seguir:

Os gráficos das Figuras 36, 37, 38, 39, 40, 41, 43, 44 e 45 ilustram exemplos de curvas típicas da relação entre força aplicada e as deformações, ocorridas durante o ensaio à tração dos corpos de prova das juntas coladas, com os três tipos de madeiras. Observou-se através dos gráficos que, à medida que a força foi aplicada gradativa e crescente ocorreu a deformação das juntas e conseqüentemente a ruptura, com exceção das juntas coladas biseladas de Jatobá (Figura 40) onde a máquina atingiu o limite máximo sem ruptura das juntas coladas.

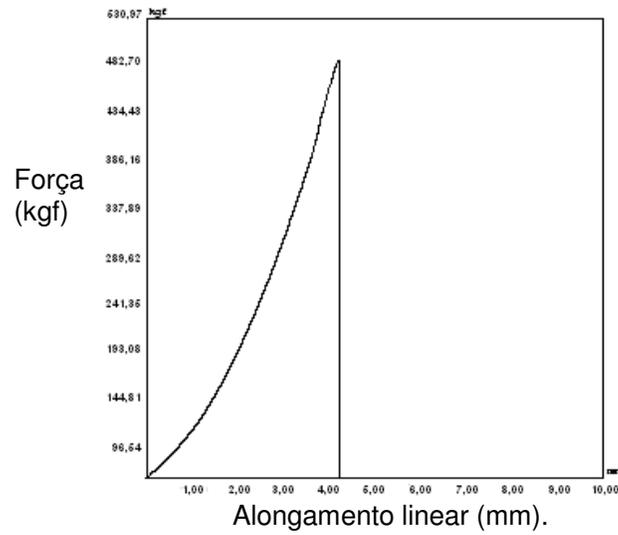


Figura 36: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas de topo de Angelim-pedra.

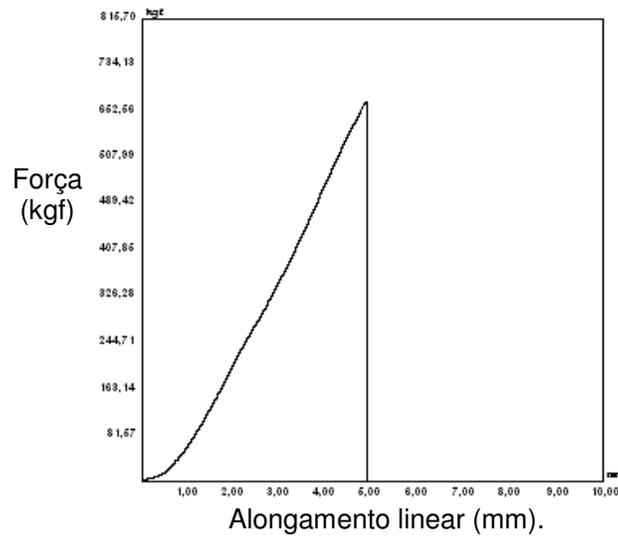


Figura 37: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas de topo de Jatobá.

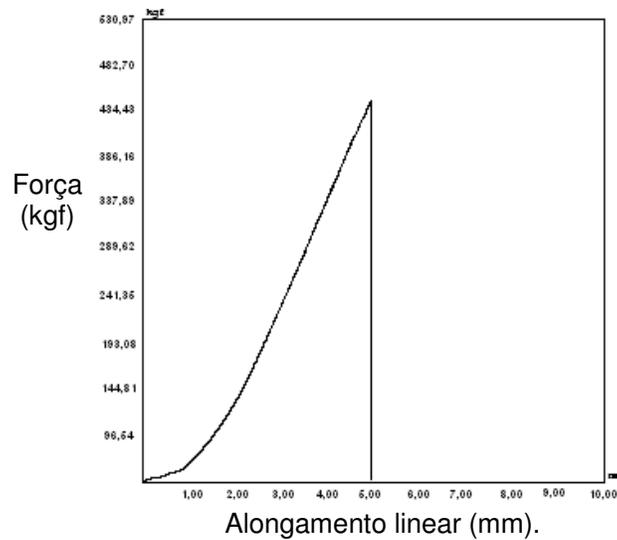


Figura 38: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas de topo de Tauari.

Foi observado nos gráficos das Figuras 36, 37 e 38, um comportamento similar entre as curvas típicas das juntas coladas de topo, que apresentaram uma deformação média de 1,58% para o Angelim-pedra, 1,81% para o Jatobá e 1,84 % para o Tauari. Análise de variância das médias de deformação das juntas coladas de topo indica que não há diferença significativa de alongamento entre as juntas coladas de topo. A junta de topo de jatobá foi quem apresentou o maior valor de força aplicada.

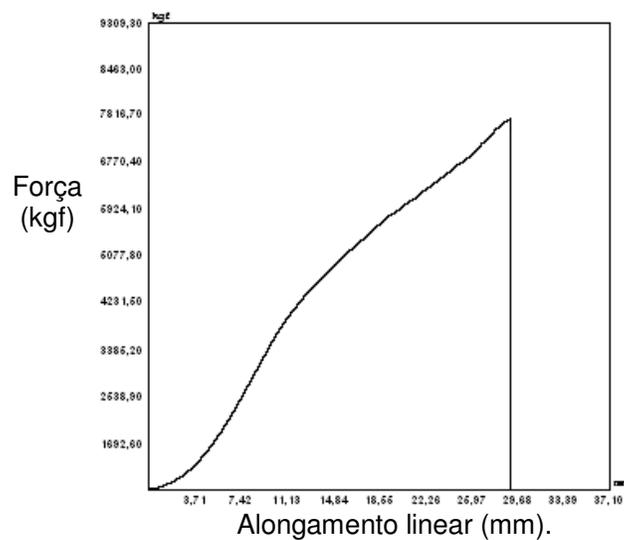


Figura 39: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas biseladas de Angelim-pedra.

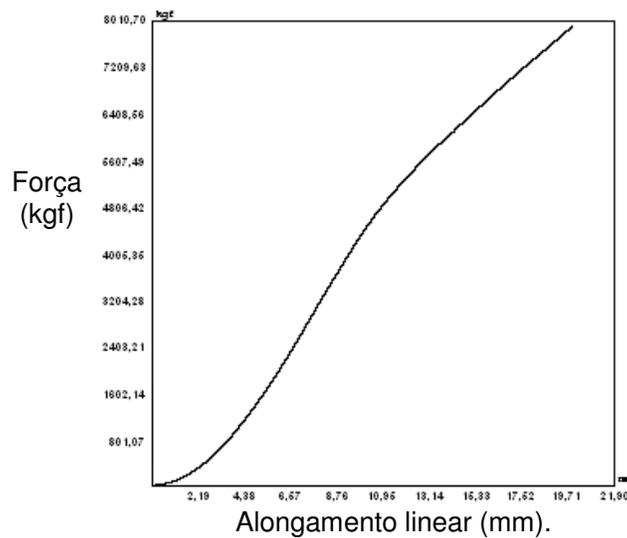


Figura 40: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas biseladas de Jatobá.

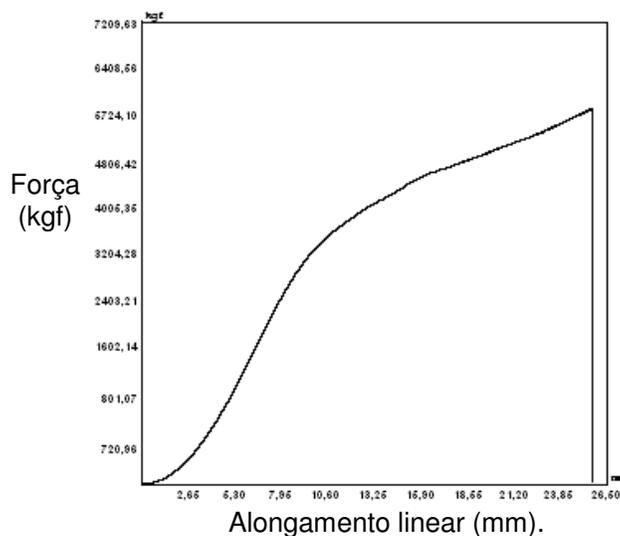


Figura 41: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas biseladas de Tauari.

Foi observado nos gráficos das Figuras 39, 40 e 41, um comportamento similar entre as curvas típicas das juntas coladas biseladas, porém, nas juntas coladas biseladas de jatobá não houve ruptura para a máxima força aplicada e, apresentaram também, uma deformação média de 10,81% para o Angelim-pedra, 7,4% para o Jatobá e 10,24% para o Tauari. Análise de variância das médias de deformação das juntas coladas biseladas indica que não há diferença significativa de alongamento entre as juntas coladas biseladas de Angelim-pedra e Tauari.

Caso a ruptura ocorresse na área de colagem das juntas biseladas de Angelim-pedra, Jatobá e Tauari, os resultados dos valores das forças ( $F_x$ ) seriam de 14474,01 N para o Angelim-pedra, 14896,00 N para o jatobá e 10744,09 N para o tauari.

A Figura 42 mostra as posições das forças.



Figura 42: Desenho esquemático das posições das forças.

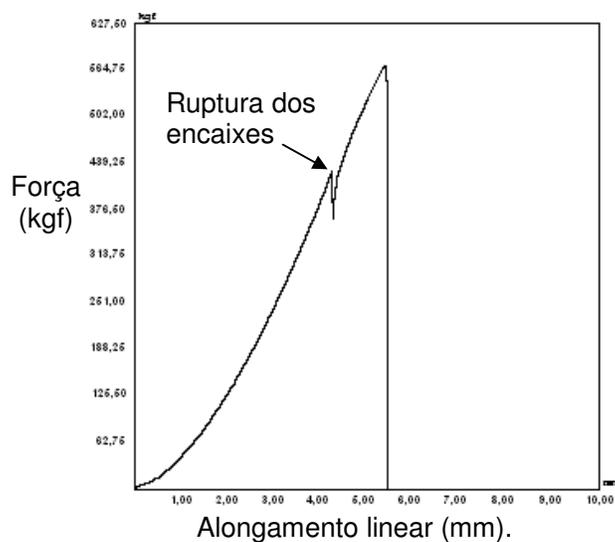


Figura 43: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas encaixadas de Angelim-pedra.

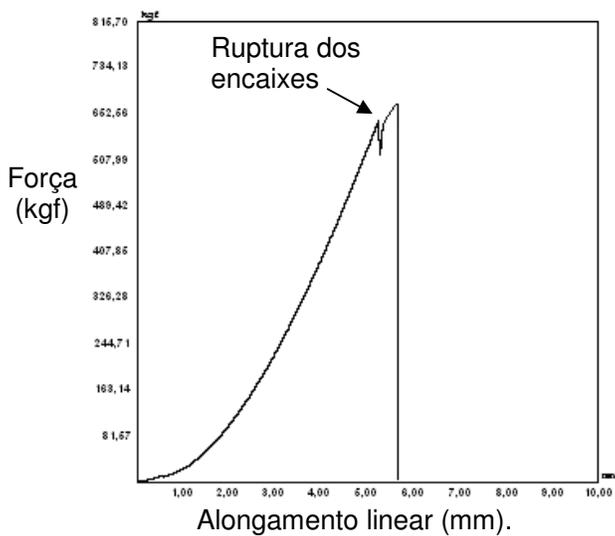


Figura 44: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas encaixadas de Jatobá.

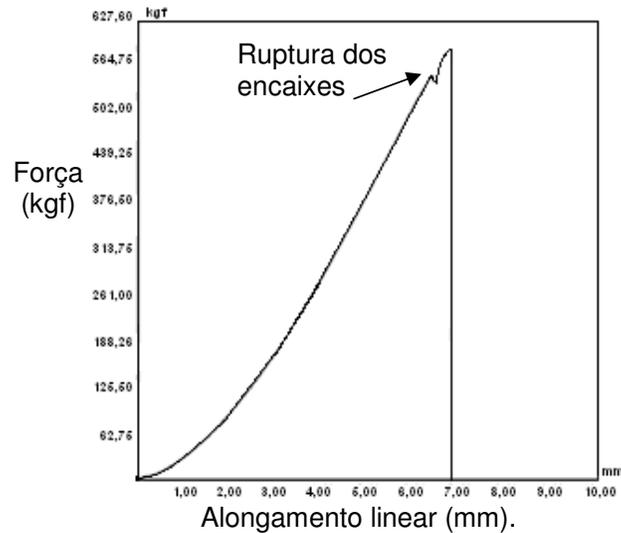


Figura 45: Exemplo de curva típica de força versus alongamento de um corpo de prova típico das juntas coladas encaixadas de Tauari.

Foi observado nos gráficos das Figuras 43, 44 e 45, um comportamento distinto entre as curvas típicas e os momentos da ruptura nos encaixes das juntas coladas encaixadas e, apresentaram também, uma deformação média de 2,01% para o Angelim-pedra, 2,1% para o Jatobá e 2,6% para o Tauari. Análise de variância das médias de deformação das juntas coladas encaixadas indica que não há diferença significativa de alongamento entre as juntas coladas encaixadas. A junta encaixada de jatobá foi quem apresentou o maior valor de força aplicada.

Nas Tabelas 6, 7 e 8 são apresentadas os resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas coladas de topo, biselada e encaixada respectivamente, confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Tabela 6: Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas de topo confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Juntas de topo	Tensão de ruptura (MPa)		
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Angelim-pedra	4,75	0,06	1,26
Jatobá	6,57	0,09	1,37
Tauari	4,49	0,10	2,22

A Tabela 6 mostra os resultados dos ensaios de tração das juntas coladas de topo que apresentou resistência à tração de aproximadamente 37% para o Angelim-pedra, 42% para o Jatobá e 44% para o Tauari, em relação à resistência da madeira sólida.

Segundo Nordstrom (1995), as juntas de topo são as mais simples juntas longitudinais e, apesar de não desperdiçarem madeira, apresentam resistência mecânica menor que as juntas encaixadas, porém, comparando com os resultados experimentais desta pesquisa foi constatado que às juntas coladas de topo apresentaram resistências maiores do que as juntas encaixadas.

Tabela 7: Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas biseladas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Juntas biselada	Tensão de ruptura (MPa)		
	Média	Desvio padrão	Coefficiente de variação (%)
Angelim-pedra	14,94	0,55	3,68
Jatobá	15,38	0,60	3,90
Tauari	11,09	0,45	4,05

A Tabela 7 mostra os resultados dos ensaios de tração das juntas coladas biseladas que apresentou resistência à tração de aproximadamente 116% para o Angelim-pedra, 100% para o Jatobá e 109% para o Tauari, em relação à resistência da madeira sólida.

Góes (1998) escreveu que as juntas biseladas surgiram como alternativa de suprir as limitações de resistência das juntas de topo, mesmo sendo juntas dispendiosas são consideradas as mais resistentes juntas longitudinais; portanto, comparando com os resultados experimentais dessa pesquisa, foi confirmada a grande resistência das juntas biseladas.

Baseando-se nos resultados da Tabela 7 considera-se que a junta colada biselada seria a mais indicada na recuperação da madeira, pois conseguiu manter a integridade da junta, próximo da madeira sólida.

Tabela 8: Resultados dos ensaios de tração dos corpos de prova das juntas encaixadas confeccionados com Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

<b>Juntas encaixada</b>	<b>Tensão de ruptura (MPa)</b>		
	<b>Média</b>	<b>Desvio padrão</b>	<b>Coefficiente de variação (%)</b>
Angelim-pedra	3,75	0,04	1,06
Jatobá	4,53	0,06	1,32
Tuari	3,84	0,04	1,04

A Tabela 8 mostra os resultados dos ensaios de tração das juntas coladas encaixadas que apresentou resistência à tração de aproximadamente 29% para o Angelim-pedra, 29% para o Jatobá e 38% para o Tauari, em relação à resistência da madeira sólida.

Segundo Hernandez (1998), as juntas encaixadas são consideradas como juntas de resistência intermediária entre as juntas de topo e as juntas biseladas, porém, nos resultados experimentais desta pesquisa, as juntas encaixadas apresentaram baixas resistências em relação às juntas coladas de topo e biselada, ficando a junta de topo como intermediária.

A Tabela 9 apresenta para comparação das juntas coladas, o resultado dos valores médios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com as madeiras Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Tabela 9: Resultado dos valores médios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Juntas	Média da tensão de ruptura (MPa)		
	Angelim-pedra	Jatobá	Tauari
Topo	4,75	6,57	4,49
Biselada	14,94	15,38	11,09
Encaixada	3,75	4,53	3,84

Os dados da Tabela 9 mostram que a madeira Jatobá apresentou maior resistência à tração para todos os tipos de juntas coladas, devido à boa aceitação de colagem da madeira Jatobá.

As Figuras 46, 47 e 48 ilustram para comparação, os gráficos relacionados aos resultados dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari respectivamente.

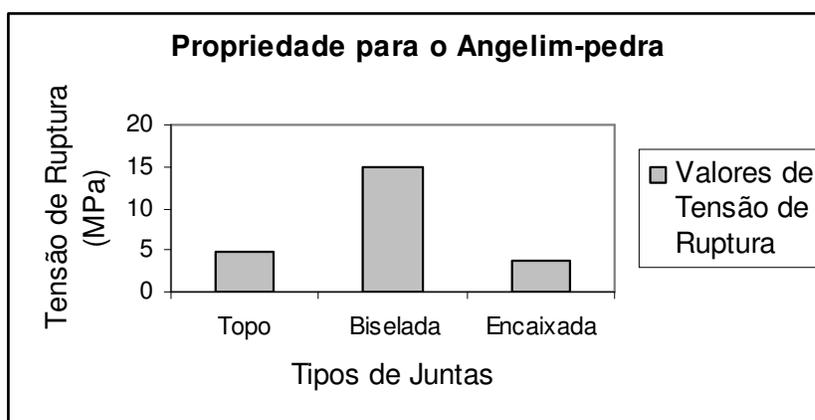


Figura 46: Resultado comparativo dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Angelim-pedra.

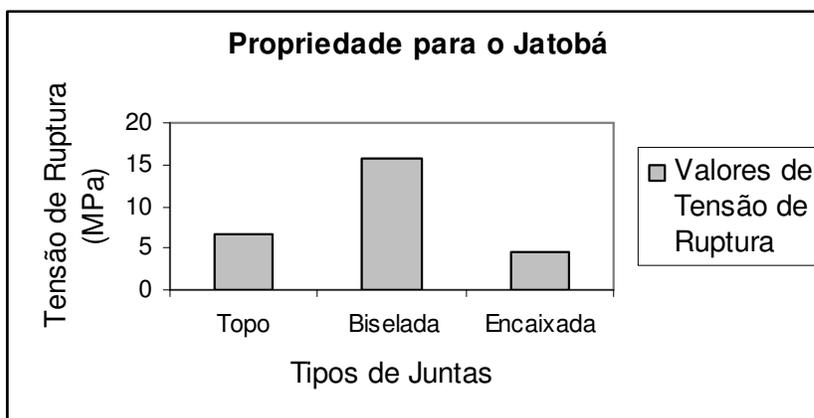


Figura 47: Resultado comparativo dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Jatobá.

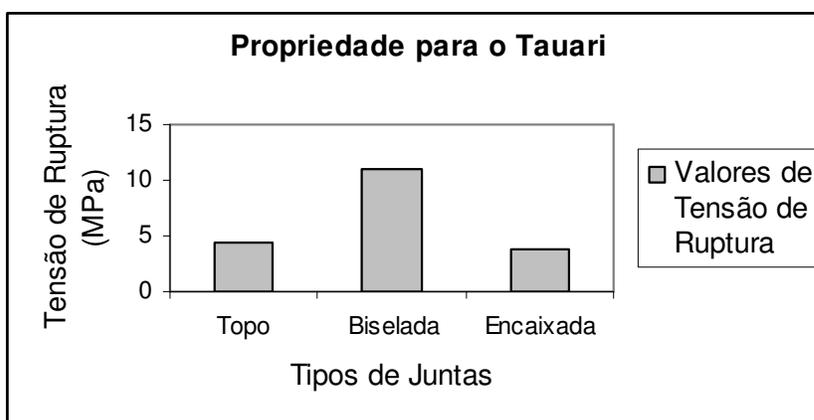


Figura 48: Resultado comparativo dos ensaios de resistência à tração das juntas coladas de topo, biselada e encaixada com o Tauari.

Os gráficos das Figuras 46, 47 e 48, mostram a excelente resistência à tração da junta colada do tipo biselada para todas as espécies de madeiras ensaiadas.

### 4.3.2 - Modos de Ruptura

Como houve semelhança dos resultados experimentais do modo de ruptura das juntas de madeira colada com os classificados na norma ASTM 5573 (1994) foi elaborado um sistema de classificação.

As rupturas típicas apresentadas pelos corpos de prova das juntas de topo, biselada e encaixada com as madeiras Angelim-pedra, Jatobá e Tauari, seguiram um padrão para cada junta o que facilitou a elaboração do sistema de classificação que consiste em dois diferentes tipos: ruptura adesiva e ruptura por deslizamento entre as células da madeira fora da área de colagem, ilustradas pelas Figuras que representam o comportamento característico da maioria das amostras ensaiadas.

A Figura 49 representa a ruptura típica das juntas coladas de topo confeccionadas com as madeiras Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

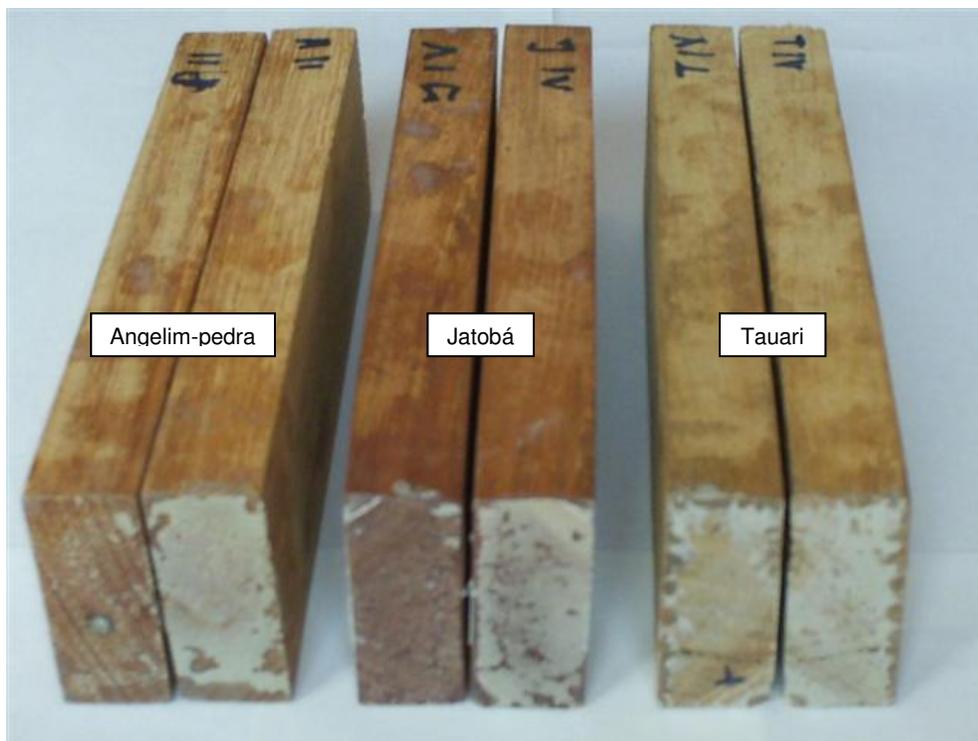


Figura 49: Representação da ruptura típica das juntas coladas de topo confeccionadas com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Observou-se na Figura 49 que os modos de ruptura das juntas coladas de topo de Angelim-pedra e de Jatobá apresentaram ruptura na superfície da madeira e as juntas de Tauari apresentaram ruptura na superfície da madeira e pouca ruptura no adesivo na região de colagem. Analisando as juntas coladas de topo da Figura 49 foi constatada predominância de ruptura adesiva, que indica uma boa aderência entre adesivo e as madeiras.

Os modos de ruptura das juntas coladas de topo de Angelim-pedra, Jatobá e Tauari podem ser comparados ao estudo feito por Nordstrom (1995) com juntas coladas de topo de *Picea sp*, que apresentou ruptura adesiva.

A Figura 50 representa a ruptura típica das juntas coladas biseladas confeccionadas com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

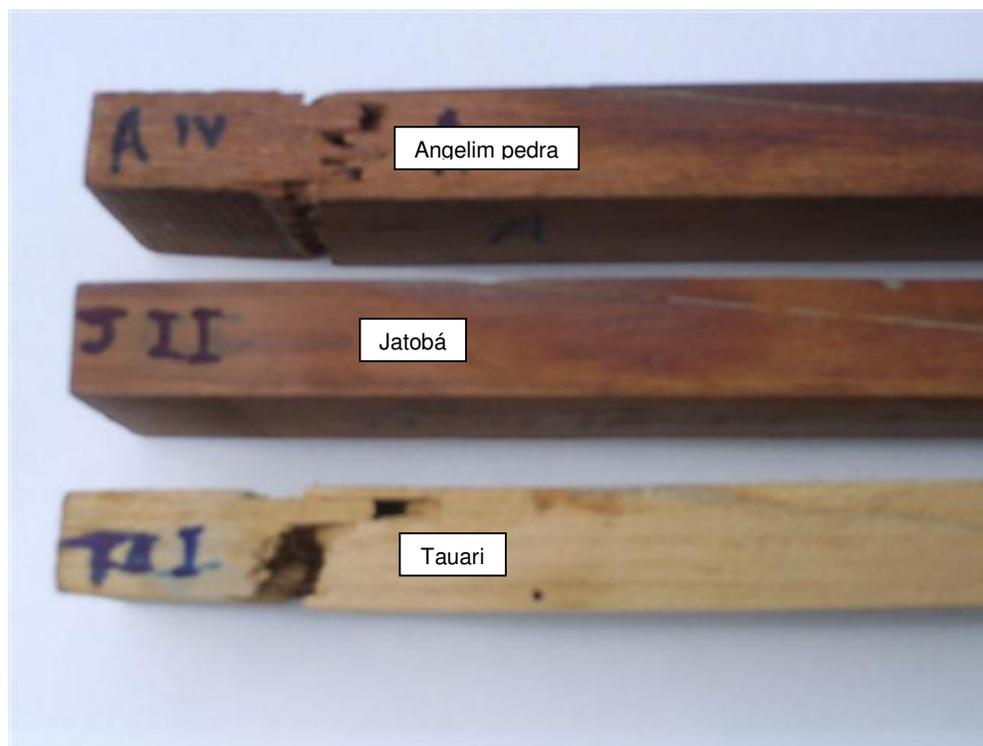


Figura 50: Representação da ruptura típica das juntas coladas biseladas confeccionadas com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

Observou-se na Figura 50 que os modos de ruptura das juntas coladas biseladas de Angelim-pedra e Tauari apresentaram ruptura por deslizamento entre as células da madeira, provocando alongamento das células ao longo do eixo longitudinal, fora da área de colagem das juntas coladas biseladas; as juntas de Jatobá não apresentaram ruptura. Analisando as juntas coladas biseladas da Figura 50 foi constatado predominância de ruptura por deslizamento entre as células da madeira, fora da área de colagem, ou seja, não ocorreu descolamento das juntas.

No estudo que Góes (1999) realizou sobre as juntas biseladas, variando a inclinação do bisel para a espécie *Pinus taeda*, não apresentou o modo de ruptura, sem o qual não podemos fazer comparação.

As Figuras 51, 52 e 53 representam à ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari respectivamente.



Figura 51: Representação da ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Angelim-pedra.



Figura 52: Representação da ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Jatobá.



Figura 53: Representação da ruptura típica das juntas coladas encaixadas confeccionadas com o Tauari.

Nas análises feitas nas juntas coladas encaixadas de Angelim-pedra, Jatobá e Tauari das Figuras 51, 52 e 53 foram constatados em todas as juntas, que os modos de ruptura das juntas coladas encaixadas apresentaram predominância de ruptura adesiva.

Os modos de ruptura das juntas coladas encaixadas de Angelim-pedra, Jatobá e Tauari podem ser comparados aos estudos dos modos de ruptura das juntas encaixadas com a madeira *Eucalyptus grandis* feito por Macedo (1999) e Azambuja (2002); obtiveram também ruptura adesiva.

## 5 CONCLUSÃO

---

Neste estudo foram apresentados a identificação das espécies das madeiras utilizadas, resultados de resistência à tração e modos de ruptura das juntas coladas de topo, biselada e encaixada, com as madeiras Angelim-pedra, Jatobá e Tauari.

As espécies de madeiras de alta e média densidade quando coladas, apresentaram diferentes valores médios de resistência à tração. O jatobá apresentou maior resistência à tração, seguido do Angelim-pedra e Tauari.

No ensaio de tração paralelo às fibras, as juntas coladas apresentaram comportamentos diferenciados na resistência e no modo de ruptura.

As juntas de topo apresentaram resistência de aproximadamente 37%, 42% e 44% para o Angelim-pedra, Jatobá e Tauari respectivamente e, predominância de ruptura adesiva.

As juntas biseladas apresentaram resistência à tração de aproximadamente 100% para todas as espécies estudadas e, predominância de ruptura por deslizamento entre as células da madeira fora da área de colagem.

As juntas encaixadas apresentaram resistência à tração de aproximadamente 29% (Angelim-pedra e Jatobá) e 38% para o Tauari, apresentando também, predominância de ruptura adesiva.

As juntas de topo apresentaram resistência maior que as juntas encaixadas e, as juntas biseladas apresentaram resistência maior que as juntas de topo e encaixadas.

Com relação à qualidade da adesão, destacaram-se as juntas coladas de topo e encaixada, pois apresentaram ruptura adesiva, indicando boa qualidade de adesão.

Os resultados mostraram a excelente resistência à tração das juntas coladas biseladas para todas as espécies de madeiras ensaiadas, que ficaram bem próximas da resistência da madeira sólida; notou-se também, a boa aceitação de colagem da madeira Jatobá, que apesar de possuir uma densidade alta, apresentou maior resistência à tração para todos os tipos de juntas coladas.

Considerando-se os resultados obtidos, sugere-se que para os próximos trabalhos sejam realizados ensaios com espécies que possuam características semelhantes à madeira Jatobá, com o mesmo adesivo epóxi para comparação da qualidade da adesão e, posteriormente utilizá-las no desenvolvimento de projetos com madeiras de pequenas dimensões.

## REFERÊNCIAS

---

ABRAHÃO, C. P. **Efeito da redução da área colada no comportamento de vigas e colunas de madeira laminada de *Eucalyptus grandis***. 1999. 61f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, 1999.

ADESIVO e SELANTE. **Adesivos para construção civil**. S.l.: s.n, ed.14, nov./dez. 2006.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS - ASTM “**Standard practice for classifying failure modes in Fiber-Reinforced-Plastic (FRP) joints**”. In: Annual Book of ASTM Standards, ASTM D 5573, Philadelphia, p. 456-457, 1994.

ASTM D 638- 03, “**Standard test method for tensile properties of plastics**”. Annual Book of ASTM Standards, American Society for Testing and Materials, Philadelphia, p. 157-167, 2003.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Projeto de estruturas de madeira**. NBR 7190. Rio de Janeiro, 1997. 107 p.

AZAMBUJA, M. A. **Avaliação do adesivo poliuretano à base de mamona para fabricação de madeira laminada colada (MLC)**. 2002. 103 f. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2002.

BAUER, R. S. **Application of epoxy resins in advanced composites**. International sample symposium, 34., v. 2, 1989. 19 p.

BASSET, K. H. **Effect of certain variables on strength of glued end joints**. Forest Products Journal, S.l.: s.n., v.10, n.11, p. 579-585, 1960.

BOHN, A. R. **Influencia da espessura das lâminas e da cola na madeira laminada colada**. Florianópolis, 1995. 75 f. Dissertação de Mestrado - UFSC, 1995.

BRADY, D. A.; KAMKE, F. A. **Effects of hot-pressing parameters for penetration of the adhesive**. Forest Production Journal, [S.l.], v. 38, n. 11/12, p. 63-68, 1988.

BURGER, M. L.; RICHTER, H. G. **Anatomia da madeira**. São Paulo: Nobel, 1991. 154 p.

CAMARGO, J. A. et al. **Catálogo de Árvores do Brasil**. Brasília: IBAMA, 2001.

CAMPOS, C. L.; LAHR, F. A. R. **Estudo comparativo dos resultados de ensaio de tração perpendicular para MDF produzido em laboratório com fibras de Pinus e de Eucalipto utilizando Uréia-Formaldeído**. Rio de Janeiro: [s.n.], V. 9, N. 1, p. 32-42, 2004.

CARRASCO, E. V. M. **Ligações estruturais de madeiras por adesivo**. 1984. 431 f. Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, São Paulo, 1984.

CESAR, S. F. **Chapas de madeira para vedação vertical de edificações produzidas industrialmente**: Projeto Conceitual. 2002. 302 f. Tese de Doutorado - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2002.

DERMOTT, J. **The structure of the advanced composites industry**. Advance composites Bluebook, 1990.

FERREIRA, C. E. M.; CARRASCO, E. V.; HELLMEISTER, J. C. Tecnologias de adesivos poliuretanos: propriedades e aplicação em madeira. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA, 3. 1988, São Carlos. **Anais...** São Carlos: EBRAMEM, 1988. v. 4, p. 39-74.

FOREST PRODUCTS LABORATORY. **Wood handbook. Wood as an engineering material**. Madison: U.S. Department of Agriculture; Forest Service; Forest Products Laboratory, 1999. 463 p.

GALVÃO, A. P. M.; JANKOWSKI, I. P. **Secagem racional da madeira**. São Paulo, Nobel, 1985. 112 p.

GEMMEL, A. R. **Anatomia do vegetal em desenvolvimento**. São Paulo: Temas de Biologia, v.19, 1980.

GÓES, J. L. N. **Estudo de emendas biselada utilizadas em vigas de madeira laminada colada para espécies nativas comerciais**: Ilha Solteira. 1999. 105 f. Relatório (Relatório Final de Iniciação Científica) – Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. 1999.

GROHMANN, S. Z. **Vigas de madeira laminada colada com lâminas pré - classificadas de *Eucalyptus grandis***. 1998. 120 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 1998.

HELLMEISTER, J. C. **Sobre a determinação das características físicas da madeira**. 1982. 119 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, São Carlos, 1982.

HENRIQUES DE JESUS, J. M. **Estudo do adesivo poliuretano à base de mamona em madeira laminada colada (MLC)**. 2000. 110 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Paulo, São Carlos, 2000.

HERNANDEZ, R. **Analysis of strain in finger-jointed lumber**: Montreux (Switzerland): 5th World Conference on Timber Engineering, Montreux. v. 1, p. 17-20, 1998.

HOUWINK, R.; SALOMON, G. **Adhesion and adhesives**. 2. ed. New York: Elsevier Publishing Company, 1965.

HUNT, G. M. **Preservación de la madera**. Barcelona: Salvat, 1962.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS. **Madeiras da Amazônia**: características e utilização: Amazônia Oriental. Brasília: IBAMA, 1997. 141 p.

KOLLMANN, F. F. P.; KUENZI, E.; STAM, A.J. **Principles of wood science and technology**. Berlin: Springer-Verlag, v. 2, 1975. 703 p.

LEE, H.; NEVILLE, K., **Handbook of epoxy resins**: McGraw Hill. Inc. USA: s.n., 1967.

MACEDO, A. N.; JUNIOR, C. C. **Estudo de emendas dentadas em madeira laminada colada (MLC)**: Engenharia de Estrutura, São Carlos: s.n., n.7, p. 1-23, 1999.

MARK, H. F.; BIKALES, M. N.; OVERBERGER, C. G.; MENGES, G., **Encyclopedia of polymer science and engineering, emulsion polymerization to fibers, manufacture**. New York : John Wiley & sons, v.6, 1986.

MARRA, A. A. **Technology of wood bonding**: principles in practice. New York: Van Nostrand Reinhold, 1992. 454 p.

MELO, A. V.; CARRASCO, E. V. M. Análise de adesivos em madeira laminada colada. In: ENCONTRO BRASILEIRO EM MADEIRAS E EM ESTRUTURAS DE MADEIRA. 9., 2004, Cuiabá. **Anais...** Cuiabá: UFMT, 2004.

NASCIMENTO, A. M.; DELLA LUCCIA, R. M.; VITAL, B. R. Colagem de emendas biseladas em madeiras de *Pinus* spp. e *Eucalyptus citriodora*. **Revista Floresta e Ambiente**; Rio de Janeiro, v. 8, p. 44-51, 2001.

NASCIMENTO, A. M.; LELIS, R. C. C.; COSTA, D. L.; OLIVEIRA, C. S. Comportamento de ligações adesivas em madeira de reflorestamento. **Revista Floresta e Ambiente**. Rio de Janeiro, v.9, n.1, p. 54-62, 2002.

NORDSTROM, J. E. P. Bending strength of spruce End-Grain Butt – joint using formaldehyde based adhesives. **Forest Products Journal**. [S.l.], v. 45, n. 6, p. 77-83, 1995.

OLIVEIRA, J. T. S. **Caracterização da madeira de eucalipto para a construção civil**. 1998. 429 f. Tese de Doutorado - Universidade de São Carlos, São Carlos, 1998.

OLMOS, M. A. C. **Equipamentos e processos de fabricação de chapas aglomeradas a partir de resíduos de madeira**. 1992. 112f. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Paulo, São Paulo, 1992.

PARDINI, L. C.; **Comportamento dinâmico mecânico e a fratura de materiais compostos epóxi/elastômeros/fibra de carbono**. 1990. Dissertação de Mestrado - Universidade de São Carlos, 1990.

PETRAUSKI, S. M. F. C. **Desenvolvimento e teste de pórticos treliçados feitos de laminado colado com madeiras de *E. citriodora* e *E. grandis***. 1999. 129 f. Dissertação de Mestrado - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1999.

PFEIL, W. E.; PFEIL, M. **Estruturas de madeira**. 6. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2003. 224 p.

PIZZI, A. **Advanced wood adhesives technology**. New York: Marcell Decker, 1994. 289 p.

PIZZI, A.; MITTAL, K. L. **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Decker, 1994. p. 347-358.

PROPERZI, M., PIZZI, A., UZIELLI, L. **Comparative wet wood glueing performance of different types of glulam wood adhesives Holz als Roh und Werkstoff**, [S.l.], v.61, p. 77-78, 2003.

SASSAKI, H., MCARTHUR, E. Improving scarf joint strength. **Forest Products Journal**, [S. l.], v.23, n.5, p. 37-39, 1972.

SASSAKI, H., MCARTHUR, E., GOTTSTEIN, J. W. Maximum strength of end-grain to end grain butt joints. **Forest Products Journal**, [S.l.], v.23, n.2, p. 48-54, 1973.

SCHULTZ, J.; NARDIN, M. **Theories and mechanisms of adhesion**. In: PIZZI, A.; MITTAL, K. L. (Eds) **Handbook of adhesive technology**. New York: Marcel Decker, p. 19-32, 1994.

SKEIST, I. **Handbook of adhesives**. New York: Van Nostrand Reinhold, 1990. 778 p.

SOBRAL, F. M. **Adesão e adesivos para madeira**: teorias de adesão e a natureza das colagens com madeira. Brasília: Ministério da Agricultura, 1982. 22 p. (Série Técnica, 5).

SPERLING, L. H. **"Introduction to physical polymer science"**. 2. ed. Wiley Interscience Publication, 1992.

SZÜCS, C. A. **Madeira laminada colada**: aplicação estrutural da madeira sob a técnica do laminado-colado. Florianópolis: UFSC, 1992. 13 p.

TIENNE, D. L. C. **Resistência de composições adesivas expostas a condições de serviço externo e interno**. Rio de Janeiro. Dissertação de Mestrado - UFRRJ, 2006.

TSOUMIS, G. **Science and technology of wood: structure, properties, utilization**. Nova York: Van Nostrand Reinhold, 1991. 494 p.

VAN RENSBURG, B. W. J., BURDZIK, W. M. G., EBERSOHN, W., CILLIE, C. The effect of timber density and type of adhesive on the strength of finger-joints in s.a. pine and Eucalyptus grandis. **South African Forestry Journal**, n.140, p.39-43, 1987.

**VEDACIT**. Disponível em: <http://www.vedacit.com.br>, acesso em abril de 2008.

VRAZEL, M. E. **The effects of species, adhesive type, and cure temperature on the strength and durability of a structural finger joint**. Mississippi, EUA. Dissertation (Mestrado in Science in Forest Products) Department of Forest Products-MSU, 2002. 84 p.

WATAI, L. T. **Painéis derivados da madeira**. São Paulo. ABPM (Associação Brasileira de Painéis de Madeira). n. 52, 1987.

WILCOX, W. W.; BOTSAL, E. E. e KUBLER, H. **Wood as a building material: a guide for designers and builders**. New York, EUA, 1991. 215 p.

ZANGIÁCOMO, A. L. **Emprego de espécies tropicais alternativas na produção de elementos estruturais de madeira laminada colada**. 2003, 103f. São Carlos, Dissertação de Mestrado - Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 2003, 103 p.