

ROBERTO LECOMTE DE MELLO

PROJETAR EM MADEIRA: UMA NOVA ABORDAGEM

**DISSERTAÇÃO APRESENTADA À FACULDADE DE
ARQUITETURA E URBANISMO DA UNIVERSIDADE
DE BRASÍLIA PARA OBTENÇÃO DO
TÍTULO DE MESTRE EM ARQUITETURA**

**ÁREA DE CONCENTRAÇÃO:
TECNOLOGIA**

**ORIENTADOR:
PROF. DR. PAULO CASTILHO LIMA**

BRASÍLIA

JULHO DE 2007

ROBERTO LECOMTE DE MELLO

**PROJETAR EM MADEIRA:
UMA NOVA ABORDAGEM**

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Castilho Lima (orientador)

Prof^a.Dr^a. Rosa Maria Bittencourt

Prof. Dr. Márcio Roma Buzar

Brasília, 03 de Julho de 2007

AGRADECIMENTOS

À minha família, em especial à minha esposa Sheila pelo apoio e carinho, e aos meus filhos Ivan (valeu pelas figuras, filho) e Taís, pela paciência com a minha ausência.

Ao amigo e companheiro de trabalho Júlio Eustáquio, um raro conhecedor da madeira no Brasil, pelas muitas contribuições em muitos anos de convivência.

Aos colegas do LPF e do IBAMA, pelo convívio e pelas oportunidades de trabalho enriquecedoras.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Paulo Castilho, por me apresentar de forma tranqüila e segura o caminho da metodologia científica.

À Prof. Dra. Rosa Bittencourt pela valiosa contribuição no tema desta dissertação, e ao Prof. Dr. Márcio Buzar por sua orientação e dicas em minha banca de qualificação.

À arquiteta Leda Vasconcelos, pelos muitos anos de convívio e parceria que despertaram em mim o interesse por este tema.

Aos colegas do Jardim Botânico de Brasília, em especial a Dra. Anajúlia Heringer Salles, pelo apoio e estímulo ao nosso trabalho com a madeira ainda nos seus passos iniciais.

Aos vários parceiros dos canteiros de obras, construtores e carpinteiros, que contribuíram para a nossa experimentação em edificações de madeira.

RESUMO

Este trabalho propõe uma nova abordagem para a concepção arquitetônica da edificação em madeira, baseada no pressuposto de que são necessários procedimentos específicos para se projetar com o material.

A análise do uso da madeira na construção civil no Brasil revela o preconceito e a falta de conhecimento para se aproveitar todas as suas potencialidades como material estrutural e construtivo num país com imenso potencial florestal.

O mercado da construção nos países com tradição no uso da madeira oferece atualmente inúmeras opções com o material e seus derivados, incorporando novas tecnologias construtivas com princípios ambientalmente corretos e dentro de novos conceitos aplicados à arquitetura.

Tendo o projeto de arquitetura como ponto de partida para o aprimoramento tecnológico das edificações, são defendidos princípios que estão vinculados às especificidades da madeira, buscando-se contribuir para estimular o seu uso criterioso e racional na construção civil em nosso país.

ABSTRACT

This work proposes a new practice for the architectural conception of wood buildings, based on the admission that specific procedures are required to design with this material

The analysis of the wood utilization in the building site in Brazil reveals a lot of prejudice and lack of knowledge, and we're not taking advantage of all its potentialities as a structural and constructive material in a country with immense forest resources.

The building market in countries with long-time wood utilization offers several options with wood and wood composites, by incorporating new building technologies with sustainable principles and innovative architectural concepts.

With the architectural conception as the starting point for the building's technological improvement, same principles related to wood specificities are stated in this work, seeking for the promotion of the rational use of the wood in the building site in our country.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTOS

RESUMO

ABSTRACT

LISTA DE FIGURAS

LISTA DE QUADROS

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CAPÍTULO I

1. INTRODUÇÃO ————— 19

CAPÍTULO II

2. A MADEIRA COMO MATERIAL DE CONSTRUÇÃO ————— 25

2.1. USO MÚLTIPLO E SUBUTILIZAÇÃO NA CONSTRUÇÃO CIVIL ————— 25

2.1.1. A QUESTÃO DA NORMATIZAÇÃO ————— 28

2.1.2. A QUESTÃO CULTURAL E A FALTA DE QUALIFICAÇÃO ————— 29

2.2. OS MITOS DA FALTA DE DURABILIDADE E DO COMPORTAMENTO AO FOGO — 31

2.3. UM MATERIAL COM CARACTERÍSTICAS ÚNICAS ————— 36

2.4. PRODUTOS DA MADEIRA PARA A CONSTRUÇÃO ————— 39

2.4.1. MADEIRA ROLIÇA E MADEIRA SERRADA ————— 40

2.4.2. MADEIRA EM LÂMINAS ————— 43

2.4.3. COMPOSTOS DE MADEIRA ————— 44

CAPÍTULO III

3. AS PROPRIEDADES DA MADEIRA	65
3.1. CARACTERIZAÇÃO TECNOLÓGICA DA MADEIRA	65
3.1.1. PROPRIEDADES FÍSICAS	67
3.1.1.1. CARACTERES GERAIS	68
3.1.1.2. TEOR DE UMIDADE	71
3.1.1.3. DENSIDADE	73
3.1.1.4. ESTABILIDADE DIMENSIONAL	74
3.1.1.5. COMPORTAMENTO TÉRMICO	75
3.1.1.6. COMPORTAMENTO ACÚSTICO	77
3.1.1.7. CONDUTIBILIDADE ELÉTRICA	78
3.1.2. PROPRIEDADES MECÂNICAS	78
3.1.2.1. COMPORTAMENTO DA MADEIRA À COMPRESSÃO	80
3.1.2.2. COMPORTAMENTO DA MADEIRA À TRAÇÃO	81
3.1.2.3. COMPORTAMENTO DA MADEIRA AO CISALHAMENTO	82
3.1.2.4. COMPORTAMENTO DA MADEIRA À FLEXÃO	83
3.1.2.5. COMPORTAMENTOS À TORÇÃO, DUREZA, FENDILHAMENTO E RESISTÊNCIA AO IMPACTO	84
3.1.3. FATORES QUE AFETAM A RESISTÊNCIA DA MADEIRA	85
3.2. A MADEIRA E A SUSTENTABILIDADE DOS MATERIAIS	87

CAPÍTULO IV

4. OS SISTEMAS CONSTRUTIVOS EM MADEIRA	92
4.1. AS TÉCNICAS TRADICIONAIS	92
4.1.1. AS CONSTRUÇÕES DE MADEIRA MACIÇA EMPILHADA	93

4.1.2. AS CONSTRUÇÕES COM ENTRAMADO ESTRUTURAL	96
4.2. AS TÉCNICAS CONTEMPORÂNEAS	99
4.2.1. O SISTEMA POSTE-VIGA OU PILAR-VIGA	102
4.2.2. OS ENTRAMADOS MODERNOS: SISTEMAS <i>BALLOONE PLATTFORM</i>	104
4.2.2.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE A CASA DE MADEIRA NORTE-AMERICANA	107
4.2.3. AS CONSTRUÇÕES EM PAINÉIS INDUSTRIALIZADOS DE MADEIRA	111
4.2.4. AS SOLUÇÕES ESTRUTURAIS DE COBERTURAS E <i>HALLS</i>	114
4.2.5. AS CIDADES DE MADEIRA (<i>WOODEN TOWNS</i>)	132
4.3. TÉCNICAS CONSTRUTIVAS EM MADEIRA NO BRASIL	139
CAPÍTULO V	
5. O PROJETO DE ARQUITETURA EM MADEIRA	149
5.1. CONSIDERAÇÕES SOBRE O PROJETO DE ARQUITETURA	149
5.2. ESPECIFICIDADES DO PROJETO EM MADEIRA	151
5.3. SOBRE A INTERAÇÃO ENTRE ARQUITETURA E ESTRUTURA	157
5.4. ESTUDO COMPARATIVO ENTRE DUAS EDIFICAÇÕES DE MADEIRA	163
CONSIDERAÇÕES FINAIS	173
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	176
BIBLIOGRAFIA COMPLEMENTAR	184

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Habitações construídas em Rondônia segundo o projeto do LPF/IBAMA-----	27
Figura 2 – Exemplos de pilar fixado com chapas e engastado em bloco de concreto-----	32
Figura 3 – Árvore de decisão para preservação da madeira-----	33
Figura 4 – Templo Horiyji, no Japão-----	36
Figura 5 – Execução de uma <i>log home</i> e casa finalizada no Estado do Oregon, EUA-----	40
Figura 6 – Exemplos de tipos de peças de madeira serrada obtidos a partir do desdobro da tora-----	41
Figura 7 – Estruturas treliçadas de madeira amazônica no edifício-sede da superintendência do INCRA em Marabá – PA-----	42
Figura 8 – Detalhe do piso laminado de madeira-----	44
Figura 9 – Seqüência esquemática de elaboração do compensado de pinus-----	46
Figura 10 – As três camadas mínimas do compensado estabilizam o produto, que pode ter até nove camadas-----	47
Figura 11 – Habitação em chapa de compensado e centro de pesquisa da Associação Canadense de Compensado (CANPLY) -----	47
Figura 12 – Modelos de aglomerados com espessuras variando de 6 a 50mm-----	48
Figura 13 – Modelos de chapas de MDF com espessuras variando de 3 a 30mm-----	49
Figura 14 – Habitação padronizada de condomínio nos EUA, com aplicação de chapas OSB nas vedações e cobertura-----	50
Figura 15 – Seqüência de fabricação do painel (OSB) -----	51
Figura 16 – Chapas de cimento-madeira -----	52

Figura 17 – Revestimentos de fachadas em residência no Japão e em galeria comercial em Londres utilizando chapas de cimento-madeira-----	53
Figura 18 – Componentes da chapa cimento-madeira-----	53
Figura 19 – Produção automatizada de MLC na Áustria e produção manual no Rio Grande do Sul-----	54
Figura 20 – Esquema de fabricação da MLC-----	55
Figura 21 – Detalhes de peças de MLC-----	56
Figura 22 – Descarregamento de peças de MLC e execução de estrutura com vão de 48,00m no Parque de Exposições de Brasília-----	57
Figura 23 – Edificações no Canadá (foto superior) e na Inglaterra com uso de peças curvas de MLC-----	58
Figura 24 – Pilares roliços e vigas retas de MLC no Sibelius Hall em Lahti, Finlândia-----	58
Figura 25 – Edificação de 05 pavimentos com estrutura plana de MLC destinada à Escola Técnica Federal da Madeira em Biel-Bienne-----	59
Figura 26 – Vigas de lâmina colada ou LVL-----	59
Figura 27 – Estrutura de LVL para abrigar a Galeria Serpentine em Londres, Inglaterra-----	60
Figura 28 – Detalhe de seção transversal e vigas de Parallam-----	61
Figura 29 – Uso do Parallam em estruturas de cobertura e em módulo estrutural destinado a pontes-----	61
Figura 30 – Estrutura de edificação de 04 pavimentos em peças de Parallam, destinada à Faculdade de Ciências Florestais da Universidade da Colúmbia Britânica, em Vancouver, Canadá-----	62
Figura 31 – Vigas <i>I-Joist</i> e LSL-----	62
Figura 32 – Painéis autoportantes de madeira-----	63
Figura 33 – Edificações com vedações e pisos em painéis autoportantes de compostos de madeira-----	63

Figura 34 – Produtos de madeira-plástico	64
Figura 35 – <i>Deck</i> e corrimão em madeira-plástico	64
Figura 36 – Direções principais da madeira	67
Figura 37 – Exemplos de grã direita e grã irregular (no caso, espiralada)	69
Figura 38 – Tábuas com corte radial (A) e tangencial (B) oriundos de tora com grã direita)	70
Figura 39 – Exemplos de figuras da madeira e seus usos	71
Figura 40 – Medidor de umidade portátil para madeira	73
Figura 41 – Defeitos de secagem nas peças devidos à anisotropia da madeira	75
Figura 42 – Sala de concertos do Sibellius Hall, com revestimentos de balcões, paredes, pisos e teto em madeira, em Lahti, Finlândia	78
Figura 43 – Gráfico esquemático da resistência da madeira à tração e compressão paralela às fibras	80
Figura 44 – A madeira pode ser submetida a três tipos de compressão: perpendicular, paralela ou inclinada	81
Figura 45 – A solicitação por tração pode se dar nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira	81
Figura 46 – Tipos de cisalhamento na madeira: esta apresenta menor resistência no cisalhamento horizontal	82
Figura 47- Comportamento da madeira quando solicitada à flexão simples	83
Figura 48 – Gráficos comparativos do desempenho de materiais em uma edificação comercial canadense	90
Figura 49 – Quadro comparativo de porcentagens de florestas naturais nos países	91
Figura 50 – Habitações em peças serradas dos imigrantes no Paraná, à esquerda, e em peças roliças, do séc. 17 em Ballenberg, Suíça	93
Figura 51 – Feltro desenvolvido para vedação entre peças do sistema “lafte” e habitação concebida na Noruega	94

Figura 52 – Seqüência de fabricação de habitação pelo sistema “lafte” -----	94
Figura 53 – Tipos de encaixes de peças nos cantos (<i>corner style</i>) utilizados nas <i>log homes</i> norte-americanas-----	95
Figura 54 – Habitação de alto luxo do tipo <i>log home</i> construída no Canadá-----	95
Figura 55 – Fachadas em enxaimel-----	96
Figura 56 – Casa em enxaimel em Blumenau (SC) -----	97
Figura 57 – Sistema enxaimel onde os pavimentos se apóiam um sobre o outro com vigas de amarração-----	97
Figura 58 – Edificações em enxaimel na França e Alemanha-----	98
Figura 59 – Monumento nacional <i>Little Moreton Hall</i> , datado de 1550, no interior da Inglaterra-----	98
Figura 60 – Edificação com sistema pilar-viga e vedações em alvenaria, destinada ao centro de plantas medicinais do IBAMA/DF-----	102
Figura 61 – Habitações com sistema pilar-viga nos EUA-----	103
Figura 62 – Sistema pilar-viga com madeira roliça no Canadá-----	103
Figura 63 – Obra no Canadá e detalhe do sistema <i>balloon</i> -----	104
Figura 64 – Montagem das paredes e detalhe genérico do sistema <i>plattform</i> -----	105
Figura 65 – Montagem de <i>mobile homes</i> em indústrias dos EUA-----	106
Figura 66 – Transporte com embalagem e entrega da <i>mobile home</i> nos EUA-----	106
Figura 67 – Habitação de classe média com sistema construtivo em madeira do tipo <i>plattform</i> , no Estado do Oregon, EUA-----	110
Figura 68 – Perspectiva de habitação executada nos anos 1943-1945 com o <i>Packaged House System</i> -----	111
Figura 69 – Fabricação de painéis na França-----	112
Figura 70 – Montagem de painéis nas obras-----	113
Figura 71 – Edificações francesas com painéis de madeira-----	113
Figura 72 – Detalhe de painel especial e exemplo de <i>passivhaus</i> -----	113

Figura 73 – Execução, obra acabada e detalhe construtivo de habitação com solução construtiva em vigas biapoiadas-----	115
Figura 74 – Vigas contínuas em MLC no novo aeroporto de Oslo, Noruega, e em escola na Finlândia-----	115
Figura 75 – Vigas tensionadas em escola de Rondônia (de mineradora francesa) e em ginásio na França-----	116
Figura 76 – Treliça pré-fabricada e máquina para produção de componentes com capacidade para 250 a 300 peças por hora-----	117
Figura 77 – Esquema de fabricação de treliças de madeira na América do Norte---	118
Figura 78 – Treliças triangulares em edificações comercial e industrial-----	118
Figura 79 – Treliças planas de madeira em edificação do INCRA no Pará, e com diagonais metálicas no museu de Ballenberg, Suíça-----	119
Figura 80 – Ponte estruturada em treliça plana de madeira com vão central de 54m e comprimento total de 108m, nos Alpes suíços-----	119
Figura 81 – Exemplo de tesoura com três articulações em edifício agrícola, com passarela fixada na articulação central-----	120
Figura 82 – Exemplos de estruturas em pórticos-----	120
Figura 83 – Pórticos treliçados concebidos para o projeto da nova sede do Jardim Botânico de Brasília (DF) -----	121
Figura 84 – Estruturas em pórticos com três articulações em obras em Portugal-----	121
Figura 85 – Ponte para pedestre com estrutura em arcos de madeira laminada colada na Suíça-----	122
Figura 86 – Capela com arcos em madeira laminada colada, na Finlândia-----	122
Figura 87 – Pontes em arco (acima) e arco treliçado (abaixo) executadas com peças de madeira maciça, em Goiânia (GO) e Brasília (DF) -----	123
Figura 88 – Cobertura em arco treliçado para Hall de esportes-----	123
Figura 89 – Edificação com cobertura em vigas suspensas com diâmetro de 170m em Viena, Áustria-----	124

Figura 90 – Grelhas em atelier de carpintaria na França e como apoio de caixa d’água em escritório do IBAMA em Santa Catarina-----	124
Figura 91 – Estruturas plissadas radiais, em arcos e pórticos-----	125
Figura 92 – Estruturas plissadas em granja francesa e no Pavilhão de Música de Montreal, Canadá-----	125
Figura 93 – Aduana na Áustria com estruturas plissadas-----	125
Figura 94 – Superfície à simples curvatura em galpão para estaleiro em Morges, Suíça-----	126
Figura 95 – Superfícies à dupla curvatura em creche em Liechtenstein e na Escola Politécnica Federal de Lausanne, Suíça (à direita) -----	126
Figura 96 – Casca de cobertura de uma piscina, que se apóia sobre três pontos no solo, com vãos de 58m entre os pontos, na França-----	127
Figura 97 – Casca em forma ovóide com estrutura em arcos compostos fixados em radier de concreto armado, na Bélgica-----	127
Figura 98 – Cúpula em auditório e casca invertida em anfiteatro, executadas em universidades na França e Alemanha-----	127
Figura 99 – Seqüência de fabricação de casa com cúpula geodésica nos EUA, com execução de embasamento em concreto armado, armação em montantes de madeira, enrijecimento com chapas de compensado, execução de complementos, com vista interna mostrando mezanino, e a obra acabada-----	128
Figura 100 – Edificações em madeira na Finlândia (igreja), Suíça (edifício público) e França (habitação coletiva) -----	129
Figura 101 – Jardim botânico em Sheffield, Inglaterra-----	130
Figura 102 – Pavilhão de Exposições de Hannover, Alemanha-----	130
Figura 103 – Igreja na Itália, projeto do arquiteto Renzo Piano-----	131
Figura 104 – Museu em Copenhagen, Dinamarca, projeto do arquiteto Daniel Libeskind, e edifício comercial na Alemanha-----	131
Figura 105 – Cidade de madeira em Oulu, na Finlândia-----	132

Figura 106 – Cidade de madeira do final do século 18 no Estado de Washington, EUA-----	132
Figura 107 – Igreja, prefeitura e escola da cidade de madeira de Belterra (antiga Fordlândia), construída às margens do rio Tapajós, no oeste do Estado do Pará, pelo magnata Henry Ford, para instalação de uma base de exploração de borracha-----	133
Figura 108 – A Cidade Livre, hoje Núcleo Bandeirante, era totalmente construída em madeira, que foi substituída por alvenaria-----	134
Figura 109 – Palácio do Catetinho, residência oficial do presidente da República no início da construção de Brasília-----	134
Figura 110 – Cidade turística de Whistler, no Canadá, considerada um dos principais <i>ski resorts</i> (estação de esqui) da América do Norte, sendo totalmente construída em madeira-----	135
Figura 111 – Cidade de madeira de Porvoo, Finlândia-----	136
Figura 112 – Cidades de Oulu e Sodankyla, Finlândia-----	137
Figura 113 – Vistas de ruas internas nas cidades de madeira de Oulu e Tuusula, Finlândia-----	137
Figura 114 – Cidade com habitações coletivas de três pavimentos em madeira na periferia de Helsinque, Finlândia-----	138
Figura 115 – Cidade de Friisla, Finlândia, com habitações térreas em madeira-----	138
Figura 116 – Oca destinada a várias famílias da nação waimiri-atroari, na Amazônia-----	139
Figura 117 – Casa bandeirista de meados do século 17 na cidade de São Paulo, num sistema misto alvenaria - madeira-----	140
Figura 118 – Igreja Matriz de Pirenópolis (GO), onde se observa a gaiola com madeira de alta durabilidade (aroeira), que permitiu a sua reutilização estrutural em suas restaurações-----	141
Figura 119– Projetos de Lúcio Costa da década de 1930, onde se observa a gaiola de madeira (figura no alto), a concepção neocolonial de alvenaria e madeira (foto), e a concepção moderna da gaiola de madeira inserida na estrutura de	

concreto armado-----	142
Figura 120– Gaiolas de madeira serrada no Centro de Visitantes do Jardim Botânico de Brasília (DF) e de madeira serrada e roliça na sede do Parque Estadual de Caldas Novas (GO) -----	143
Figura 121 – Estrutura de madeira de residência em Brasília, com concepção mista entre gaiola e sistema pilar-viga, devido à existência de paredes fixadas pela trama e também paredes portantes-----	143
Figura 122 – Edificações em tábuas e sarrafo em área rural no sul do Pará e na cidade de Florianópolis, em Santa Catarina-----	144
Figura 123 – Casas de madeira com paredes em peças maciças com encaixe do tipo macho-e-fêmea-----	145
Figura 124 – Detalhe de sistema construtivo com parede dupla em peça maciça de madeira-----	145
Figura 125 – Cobertura de edificação no Parque do Mindu, em Manaus – AM, e em restaurante em Caldas Novas – GO; as estruturas de madeira sobre plantas circulares remetem à arquitetura indígena-----	147
Figura 126 – Maquete de residência e casa na árvore, do artista plástico Kracjberg em Nova Viçosa – BA, da autoria de Zanine Caldas-----	147
Figura 127 – Estrutura de cobertura de piscina olímpica em madeira laminada colada com vão de 20m, em Porto Alegre-----	148
Figura 128 – Coberturas de teatro em Santa Catarina com madeira laminada colada e de hangar no Paraná com arcos treliçados de madeira-----	148
Figura 129 – Templo de Parthenon na Grécia, onde se observa a presença marcante da estrutura trilitica na concepção arquitetônica-----	157
Figura 130 – Vistas interna e externa do Clube Naval de Brasília, onde a estrutura de madeira define espaços, confere imponência e contribui para integrar a obra arquitetônica à paisagem do lago-----	162
Figura 131 – Vistas externas do Centro de Visitantes do Jardim Botânico de Brasília, destacando o sistema construtivo em gaiola de madeira-----	165

Figura 132 – Vistas externas do CENAFLOR, com as “caixas” de alvenaria e madeira apoiadas sobre a estrutura de madeira roliça-----	165
Figura 133 – A presença da estrutura treliçada metálica demonstra a limitação do sistema construtivo em relação à necessidade de grandes vãos livres-----	166
Figura 134 – Perspectiva estrutural do CENAFLOR, apresentando o sentido de orientação da estrutura principal em madeira roliça e a possibilidade de expansão em “pórticos” com pavimentos em diferentes níveis-----	167
Figura 135 – O sistema estrutural se apresenta de forma diversificada nas fachadas, sugerindo ou expondo a solução construtiva do CENAFLOR-----	167
Figura 136 – Detalhe do encontro do pilar com peças do corrimão e passagem de tubulação sob o mezanino: o emprego do enxerto (“bacalhau”) demonstra a falta de observação do rigor exigido pela obra em madeira, que induz ao uso de soluções simplistas, resultando na desvalorização do edifício-----	168
Figura 137 – O rigor da execução em madeira determinou esta alteração: o trecho de vedação, inicialmente projetado em madeira, foi executado em alvenaria, que não exige tanta precisão e se “molda” no espaço disponível-----	169
Figura 138 – Falta de detalhamento para soluções de amarração entre estrutura e vedações e de passagem de tubulações compromete e desvaloriza a edificação de madeira; no Centro de Visitantes as frestas permitem que a poeira e a água das chuvas invada os ambientes internos causando transtornos-----	170
Figura 139 – Detalhe da estrutura de cobertura em arcos de madeira no CENAFLOR: o desenho resultante das exigências estruturais pode e deve ser explorado como um componente da estética arquitetônica-----	170
Figura 140 – Vistas do Centro de Visitantes, destacando a presença da estrutura de madeira na composição arquitetônica-----	171
Figura 141 – Vistas externa e interna do CENAFLOR, onde se observa a integração entre arquitetura e estrutura que caracteriza e distingue as obras em madeira-----	172

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no Estado de São Paulo, em 2001-----	26
Tabela 2 – Materiais estruturais / dados comparativos-----	37
Tabela 3 – Utilização da madeira e derivados nas edificações-----	39
Tabela 4 – Dimensões dos principais produtos de madeira serrada-----	42
Tabela 5 – Dimensões das principais peças de madeira beneficiada-----	43
Tabela 6 – Coeficientes de condutibilidade térmica de alguns materiais-----	76
Tabela 7 – Coeficientes de variação médio de espécies da Amazônia-----	85
Tabela 8 – Programas de avaliação do desempenho dos materiais e das edificações por critérios de sustentabilidade, na América do Norte-----	88
Tabela 9 – Princípios básicos dos “edifícios verdes” (<i>green buildings</i>) na América do Norte-----	89
Tabela 10 – Sistemas construtivos contemporâneos em madeira-----	99
Tabela 11 – Classificação dos sistemas construtivos em madeira a partir dos processos de fabricação-----	100
Tabela 12 – Classificação dos sistemas construtivos em madeira (literatura internacional)-----	101
Tabela 13 – Classificação da construção em painéis na França-----	112
Tabela 14 – Classificação de treliças de madeira-----	117
Tabela 15 – Principais sistemas construtivos em madeira no Brasil-----	146
Tabela 16 – Princípios para a concepção e execução de edificações em madeira---	152
Tabela 17 – Categorias de relação entre as formas arquitetônica e estrutural-----	160

ABREVIATURAS E SIGLAS

ABIMCI – Associação Brasileira da Indústria de Madeira Processada Mecanicamente

ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas

ASTM – *American Society for Testing and Materials*

CATED – *Centre d' Assistance Technique et de Documentation*

CENAFLO – Centro Nacional de Apoio ao Manejo Florestal

CRIT – *Centre Régional d' Innovation et de Transfert de Technologie pour les Industries du Bois*

CWC – *Canadian Wood Council*

IBAMA – Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis

IBDF – Instituto Brasileiro do Desenvolvimento Florestal

INCRA – Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária

IPT – Instituto de Pesquisas Tecnológicas

LIGNUM – *Union Suisse em Faveur du Bois*

LPF – Laboratório de Produtos Florestais

NFPA – *National Fire Protection Agency*

UNESCO – Organização das Nações Unidas para a Educação, a Ciência e a Cultura

CAPÍTULO I

1. Introdução

A madeira é um dos materiais mais versáteis utilizados pela humanidade ao longo dos tempos, supondo-se que existam cerca de 10.000 usos diferentes, desde pequenos objetos como palitos de dentes até instrumentos musicais, embarcações, edificações, automóveis e aviões.

As edificações em madeira estão entre as mais antigas formas de abrigo realizadas pela humanidade, sendo este material responsável por alguns dos mais belos edifícios construídos ao longo da história. As formas de concepção evoluíram ao longo do tempo, representadas pelo aprimoramento das soluções projetuais e pelo maior domínio sobre o material.

Ao contrário do que se supõe, também é um material extremamente durável, de forma que há construções de madeira milenares, sendo superadas somente pelas construções em pedra. No Japão e na Escandinávia é possível se encontrar edifícios com mais de 1.000 anos de idade em madeira.

Fatores culturais e ambientais fizeram com que a tradição de se construir em madeira fosse transmitida de gerações em gerações, e o posterior desenvolvimento tecnológico deu aos países de clima temperado do hemisfério norte a supremacia no projetar e construir com o material. De acordo com CARUANA (citado por BORGES, 2002), nos Estados Unidos cerca de 74% dos metros quadrados habitáveis são feitos de madeira, enquanto que no Canadá este percentual sobe para 94% das moradias existentes.

Na América Latina e especialmente no Brasil, vários fatores que certamente incluem a falta de cultura e tradição, produziram um resultado inverso, ou seja, criou-se um preconceito muito grande em relação às obras de madeira. Segundo RODRIGUES (citado por BORGES, 2002), “Não só os

brasileiros, mas os latinos de forma geral, acham que a madeira deve ser empregada apenas em detalhes da construção, como as esquadrias”.

Desta forma, o problema aqui abordado diz respeito ao fato de que o tema do projeto e construção em madeira ainda é ignorado no Brasil, país onde a vocação florestal manifesta-se inclusive no seu nome, que tem origem em uma espécie madeireira outrora abundante em nossa região. Fatores diversos contribuíram para a inexistência de uma cultura “madeireira”, sendo o uso do material cercado por desinformação e preconceito, chegando a ponto de, mesmo sendo o único material renovável dos canteiros de obras, seu uso ser considerado “antiecológico”. CARUANA (citado por BORGES, 2002) aponta a responsabilidade dos lobbies do concreto e do metal, hoje nas mãos de poucos fabricantes, de forma que as normas técnicas e os programas universitários foram feitos sob a orientação e a serviço das indústrias do cimento e das siderúrgicas, consideradas há várias décadas indústrias estratégicas para o crescimento econômico do Brasil.

No entanto, é inegável a constatação de que uma grande parcela da população brasileira vive em edificações de madeira. Segundo BITTENCOURT (1988), cidades como Presidente Prudente, no oeste do Estado de São Paulo, possuíam em 1986 cerca de 32% de suas edificações urbanas construídas predominantemente em madeira, sendo 26% exclusivamente de madeira. Estima-se que estas porcentagens devam ser maiores em cidades do sul do país e também da região Norte.

Cabe, portanto contribuir para reverter a imagem negativa das construções em madeira no país, indo além de apregoar algumas vantagens inerentes ao material como sua trabalhabilidade, excelente relação entre peso e resistência mecânica, baixo consumo energético em seu beneficiamento, reaproveitamento e renovabilidade.

A difusão do material e suas qualidades para a construção civil passam pela formação dos profissionais envolvidos no processo de produção da edificação em madeira, desde arquitetos e projetistas até os profissionais dos canteiros de obras. No entanto o ponto de partida está na concepção e

elaboração do projeto arquitetônico, que será o responsável por desencadear todo o processo que culminará com a obra pronta.

A literatura técnica nacional oferece informações variadas sobre o material, desde as características físicas e mecânicas até os procedimentos de secagem e preservação, mas raramente se refere à concepção do projeto em madeira, item essencial para promover a sua familiarização entre os profissionais projetistas e difundir o seu uso racional e sustentável na construção civil. Segundo BITTENCOURT (1995), praticamente inexitem pesquisas teóricas sobre a concepção da arquitetura em madeira, e as experiências relatadas atendem a critérios específicos e soluções localizadas, que não abordam o contexto deste tema.

O aspecto aqui apresentado é o do projeto de arquitetura em madeira, abordando as dificuldades com que se depara o projetista ao experimentar o uso do material em seu trabalho, e tentando identificar procedimentos que contribuam para facilitar e enriquecer esta experiência. Para tanto, alguns questionamentos relativos ao tema serão analisados:

- 1) Quais são as principais características do material madeira e sua aplicabilidade para a construção civil?
- 2) Quais são os parâmetros para identificar a madeira como um material “antiecológico” ou não?
- 3) Quais são os sistemas construtivos em madeira utilizados no Brasil e no exterior?
- 4) A concepção dos sistemas construtivos em madeira exige metodologia específica?
- 5) Como se aplica a relação entre arquitetura e estrutura nas obras em madeira e qual a sua contribuição para a concepção arquitetônica?

Este trabalho pretende contribuir para um aprofundamento no tema da concepção arquitetônica em madeira, de forma que possa ser familiarizado pelos profissionais da área de projeto. Baseado nas considerações mencionadas, a hipótese deste trabalho está expressa na seguinte questão:

“A prática do projeto em madeira, diferentemente dos sistemas convencionais em alvenaria e concreto, exige procedimentos específicos que se refletem na execução da edificação, e a relação entre a concepção arquitetônica e estrutural tem um papel decisivo na consolidação desta prática”.

Os procedimentos metodológicos norteadores do trabalho serão:

- a) Levantar e analisar aspectos da madeira como material de construção e sua utilização nos canteiros de obras no Brasil, englobando a falta de normatização e qualificação, a questão cultural, durabilidade e comportamento ao fogo, suas propriedades físicas e mecânicas, qualidades como material construtivo e os inúmeros produtos e derivados da madeira para a construção civil;
- b) Identificar dados comparativos sobre o desempenho da madeira em relação a outros materiais no tema da sustentabilidade, tais como balanço energético, impacto sobre o meio ambiente e outros;
- c) Levantar e sistematizar informações relativas a sistemas estruturais e construtivos em madeira existentes no Brasil e no exterior;
- d) Verificar e analisar os princípios e metodologia específicos para a concepção arquitetônica em madeira;
- e) Analisar a contribuição da interação entre a concepção arquitetônica e estrutural para o projeto em madeira;
- f) Efetuar estudo comparativo entre duas obras de madeira, objetivando identificar os princípios abordados e seu impacto nestas obras.

Os capítulos apresentados neste trabalho seguem um raciocínio de apresentação do tema a partir da realidade atual, de preconceitos e subutilização do material, passando por suas características intrínsecas, suas qualidades como material construtivo, as possibilidades de sistemas construtivos e abordagem específica do projeto de arquitetura em madeira.

O panorama apresentado no capítulo II explora os aspectos negativos do atual uso da madeira na construção civil brasileira, mas os contrapõe com a apresentação das inúmeras qualidades do material, algumas exclusivas, e as

possibilidades tecnológicas a partir dos diversos produtos derivados disponíveis no mercado nacional e internacional.

O capítulo III expõe as propriedades físicas e mecânicas da madeira, como um recurso de origem biológica que demanda procedimentos específicos para o aproveitamento de suas potencialidades como material estrutural e construtivo. Complementando o capítulo, é feita uma abordagem sobre aspectos da sustentabilidade do seu uso, englobando o impacto sobre o meio ambiente do seu processo de extração, beneficiamento e utilização na construção civil.

Trata-se de uma abordagem de extrema relevância no atual contexto de transformações ambientais em que vivemos, e onde, ao contrário do que se supõe, a madeira possui um desempenho excepcional que a coloca como um dos materiais de construção ambientalmente mais corretos. Este tema adquire um peso maior quando aplicado à realidade brasileira, onde o rótulo de construção “antiecológica” imposto à madeira não condiz com o que demonstra todo o conhecimento produzido sobre o assunto, e apenas reflete uma conjuntura de descontrole sobre o uso dos recursos naturais do país.

No capítulo IV estão descritos os variados sistemas construtivos em madeira utilizados no Hemisfério Norte e no Brasil, onde se percebe as diversas possibilidades construtivas com o material, sendo muitas delas ainda desconhecidas em nossa área da construção.

O capítulo V discorre sobre o questionamento básico desta dissertação, a concepção arquitetônica da obra em madeira como ponto de partida para a familiarização dos profissionais com o material e o conseqüente estímulo ao seu uso. A partir do reconhecimento de que esta concepção possui especificidades, são descritos quatro princípios básicos para se conceber e executar a obra em madeira, que são a dissociação entre estrutura e vedações, flexibilidade e evolutividade das técnicas construtivas, a questão do rigor da execução e a importância do detalhamento na obra em madeira.

Complementando esta abordagem, é analisada a relação entre a concepção arquitetônica e estrutural e suas implicações na obra em madeira. Sua importância decorre da observação de que na obra em madeira a

concepção da estrutura possui grande impacto e resulta em uma interferência significativa sobre a proposta arquitetônica, merecendo uma consideração e interpretação ainda nos primeiros momentos de elaboração do projeto.

Ao final, é apresentado um estudo comparativo entre duas edificações em madeira, procurando-se identificar e avaliar o atendimento aos princípios preconizados para a concepção e execução da obra em madeira, a serem descritos.

O estudo não faz juízo subjetivo de ordem estética dos edifícios, estando concentrado na análise técnica de aspectos como a dissociação entre estrutura e vedações, flexibilidade e evolutividade das técnicas construtivas empregadas, a questão do rigor da execução e a importância do detalhamento na obra em madeira. Busca-se assim avaliar o resultado da aplicação destes princípios para o conjunto das obras, sinalizando para a possibilidade de desenvolvimento tecnológico e construtivo das edificações em madeira no Brasil com a adoção destas diretrizes no projeto de arquitetura.

CAPÍTULO II

2. A Madeira como material de construção

Neste capítulo é abordado o papel da madeira como material para a construção civil, englobando as suas múltiplas finalidades como elemento estrutural e construtivo. Enfocando a realidade brasileira, destacam-se os usos pouco nobres e secundários na edificação, decorrentes de desinformação e preconceito, e que não aproveitam de forma racional e eficiente as inúmeras vantagens do material e seus diversos subprodutos, sendo estes resultado do intenso desenvolvimento tecnológico verificado no Hemisfério Norte.

2.1. Usos múltiplos e subutilização na construção civil

O uso da madeira na construção civil no Brasil é caracterizado por suas múltiplas finalidades, sendo empregada em usos temporários como cimbramentos (para estruturas de concreto armado), andaimes e escoramentos, e de forma definitiva em estruturas de coberturas, postes, dormentes, estacas e cruzetas. O material também é intensamente empregado na fabricação de componentes da edificação, como esquadrias, mobiliário, painéis e divisórias, lambris, forros e pisos.

Segundo LAHR (1983), há vários níveis de desenvolvimento na sua utilização, ou seja, ao lado de indústrias produzindo chapas de excelente qualidade há enormes deficiências em muitos setores ligados ao emprego da madeira na construção civil. Os produtos da madeira utilizados neste setor englobam desde componentes com pouco ou nenhum processamento, como a madeira roliça, até outros com diferentes níveis de beneficiamento como madeira serrada, painéis, laminados e madeira com preservativos.

O seu emprego como principal elemento estrutural e construtivo da edificação ainda representa uma pequena parcela nos canteiros de obras em nosso país. De acordo com o IPT (2003), o uso em estruturas de cobertura, ou seja, na forma de madeira serrada, representando um baixo valor agregado, corresponde à maior parte da madeira consumida no Estado de São Paulo, que é o maior consumidor do material proveniente da Amazônia. De acordo com a Tabela 1, o uso da madeira em casas pré-fabricadas é bastante restrito, retratando a desvalorização do material para usos nobres.

TABELA 1 – Consumo de madeira serrada amazônica pela construção civil, no Estado de São Paulo, em 2006.

Uso na construção civil	Consumo (%)
Estruturas de cobertura	42
Andaimes e fôrmas para concreto	28
Móveis populares	15
Forros, pisos e esquadrias	11
Casas pré-fabricadas	3
Móveis finos e decoração	1

Fonte: Construção & Mercado (2007).

Concorre para esta situação a baixa qualidade das obras em madeira, que estão concentradas em edificações residenciais de baixo e de alto custo, com pouca aplicação em edificações não-residenciais. Resulta daí que a maioria destas edificações é de propriedade de particulares, o que também impede que possam ser observadas e assimiladas pelo público.

A contribuição das propostas construtivas em madeira no Brasil, visando solucionar a demanda popular acaba situando-se no vazio entre os extremos, de um lado a sub-habitação como as favelas, as habitações tradicionais das regiões quentes e úmidas e de outro as habitações luxuosas não possuidoras de qualquer preocupação com a racionalização da construção (Bittencourt, 1995 p.3).

A imagem da casa de madeira no Brasil está muito associada a uma moradia provisória e de baixa durabilidade. A constatação de que uma grande parcela da população brasileira está abrigada em casas de madeira não significa que estas atendam aos requisitos de qualidade necessários; muito provavelmente estas moradias não estarão atendendo às exigências dos usuários e sim contribuindo para reforçar a imagem extremamente negativa da utilização da madeira na construção civil brasileira.

A consequência mais nefasta do desprezo pela madeira como material construtivo é a desconsideração da sua imensa disponibilidade na Região Amazônica, que seria capaz de zerar o déficit habitacional brasileiro, estimado em cerca de sete milhões de moradias.

Tomando-se como exemplo o projeto de habitação popular do LPF/IBAMA, ilustrado na Figura 1, com consumo aproximado de quinze metros cúbicos de madeira incluindo as perdas devidas ao rendimento na serraria, e considerando uma estimativa de estoque na floresta amazônica que gira em torno de 40 bilhões de metros cúbicos, chega-se a incrível porcentagem de 0,3% deste total para oferecer moradia para todos os brasileiros que não a possuem.



Figura 1 – Habitações construídas em Rondônia segundo o projeto do LPF/IBAMA.

Fonte: IBAMA (2001).

Os reflexos desta imagem negativa são extremamente prejudiciais, pois, não obstante as suas qualidades como material estrutural, competindo com o concreto e o aço, há bastante preconceito e desinformação quanto à resistência e durabilidade da madeira.

Esta idéia foi sendo formada ao longo do tempo porque as indústrias do aço e do concreto, que sempre foram em menor número e de maior porte que as indústrias de madeira tiveram um grande investimento em pesquisas, com seus resultados sendo rapidamente divulgados e acompanhados pelas normas de cálculo, propiciando a elaboração de projetos com alto grau de qualidade técnica (Calil, 1999 p.1).

As indústrias da madeira (serrarias), existentes em todas regiões do país, se caracterizam pelo uso desordenado e sem critérios técnicos sobre o material, em ambientes onde se trabalha com maquinário ultrapassado e falta de assistência técnica, desperdício de matéria-prima, condições de trabalho insalubres e origem não-sustentável do recurso florestal.

2.1.1. A questão da normatização

Um dos aspectos que mais contribuem para este atraso tecnológico dos setores de produção e comércio de madeiras, que se reflete nos canteiros de obras, é a desconsideração das normas técnicas existentes principalmente no contexto do mercado interno, pois a madeira destinada à exportação tem de se adequar às exigências técnicas dos compradores provenientes em sua maioria dos países desenvolvidos.

Sobre a existência de normas para pinus e para madeiras de folhosas (angiospermas – dicotiledôneas), registradas na ABNT, atualmente, a classificação só é praticada na madeira destinada à exportação para os países desenvolvidos. No mercado nacional a madeira é vendida de forma não selecionada, a chamada “bica corrida”, ou então, segundo classificações genéricas como “primeira”, “extra”, etc., que freqüentemente são motivos de discordância entre compradores e vendedores (Remade, 2007 p.10).

A ausência de classificação e de padronização é um dos motivos do preconceito, do desperdício e da sub-utilização da madeira nos canteiros de

obras, representando uma grande desvantagem em relação aos outros materiais da construção e motivo de queixas do setor da construção civil.

Decorre daí que, em virtude da grande variabilidade especialmente de madeiras tropicais, que são identificadas pelos nomes vulgares, espécies com características físicas semelhantes como cor e densidade, mas com propriedades mecânicas e de durabilidade natural distintas, sejam comercializadas como espécies semelhantes.

Segundo o IPT (2003), há processos de seleção de madeira tecnicamente mais elaborados, como o utilizado na norma NBR 7190 “Projeto de Estruturas de Madeira” da ABNT, onde foram estabelecidas três classes de resistência – C 20, C 25 e C 30 – para as madeiras de coníferas (pinus e pinho-do-Paraná, por exemplo), e quatro classes – C 20, C 30, C 40 e C 60 – para as madeiras de dicotiledôneas (ipê, jatobá, maçaranduba, etc).

Esta classificação foi estabelecida a partir das propriedades físicas e mecânicas das espécies, e elimina a necessidade de se especificar a espécie, no entanto é desconsiderada e mesmo desconhecida pelo setor madeireiro.

2.1.2. A questão cultural e a falta de qualificação

Desta forma, ocupa a madeira um papel secundário em nossos canteiros de obras, em virtude da ausência de desenvolvimento tecnológico como o verificado com outros materiais, o que também remonta a fatores como a falta de tradição, o desconhecimento de suas propriedades, a escassez de profissionais habilitados e toda a sorte de preconceitos relacionados à sua origem como recurso florestal.

De acordo com INO (1992), a falta de tradição cultural é o grande responsável pelos preconceitos contra a habitação de madeira, no entanto reconhecer estes preconceitos significa reconhecer que eles decorrem do desconhecimento da tecnologia da madeira.

Dentre outros fatores citados, deve-se ressaltar a inexistência de mão-de-obra qualificada, que resulta da formação técnica e acadêmica ineficiente. De acordo com BITTENCOURT (1995), a formação escolar de nível médio e

superior para os profissionais da área de madeira no Brasil é caracterizada por grandes lacunas, podendo-se concluir que os agentes desta área são autodidatas ou formados pelas empresas.

(...) tem sido usual – mas não ideal – que as estruturas de madeira sejam concebidas por oficiais carpinteiros, muitas vezes bem intencionados, mas não preparados para esta tarefa. Outro exemplo é a existência de inúmeras marcenarias que trabalham com equipamentos ultrapassados e mão-de-obra pouco qualificada, prejudicando a qualidade dos produtos finais. Os problemas daí decorrentes incentivam a formação de uma mentalidade distorcida por parte dos usuários (Calil, 2003 p.6).

De fato, a questão da qualificação na área de madeira é bastante deficiente, não obstante o estágio de desenvolvimento tecnológico verificado em muitas indústrias do setor. Ou seja, enquanto há linhas de produção com equipamentos de última geração, sejam plantas automatizadas de serragem de madeira ou de confecção de painéis derivados da madeira, onde o operário é treinado para determinadas tarefas operacionais, por outro lado há um número incalculável de pequenas e médias carpintarias e marcenarias trabalhando com equipamento defasado, onde o profissional se torna capacitado apenas pela prática e sem racionalização do processo produtivo.

Segundo BITTENCOURT (1995), esta realidade demonstra o total desinteresse pela formação dos profissionais, desde o setor industrial madeireiro que não exige mão-de-obra especializada, passando pelo sistema educacional universitário vigente que não prioriza o material madeira e suas aplicações nos conteúdos dos cursos e não dá atenção aos cursos profissionalizantes, destinados à formação dos profissionais desta área.

Há ainda a idéia amplamente divulgada que associa o uso da madeira à destruição de florestas, ignorando-se que o manejo florestal é um instrumento eficiente e sustentável para garantir a manutenção dos recursos florestais para as gerações futuras. Este assunto será tratado no item 3.2.

2.2. Os mitos da falta de durabilidade e do comportamento ao fogo

Outro fator sobre o qual há desinformação é o que se refere à degradação e conseqüente durabilidade da madeira. Assim como todos os materiais de construção, a madeira pode degradar-se ao longo do tempo. Por ser um material orgânico e natural, constituído por celulose e lignina, pode ser degradado em determinadas condições de umidade, temperatura e oxigênio.

A degradação da madeira é resultado do ataque de fungos e insetos xilófagos, que podem invadir determinadas áreas da madeira e se não são detectados e combatidos a tempo, destroem suas células e afetam suas propriedades físicas e químicas, reduzindo drasticamente sua resistência estrutural (Cartagena, 1982 p.1-31).

A durabilidade natural da madeira é uma das características que lhe permite resistir a esta degradação; especialmente no caso de espécies tropicais há madeiras com notável resistência biológica e cujo uso é mais indicado para situações de maior exposição aos agentes degradadores, que justamente são mais agressivos nestas regiões.

No Brasil, as condições estáveis de temperatura e a elevada umidade relativa do ar conferem um perfeito habitat ao desenvolvimento de fungos e insetos, que têm como alimentação básica a própria madeira. Na floresta tropical, a atividade desses organismos é tão intensa que o processo de deterioração é efetivado, em certas situações, até mesmo em árvores vivas (Alves et al., 2002 p.7).

Quanto às espécies de baixa durabilidade natural, é necessário o emprego de técnicas preventivas e tratamentos de preservação para o seu uso nas edificações. Com estes procedimentos, pode-se alcançar melhores níveis de durabilidade, semelhantes aos das espécies de alta durabilidade natural.

Como exemplo de técnica preventiva, há soluções construtivas para peças destinadas a pilar, ou seja, em contato direto com o solo, que é considerada a

situação de maior exposição do material. Exemplos de diferentes soluções de fixação do pilar, sendo engastado em bloco de concreto para madeiras de alta durabilidade natural, e fixado em chapas metálicas afastadas do solo, para madeiras de baixa durabilidade natural, estão ilustrados na Figura 2.



Figura 2 – Exemplos de pilar fixado com chapas e engastado em bloco de concreto. Fonte: MELLO (2003/2005).

De acordo com BITTENCOURT (1995), nos países possuidores de alta tecnologia em construções de madeira, pode-se encontrar na literatura técnica o mapeamento da incidência de agentes biológicos por região, além da normalização das classes de risco, servindo de instrumento de orientação aos profissionais para os procedimentos a serem tomados ao nível de concepção, fabricação, uso e manutenção.

A Figura 3 apresenta um exemplo de procedimentos a serem adotados segundo orientação de normas francesas do CATED (Centro de Assistência Técnica e de Documentação) para a preservação eficaz de uma obra em madeira, cabendo ressaltar que a França é um dos países mais evoluídos na utilização criteriosa da madeira na construção civil.

Quanto aos métodos de preservação da madeira, segundo ALVES et al. (2002) podem ser divididos em métodos sem pressão e métodos com pressão. Dentre os métodos sem pressão mais conhecidos estão a fumigação (com uso

de gás tóxico), o pincelamento e pulverização, as imersões rápida e prolongada em soluções preservativas, o banho quente-frio (imersão que utiliza o choque térmico para a absorção do preservativo) e a substituição de seiva (aproveitamento do efeito de capilaridade em madeiras recém cortadas para penetração do preservativo).

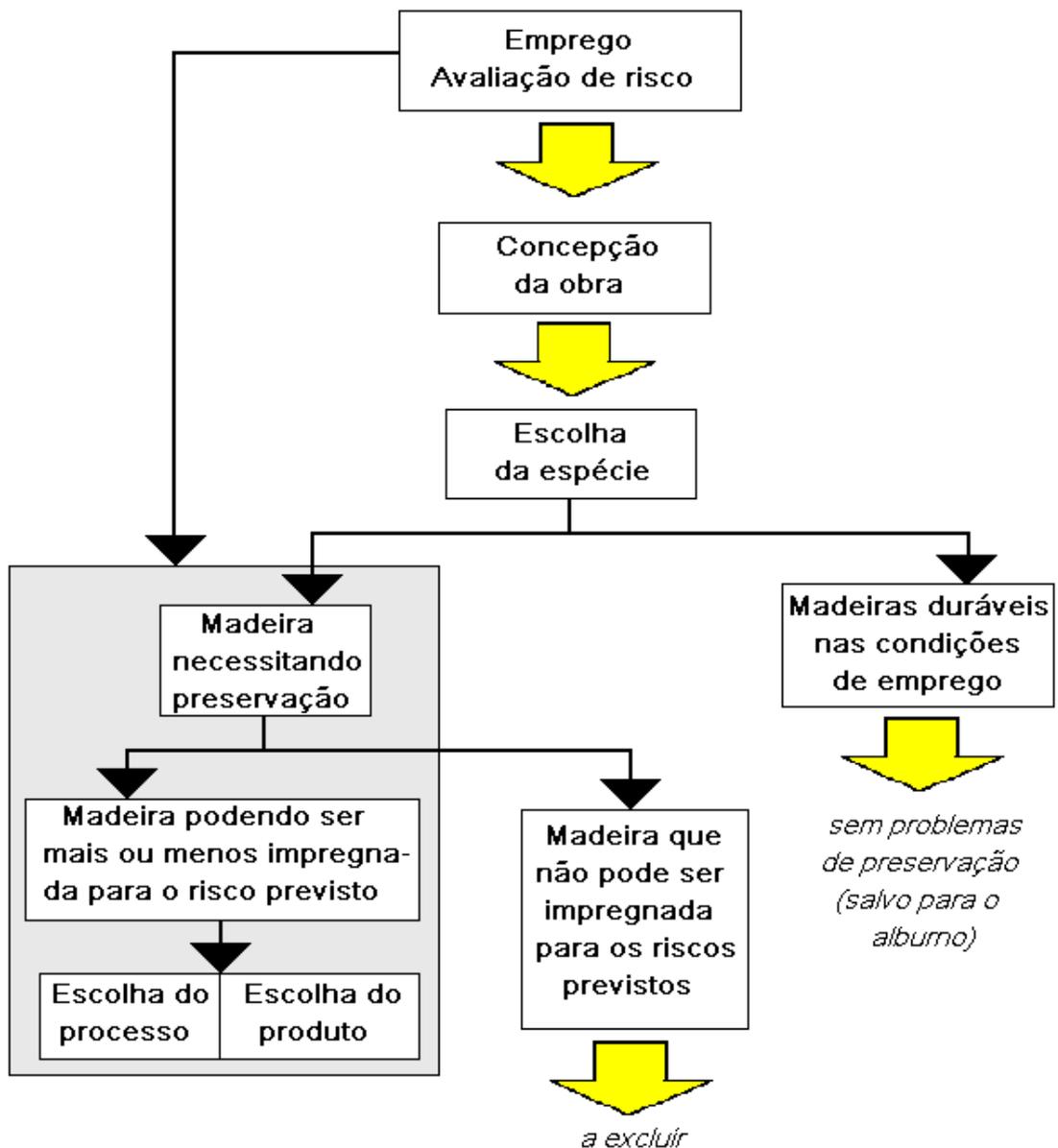


Figura 3 – Árvore de decisão para preservação da madeira. Fonte: BITTENCOURT apud CETAD (1995).

Os métodos de pressão, considerados bem superiores aos métodos sem pressão, possuem como desvantagens a necessidade de usinas de tratamento, o transporte da madeira até as usinas e mão-de-obra especializada. São normalmente classificados em processos de célula cheia e de célula vazia, sendo esta diferença em função da distribuição do preservativo nas células da madeira.

A preservação ou imunização da madeira tem por objetivo modificar a composição química deste material, tornando-o não apetecível aos organismos biológicos. O efeito protetor é obtido tornando a madeira venenosa ou repelente aos elementos biológicos que a atacariam se não estivesse preservada (Cartagena, 1982 p.2-15).

Além da degradação biológica, outras causas de deterioração da madeira são devidas aos desgastes mecânicos (ex: dormentes, escadas, pontes), exposição a agentes químicos como ácidos e sais, e a degradação física resultante da exposição às intempéries e ao fogo.

Segundo FERNANDEZ-VILLEGAS (1983), a ação do intemperismo se verifica principalmente pela alteração de cor de suas camadas superficiais, que se tornam acinzentadas devido à incidência de radiação infravermelha e ultravioleta do sol. Este tipo de deterioração é relativamente fácil de se evitar, através do uso de produtos de acabamento como vernizes e “stains”, que atuam como barreiras aos raios do sol e retardam a penetração da umidade, restringindo também as alterações dimensionais que deterioram as camadas superficiais das fibras.

Quanto à resistência ao fogo, a madeira é considerada um material de baixa resistência, decorrente da falta de conhecimento do seu comportamento quando submetida a altas temperaturas e quando exposta à chama. Ocorre que, sendo bem dimensionada, a madeira se torna mais resistente que outros materiais estruturais.

Uma peça de madeira exposta ao fogo torna-se um combustível para a propagação das chamas, porém, após alguns minutos, uma camada mais externa da madeira se carboniza tornando-se um isolante térmico, que retém o calor, auxiliando, assim, na contenção do incêndio, evitando que toda a peça seja destruída (...) Outra característica importante (...) é o fato de não apresentar distorção quando submetida a altas temperaturas, tal como ocorre com o aço, dificultando assim a ruína da estrutura (...) (Calil, 1999 p.12).

Quanto ao aço e ao concreto, apesar de não serem combustíveis, perdem a resistência sob altas temperaturas, reduzindo severamente a capacidade de apoio e proteção, além da produção de muita fumaça no caso do concreto. De acordo com CWC (2002), estudos realizados sobre causas de incêndios revelam que os materiais de acabamento e instalações são os grandes responsáveis por alimentar o fogo e produzir fumaça, que causam aproximadamente cerca de 90% das mortes, sendo que as mortes em residências atribuídas a colapso das estruturas são de cerca de 0,2%.

A segurança contra o fogo envolve muito mais do que escolher o material construtivo que será utilizado. Muitos outros fatores como o uso da edificação, o número de pessoas usuárias, os sistemas de detecção e prevenção de incêndio e com que facilidade as pessoas podem sair do local, também têm que ser considerados.

Não há método infalível de segurança contra incêndio em edificações. Segurança contra incêndio é um conceito, e nenhuma fórmula pode identificar ou garantir que um edifício está seguro contra o fogo (CWC, citando NFPA, 2002, p.4).

A questão da durabilidade é, portanto uma questão tecnológica, que envolve diferentes procedimentos para qualquer material utilizado na construção civil. O que ocorre em relação à madeira é normalmente negligência e falta de conhecimento que resultam na imagem desfavorável da durabilidade do material.

Quando os procedimentos de manutenção e preservação da edificação são efetivados, aliados a conceitos de projeto que os fortalecem, o resultado é a durabilidade da obra, independentemente do material construtivo utilizado.

Como exemplo da durabilidade do material cite-se a obra em madeira mais antiga do mundo, o templo japonês Horyuji, datado do ano 607 d.C. e patrimônio da humanidade tombado pela UNESCO, com mais 1.300 anos de idade e ainda hoje se encontrando em bom estado de conservação (Figura 4).



Figura 4 – Templo Horiyji, no Japão. Fonte: ORIENTALARCHITECTURE (1998).

2.3. Um material com características únicas

A despeito do panorama de desenvolvimento tecnológico inexpressivo das edificações em madeira em nosso país, trata-se de um material com características únicas para a construção civil. Cite-se, por exemplo, que é o único material com o qual se pode construir integralmente uma edificação, desde a estrutura, vedações, esquadrias, mobiliário, pisos, revestimentos, até a cobertura e elementos decorativos em geral.

A madeira é o único recurso natural renovável com propriedades estruturais e um dos materiais mais resistentes por unidade de peso, sendo fácil de trabalhar, resultando em grande diversidade de formas e de seções. Por ser relativamente leve, implica em baixo custo de transporte e montagem, e por ser biodegradável os resíduos podem ser totalmente aproveitados (Melo, 2004 p.1).

De fato, um dos principais aspectos que favorecem o material é sua resistência em relação à densidade, que é quatro vezes superior ao aço e dez vezes superior ao concreto, conforme apresentado na Tabela 2.

TABELA 2 – Materiais estruturais / dados comparativos.							
MATERIAL	A	B	C	D	E	F	G
Concreto	2,4	1.920	20	20.000	96	8	8.333
Aço	7,8	234.000	250	210.000	936	32	26.923
Madeira conífera	0,6	600	50	10.000	12	83	16.667
Madeira dicotiledônea	0,9	630	75	15.000	8	83	16.667

Fonte: Calil Jr. e Dias (1997).

As colunas da Tabela 2 representam:

A: densidade do material, g/cm³ – para a madeira, referente à umidade de 12%;

B: energia consumida na produção, MJ/m³ – para o concreto, a energia provém da queima de óleo; para o aço, queima do carvão; para a madeira, energia solar;

C: resistência, MPa – para o concreto, se refere à resistência característica à compressão, produto usinado; para o aço, trata-se da tensão de escoamento do tipo ASTM A – 36; para a madeira, são os valores médios da resistência à compressão paralela às fibras, umidade de 12%, conforme a NBR 7190/1997, da ABNT (1997);

D: módulo de elasticidade, MPa – mesma descrição da coluna C;

E: relação entre os valores da energia consumida na produção e da resistência;

F: relação entre os valores da resistência e da densidade;

G: relação entre os valores do módulo de elasticidade e da densidade.

A leveza do material resulta em baixos custos de transporte e montagem, o que se torna bastante significativo em processos construtivos com base na pré-fabricação. Basta se comparar, por exemplo, estes custos com os de um sistema de pré-fabricação de pré-moldados de concreto. Segundo GOTZ et al. (1983), os fatores que favorecem o emprego da madeira na construção são:

- **É um material relativamente leve**
- **É um material de grande trabalhabilidade**
- **Possui propriedades físicas vantajosas, com o isolamento térmico**
- **Existem inúmeros sistemas construtivos que podem ser executados com elementos em madeira**
- **A construção em madeira permite formas muitas vezes difíceis e às vezes impossíveis de serem executadas com outros materiais**

Fonte: a partir de Gotz et al. (1983).

Também em relação aos aspectos construtivos, a madeira é um material relativamente fácil de trabalhar com ferramentas simples, sendo possível a confecção de uma grande diversidade de seções e formas.

Outras vantagens da madeira são sua grande capacidade de absorver energia e resistir a impactos, sendo particularmente apropriada para estruturas de molhes, além de sua resistência a fadiga, suas características como isolante térmico e acústico, e a facilidade com que sua superfície pode ser pintada. Além disso, a madeira é um material biodegradável, não apresentando os problemas de eliminação de demolição próprios do concreto (Fernandez-Villega, 1983 p.9-10).

Cabe também acrescentar que nenhum outro material pode ser engenheirado e colado para se produzir peças mais rígidas, como é o caso da madeira laminada colada, ser engenheirado com resíduos do próprio material para se produzir peças estruturais e componentes, ter casas produzidas em uma fábrica e transportadas em caminhões, ou mesmo componentes que podem ser despachados em contêineres por todo o mundo.

2.4. Produtos da madeira para a construção

Na construção civil, o emprego da madeira pode se dar de duas formas básicas: de forma temporária, quando da execução da edificação, e de forma permanente como componente desta edificação. Como uso temporário, citam-se os tapumes, as fôrmas, as escoras e os barracões de obra.

Na forma permanente, o material é empregado em fundações (estacas cravadas), na estrutura e em vedações, revestimentos, esquadrias, mobiliário e cobertura. BITTENCOURT (1995) propõe uma classificação da utilização da madeira e seus derivados na construção de edificações (Tabela 3).

TABELA 3 – Utilização da madeira e derivados nas edificações.								
ELEMENTOS E COMPONENTES CONSTRUTIVOS		MADEIRA MACIÇA			DERIVADOS			Vigas e pilares laminados
		bruta	Serrada desdobro	Serrada usinada	Chapas			
					Aglomerada	Compensada (laminada)	Fibras prensadas	
Tapume								
Forma								
Escoramento								
Fundação								
Piso	Estrutura				XX	XX		
	Assoalho (piso)							
Vedação	Estrutura				XX	XX		
	Revest.interno							
	Revest.externo				X	X	X	
Portas	Folha				X	X	X	
	Batente							
Janelas	Folha				X	X	X	
	Batente							
forro								
Cobertura	Estrutura					XX		
	Telhas					X		

Fonte: Bittencourt (1995)

X – Possibilidade de uso em condições especiais de fabricação dos derivados.

XX – Na forma de painéis.

2.4.1. Madeira roliça e madeira serrada

A madeira na forma maciça foi durante muito tempo empregada nas edificações, tanto no Oriente quanto no Ocidente. Tanto na forma roliça quanto serrada, o seu uso se deu basicamente da maneira em que é obtida da árvore. A forma roliça esteve presente em grande parte das construções rústicas do passado, segundo o conceito citado por FERNANDEZ-VILLEGA (1983), onde a própria natureza indicava o uso, ou seja, a árvore viva sugeria a coluna e a árvore caída, a viga.

A madeira roliça é o produto com menor grau de processamento da madeira, consistindo de um trecho do fuste da árvore, obtido por cortes transversais ou mesmo sem corte, com aproveitamento total do fuste. Dependendo do uso previsto, nem mesmo a casca é retirada, como no caso de escoras e andaimes.

A madeira roliça também é empregada em postes de distribuição de energia e em estruturas de edificações residenciais e comerciais sendo normalmente tratada com preservativos. Há ainda as casas pré-fabricadas em toras, as chamadas *log homes*, conforme mostrado na Figura 5; este tipo de habitação é bastante popular na América do Norte e considerado de alto custo devido ao grande consumo de madeira.



Figura 5 – Execução de uma *log home* e casa finalizada no Estado do Oregon, EUA.

Fonte: MELLO (2006).

Quanto à forma serrada originou-se da madeira “lavrada”, que era cortada e entalhada com ferramentas manuais, até que as máquinas de corte (serras) pudessem ser agregadas a este processo, gerando os produtos atuais.

A madeira serrada é produzida em unidades industriais (serrarias), onde as toras são processadas mecanicamente, transformando a peça originalmente cilíndrica em peças quadrangulares ou retangulares, de menor dimensão. A sua produção está diretamente relacionada com o número e as características dos equipamentos utilizados e o rendimento baseado no aproveitamento da tora (volume serrado em relação ao volume da tora), sendo este função do diâmetro da tora (maiores diâmetros resultam em maiores rendimentos) (IPT, 2003 p.14).

Segundo CARTAGENA (1982), o tronco pode ser cortado de três formas: tangente aos anéis de crescimento, obtendo-se madeira de corte tangencial; perpendicular aos anéis, com o corte radial; e seguindo uma direção arbitrária, obtendo-se madeira de corte transversal ou oblíquo (Figura 6).

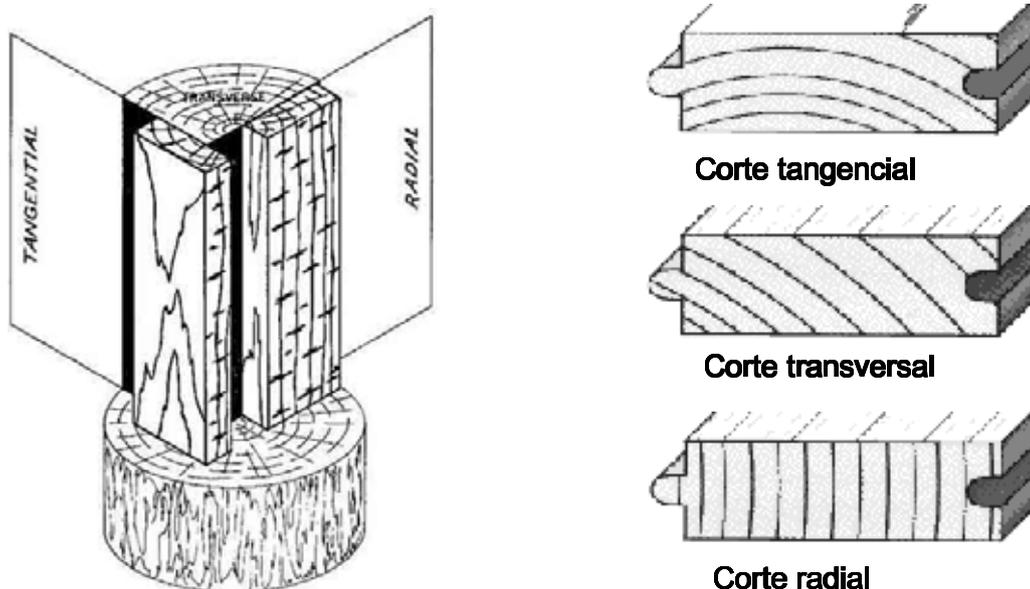


Figura 6 – Exemplos de tipos de peças de madeira serrada obtidos a partir do desdobro da tora. Fonte: AUBURN (2006).

Os produtos de madeira oriundos das serrarias no Brasil possuem uma grande diversidade, desde pranchas, pranchões, blocos, tábuas, caibros, vigas, vigotas, sarrafos, pontaletes, ripas e outros. De acordo com a NBR 7203 (1982), os principais produtos das serrarias estão descritos na Tabela 4.

TABELA 4 – Dimensões dos principais produtos de madeira serrada.			
Produtos	Espessura (mm)	Largura (mm)	Comprimento (mm)
Pranchão	maior que 70	maior que 200	variável
Prancha	40 - 70	maior que 200	variável
Viga	maior que 40	110 – 200	variável
Vigota	40 - 80	80 – 200	variável
Caibro	40 - 80	50 – 80	variável
Tábua	10 - 40	maior que 100	variável
Sarrafo	20 - 40	20 - 100	variável
Ripa	menor que 20	menor que 100	variável
Dormente	160	220	2,00 – 5,60
	170	240	2,80 – 5,60
Pontalete	75	75	variável
Bloco	variável	variável	variável

Fonte: Bittencourt (1995), citando a NBR 7203 (1982).

A madeira serrada é a forma mais utilizada na construção civil no Brasil, sendo intensamente empregada em estruturas de coberturas (Figura 7).



Figura 7 – Estruturas treliçadas de madeira amazônica no edifício-sede da superintendência do INCRA em Marabá – PA. Fonte: MELLO (2001).

A madeira beneficiada é definida como um subproduto proveniente da usinagem das peças serradas, num processo que agrega valor à estas peças. De acordo com o IPT (2003), neste processo são utilizados equipamentos com cabeças rotatórias providas de facas, fresas ou serras, que usinam a madeira dando a espessura, largura e comprimento definitivos, em operações como desengrosso, desempenho, destopamento, aplainamento, molduramento, torneamento, e ainda recorte, furação, respigado e outros.

A Tabela 5 apresenta as dimensões dos principais produtos usinados, de acordo com a NBR 7203 (1982).

TABELA 5 – Dimensões das principais peças de madeira beneficiada.	
Peça	Dimensões da secção transversal (mm)
Assoalho	20x100
Forro	10x100
Batente	45x145
Rodapé	15x150 ou 15x100
Taco	20x21

Fonte: Bittencourt (1995), citando a NBR 7203 (1982).

2.4.2. Madeira em lâminas

As lâminas de madeira, conhecidas como laminados, são produzidas a partir de um processo industrial onde as toras são cozidas e depois cortadas em lâminas. Segundo o IPT (2003), existem dois métodos para a produção de lâminas: o torneamento e o faqueamento. No primeiro, a tora é colocada em torno e as lâminas são destinadas a produção de compensados. No segundo, são produzidas fatias únicas originadas de madeiras decorativas de boa qualidade, com maior valor comercial, para serem utilizadas no revestimento de divisórias.

Atualmente, as lâminas de madeira também são bastante utilizadas para revestir pisos do tipo carpete de madeira, que é um substrato de compensado (HDF) revestido com lâmina de madeira natural. Sua instalação depende da

sua espessura, sendo que pisos de 2,5 a 4,0mm são colados sobre superfícies regularizadas, e pisos de 7mm de espessura são encaixados pelo sistema macho-e-fêmea. A Figura 8 apresenta um detalhe do piso laminado de madeira com sistema de encaixe.

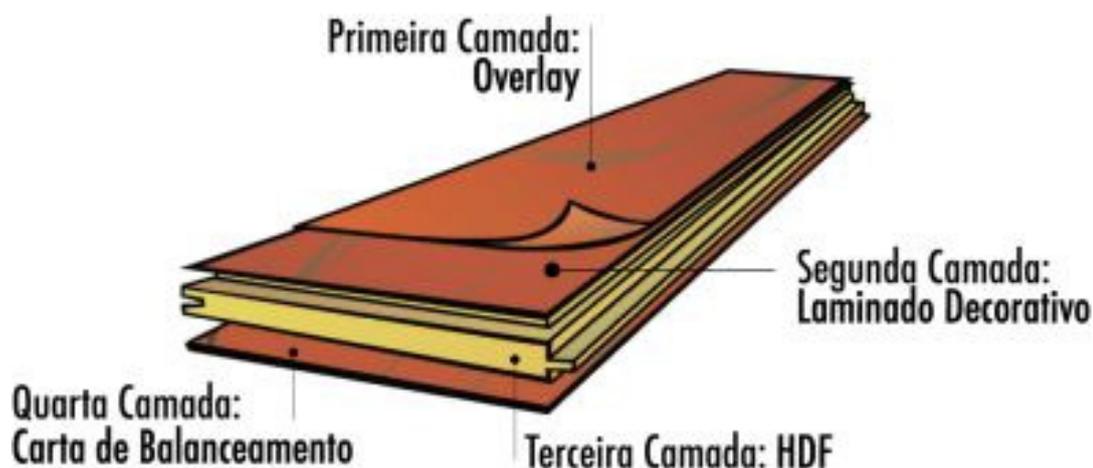


Figura 8 – Detalhe do piso laminado de madeira. Fonte: MADFLOOR (2007).

2.4.3. Compostos de madeira

No contexto atual do uso da madeira na construção civil, os seus compostos ou derivados adquirem cada vez mais importância. Segundo SOUZA et al.(2002), os compostos são materiais formados pela combinação de mais de um tipo de matéria-prima visando um produto com características valorizadas e desejadas pelo mercado.

De acordo com o IPT (2003), os compostos de madeira surgiram da necessidade de atenuar as variações dimensionais características da madeira maciça, além de diminuir o seu peso e custo, mantendo suas propriedades isolantes, térmicas e acústicas.

Também representam uma opção ao suprimento de madeira serrada no comércio, e o desenvolvimento tecnológico do setor tem ocasionado o aparecimento de novos produtos no mercado nacional e internacional para demandas cada vez mais especializadas e exigentes.

Os produtos derivados dos compostos podem ser caracterizados como chapas planas, vigas ou produtos moldados. A madeira sólida inicial é desmanchada e reconstituída, por isso alguns autores os chamam de produtos reconstituídos à base de madeira (SOUZA et al., 2002).

Os principais compostos de madeira disponíveis no mercado brasileiro até o ano de 2002 ou em fase de desenvolvimento são:

<ul style="list-style-type: none">• Chapas de lâminas coladas - compensado
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de partículas aglomeradas - aglomerado
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de fibras de baixa densidade - forros
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de fibras de média densidade - MDF
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de fibras de alta densidade – chapa dura
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de OSB – <i>oriented strandboard</i>
<ul style="list-style-type: none">• Painéis de madeiras coladas lateralmente - PCL
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de fibrocimento
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de cimento-madeira de baixa densidade – climatex
<ul style="list-style-type: none">• Vigas laminadas coladas
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de fibra-gesso (fase de desenvolvimento)
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de partícula-plástico (fase de desenvolvimento)
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de partícula-gesso (fase de desenvolvimento)
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de fibra-plástico (fase de desenvolvimento)
<ul style="list-style-type: none">• Chapas de partículas de bagaço de cana-de-açúcar (fase de desenvolvimento)
<ul style="list-style-type: none">• Vigas de lâminas coladas - LVL
<ul style="list-style-type: none">• Vigas Parallam

Fonte: a partir de SOUZA et al. (2002).

O compensado é o composto de madeira mais conhecido do nosso mercado, sendo considerado o produto de madeira nacional com maior resistência mecânica, além de ser o único à prova d'água disponível para a construção civil. Por isto mesmo, é bastante empregado em fôrmas de concreto, em tapumes e na construção naval.

Segundo o IPT (2003), os compensados surgiram no início do século como um grande avanço, ao transformar toras em painéis de grandes dimensões.

A Figura 9 apresenta uma seqüência esquemática de elaboração do compensado de pinus, do qual segundo a ABIMCI (2007), o Brasil é o maior produtor mundial.



Painel Sólido em pinus
utilizado no interior das
chapas



Chapa de três camadas,
calibrada, pronta para o
recebimento das lâminas
de acabamento



Lâminas de acabamento



Painel pronto

Figura 9 – Seqüência esquemática de elaboração do compensado de pinus.

Fonte: POSTAL (2007).

São encontrados no mercado como laminados (produzidos com lâminas de madeira prensada), sarrafeados (com miolo formado por vários sarrafos de madeira), e multissarrafeados (considerados os mais estáveis, com miolo de lâminas prensadas e coladas na vertical). No entanto, muitos autores consideram que apenas o compensado feito de lâminas pode assim ser denominado, identificando-se os demais como contraplacados.

De fato, o princípio que caracteriza o compensado é o da sobreposição de camadas de lâminas com orientações diferentes, sendo que o número mínimo para balancear as suas tensões é de 03 camadas (Figura 10).

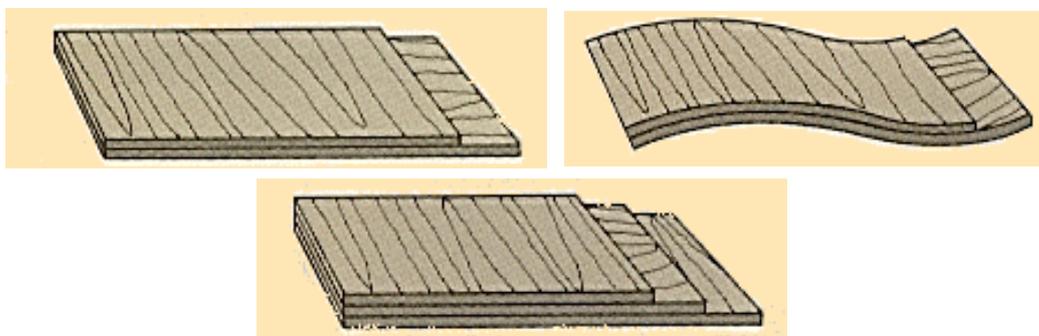


Figura 10 – As três camadas mínimas do compensado estabilizam o produto, que pode ter até nove camadas. Fonte: WISD (2007).

Com o desenvolvimento tecnológico alcançado principalmente na América do Norte, as possibilidades de uso do compensado se ampliaram bastante, possibilitando executar inteiramente uma edificação (Figura 11).



Figura 11 – Habitação em chapa de compensado e centro de pesquisa da Associação Canadense de Compensado (CANPLY). Fonte: MELLO (2000).

Quanto ao aglomerado, nascido da necessidade de se aproveitar as sobras das serrarias, é considerado o composto mais comum no mercado brasileiro no momento. Sua produção é feita a partir da seleção de partículas de madeira, sua aglutinação com adesivos sintéticos e prensa a quente. São chapas estáveis, podendo ser cortadas em qualquer direção (IPT, 2003).

Segundo BITTENCOURT (1995), a partir de 1905, com a instalação da primeira usina piloto do sistema “Flakeboard”, os EUA e Europa desenvolveram variados processos produtivos, sempre buscando a produção da chamada “tábua artificial”, que se consolidou após a Segunda Guerra Mundial.

O uso de resíduos de serraria foi substituído pelo plantio de coníferas como o *Pinus*, sendo que na América do Norte já estão sendo produzidas chapas comerciais usando alguns tipos de gramíneas e palha de trigo (SOUZA et al., 2002). A Figura 12 apresenta modelos de aglomerados.



Figura 12 – Modelos de aglomerados com espessuras variando de 6 a 50mm.

Fonte: AKZONOBEL (2007).

As chapas de fibras de média densidade (MDF) vieram para preencher grande parte dos requisitos técnicos não atendidos pelos aglomerados, como maior usinabilidade e acabamento, devidos aos cantos firmes, maior densidade e maiores espessuras. Apresentam superfície plana e lisa, adequada a diferentes acabamentos como pintura, envernizamento, impressão, revestimentos e outros (IPT, 2003).

Trata-se de uma chapa para uso relativamente especializado e nobre, sendo, portanto um produto mais caro e sofisticado. Seu processo de produção é semelhante a dos aglomerados, sendo encontrada no mercado em três versões: natural, revestida com laminado melamínico de baixa pressão (BP) com acabamento liso ou texturizado, e revestida com película celulósica do tipo *Finish Foil* (FF) com superfícies lisas ou texturizadas. A Figura 13 ilustra algumas espessuras de chapas de MDF disponíveis no mercado.



Figura 13 – Modelos de chapas de MDF com espessuras variando de 3 a 30mm.
Fonte: MASISA (2007).

As chamadas chapas duras ou chapas de fibras são painéis de madeira reconstituída de alta densidade, sendo os menos consumidos a nível mundial e cuja tecnologia de fabricação é considerada poluente e obsoleta.

São utilizadas pela indústria moveleira, da construção civil e automobilística, sendo produzidas a partir de florestas plantadas de eucalipto. Também chamadas de *hardboards*, possuem cor natural marrom, com espessuras que variam de 2 a 6,0 mm.

Vêm sendo substituídas pelos aglomerados e MDF, embora o Brasil seja o 3º maior produtor e 4º consumidor mundial (MASISA, 2007).

Os painéis de partículas orientadas ou *oriented strand boards*, mais conhecidos como OSB, surgiram no mercado para atender a uma demanda não resolvida com os aglomerados e as chapas de MDF, que era a de possuir resistência mecânica exigida para fins estruturais (IPT, 2003).

Estes painéis são formados por camadas de partículas orientadas em uma mesma direção e prensadas com resinas, podendo alcançar a resistência dos compensados por preços bem inferiores. Sua utilização na construção habitacional na América do Norte é intensa, principalmente em paredes internas e externas, pisos, forros e peças estruturais, conforme a Figura 14.



Figura 14 – Habitação padronizada de condomínio nos EUA, com aplicação de chapas OSB nas vedações e cobertura. Fonte: GLOBAL WHOLESAL SUPPLY (2006).

A produção dos painéis OSB está em expansão na América do Norte e Europa, sendo que no Canadá, tradicional produtor de compensados, esta produção ultrapassou a dos compensados na década de noventa (SOUZA et al., 2002). No Brasil esta produção se iniciou no ano de 2002, sendo atualmente intensamente utilizado em tapumes, construções provisórias, e mais recentemente, em interiores de lojas e restaurantes, mobiliário e objetos.

A tecnologia empregada na confecção do OSB reflete a potencialidade dos derivados da madeira para a construção civil, pois se trata de um processo relativamente simples, onde se emprega um princípio elementar da resistência da madeira que é o aproveitamento da direção das fibras ou elementos estruturais. A Figura 15 apresenta a seqüência de produção deste painel.

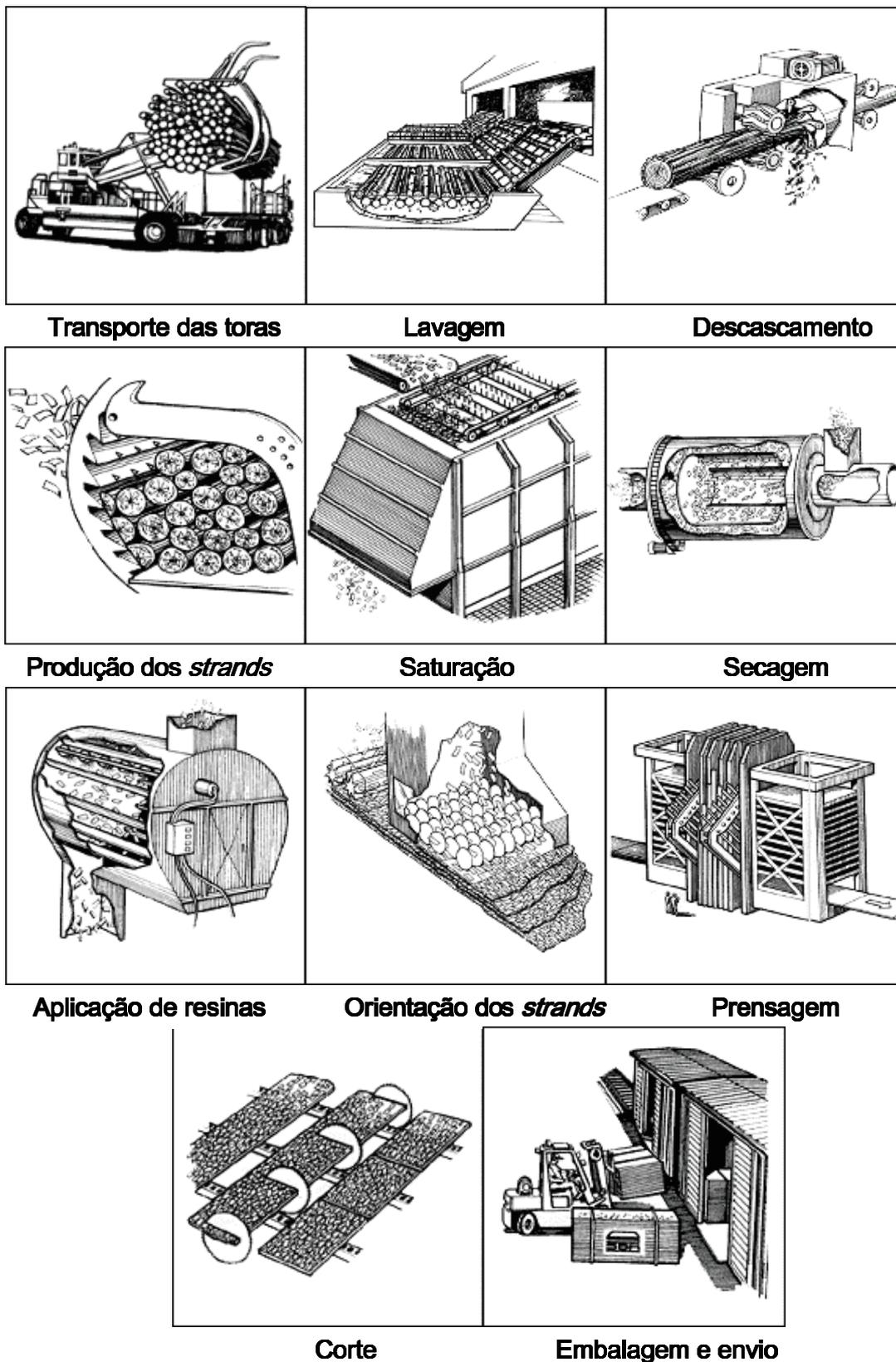


Figura 15 – Sequência de fabricação do painel OSB. Fonte: SBA (2006).

Os painéis ou chapas PCL são produzidos a partir de tarugos de madeira colados lateralmente em uma prensa especial, com adesivos à prova d'água. São utilizados principalmente pela indústria de móveis, empregando-se madeira de eucalipto. De acordo com SOUZA et al.(2002), são chapas com alta resistência mecânica, fáceis de se trabalhar e colar, no entanto têm alto custo e limitações de medidas, o que as torna pouco competitivas em nosso mercado.

Quanto às chapas de fibrocimento, estas têm como grande vantagem o uso de fibras vegetais que substituem a fibra do amianto, cuja extração é considerada danosa à saúde. O processo combina as características aglomerantes do cimento com as de resistência da fibra vegetal, que pode ser papelão descartado ou cavacos de madeira de pinus ou eucalipto.

O produto resultante tem a mesma resistência e conforto térmico superior ao das chapas com fibra de amianto, alta estabilidade dimensional e resistência ao ataque de microorganismos, podendo ser usado para telhados, forros, fechamentos de paredes e interiores. O Laboratório de Produtos Florestais (LPP/IBAMA) desenvolve pesquisas avançadas com estas chapas, estimando-se que sejam cerca de 15% mais caras que as tradicionais.

As chapas de cimento-madeira são manufaturadas com partículas de madeira, cimento, água e aditivos, sendo prensadas a frio (Figura 16). São utilizadas como material de construção em paredes, telhados, forros, pisos e cercas. Segundo SOUZA et al.(2002), a produção dessas chapas tem custo relativamente baixo e requerem baixo consumo de energia.

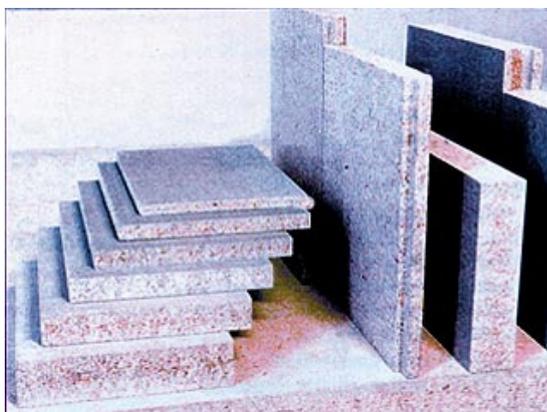


Figura 16 – Chapas de cimento-madeira. Fonte: EURO STAMOK (2006).

Segundo o REMADE (2006), a produção em larga escala de chapas de cimento-madeira surgiu em 1976 na Alemanha e atualmente estes painéis são bastante utilizados além da Alemanha, no Japão, Rússia, Inglaterra e Estados Unidos (Figura 17). No Brasil, esta produção inexistente em escala industrial.



Figura 17 – Revestimentos de fachadas em residência no Japão e em galeria comercial em Londres utilizando chapas de cimento-madeira. Fonte: XS4ALL (2007).

As razões para a boa aceitação das chapas de cimento-madeira se devem à sua resistência ao ataque de fungos e cupins, seu bom isolamento térmico e acústico, suas propriedades incombustíveis e fácil trabalhabilidade. A Figura 18 apresenta os componentes utilizados nestas chapas.

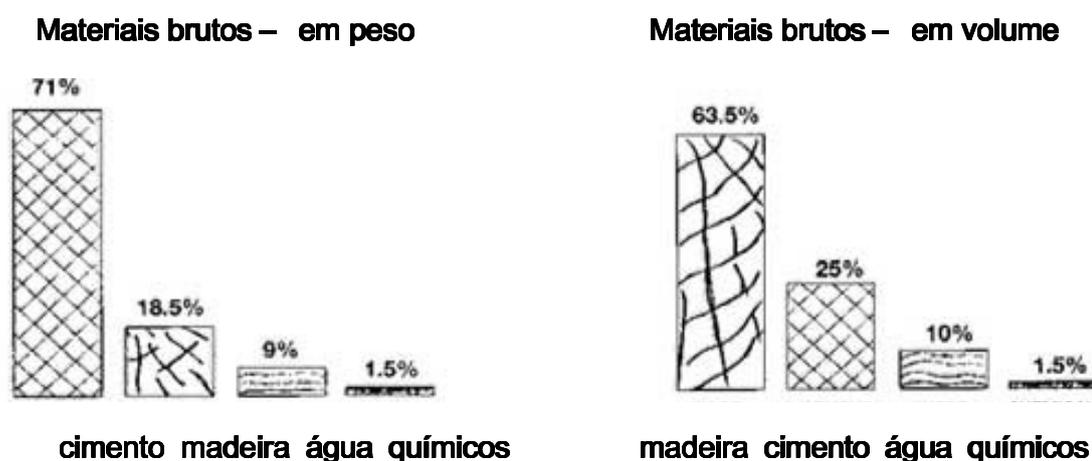


Figura 18 – Componentes da chapa cimento-madeira. Fonte: SSSALES (2007).

A viga laminada colada, resultante da técnica da madeira laminada colada (MLC), surgiu no início do século passado, mas nas últimas décadas houve um grande impulso no seu desenvolvimento. No Brasil, embora existam indústrias com mais de 40 anos neste mercado, localizadas na Região Sul, esta tecnologia ainda não é muito empregada, por motivos que incluem o seu custo e a falta de divulgação e conhecimento sobre o seu desempenho.

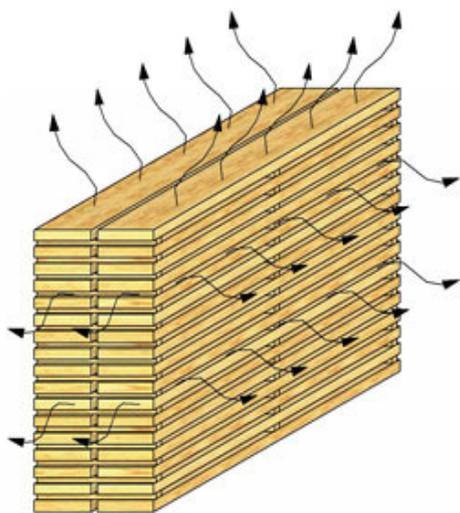
Seu processo de fabricação permite a produção de peças estruturais de grandes dimensões e variadas curvaturas. Tanto pode ser confeccionada de forma manual, que é o caso das indústrias nacionais, como de forma mecanizada para peças retas de tamanhos medianos, que é o caso das indústrias européias e norte-americanas (Figura 19).



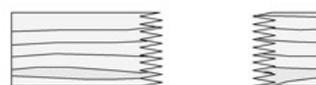
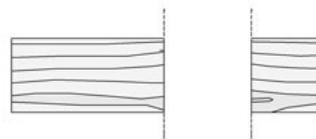
Figura 19 – Produção automatizada de MLC na Áustria e produção manual no Rio Grande do Sul. Fonte: MELLO (1998-2000).

A técnica da madeira laminada colada consiste de lâminas de madeira maciça coladas horizontalmente umas às outras, utilizando-se adesivos à prova d'água e três tipos básicos de ligações, com destaque para a ligação do tipo *finger-joint*, considerada a ligação mais eficiente em peças de madeira. As ligações permitem a utilização de lâminas com peças com até seis metros de comprimento. A Figura 20 apresenta o esquema de fabricação da MLC.

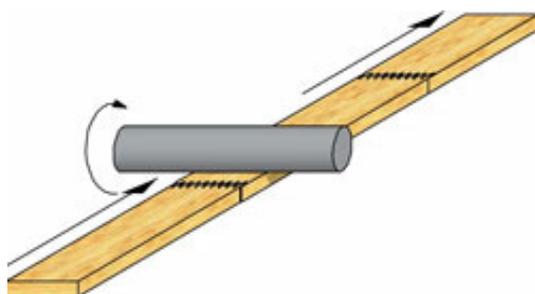
Quanto à colagem, segundo BITTENCOURT (1995), as pranchas são orientadas com o cerne voltado para cima, com exceção da primeira prancha inferior, que é posicionada na direção oposta, conforme a Figura 21.



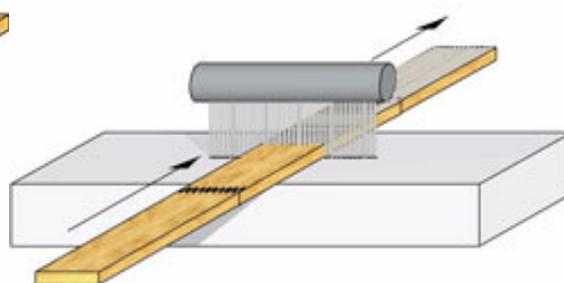
Secagem



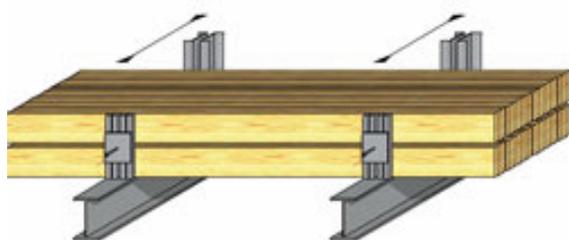
Eliminação de nós e execução de emendas *finger joint*



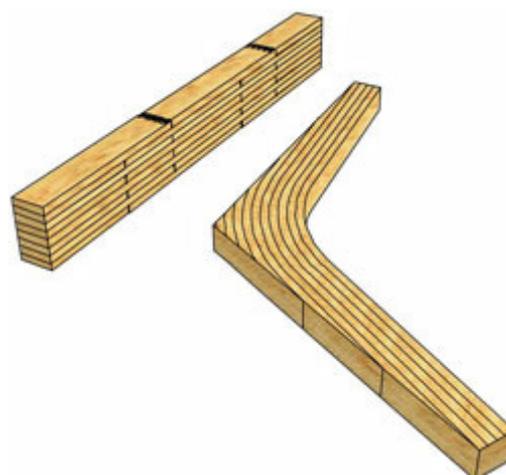
Aplainamento



Aplicação de cola



Prensagem



Arremates e embalagem

Figura 20 – Esquema de fabricação da MLC. Fonte: BAUSATZMOEBEL (2006).



Figura 21 – Detalhes de peças de MLC. Fonte: SIPBUILDLTD (2006).

Embora a fabricação de produtos de madeira laminada colada possa ser realizada com instalações e equipamentos relativamente simples, há a necessidade de mão-de-obra especializada e controle tecnológico eficiente, para se evitar problemas como, por exemplo, a laminação de peças de madeira com diferentes variações volumétricas ou teores de umidade.

De acordo com SOUZA et al.(2002), os aspectos negativos da MLC dizem respeito ao alto custo e ao processo de produção que é predominantemente manual e muito lento.

O custo por unidade de volume da madeira laminada colada é consideravelmente superior ao custo correspondente da madeira maciça. Apesar disto, a MLC freqüentemente resulta conveniente graças à suas qualidades estéticas, a uniformidade da sua qualidade, sua estabilidade dimensional e a possibilidade de se produzir peças com dimensões e formas totalmente fora de alcance da madeira maciça. Por outro lado, visto que a obtenção de peças maciças de grandes dimensões tende a ser cada vez mais difícil, é de se supor que o atrativo econômico da madeira laminada colada irá aumentando com o tempo (Fernandez-Villega, 1983 p.253).

Outro aspecto que exige soluções específicas diz respeito ao transporte do material. Embora a peça de madeira laminada colada possa ser produzida em comprimentos de 5 a 50m, suas dimensões ficam limitadas pelo tamanho do local de produção e pelas condições de transporte até a obra.

Para ilustrar a potencialidade do material e seus fatores limitantes, há o exemplo das estruturas do Parque de Exposições de Brasília, onde as peças arqueadas destinadas à edificação principal possuíam 26 metros de comprimento para um vão livre total de 48 metros, e tiveram sua curvatura definida em função da sua altura sobre a carroceria do caminhão, de forma a não atingirem a altura mínima de viadutos das estradas percorridas da indústria, localizada próxima a Porto Alegre, até a capital federal (Figura 22).



Figura 22 – Descarregamento de peças de MLC e execução de estrutura com vão de 48,00m no Parque de Exposições de Brasília. Fonte: MELLO (2000).

De acordo com o REMADE (2003), a fabricação da madeira laminada colada reúne duas técnicas bastante antigas, colagem e laminação, para a reconstituição da madeira através de lâminas de dimensões reduzidas se comparadas às dimensões da peça final.

Esta tecnologia pode ser considerada uma das mais versáteis representantes do desenvolvimento tecnológico sobre o material, possibilitando inúmeras opções de composições arquitetônicas e estruturais do edifício, que às vezes não podem ser reproduzidas com outros materiais estruturais como o concreto e o aço (Figuras 23, 24 e 25).



Figura 23 – Edificações no Canadá (foto superior) e na Inglaterra com uso de peças curvas de MLC. Fontes: CWC (2006) e AJASMITH (2006).



Figura 24 – Pilares roliços e vigas retas de MLC no Sibelius Hall em Lahti, Finlândia. Fontes: MELLO (2004) e PHOTOGRAPHY-ON-THE-NET (2006).



Figura 25 – Edificação de 05 pavimentos com estrutura plana de MLC destinada à Escola Técnica Federal da Madeira em Biel-Bienne, Suíça. Fonte: MELLO (1998).

As chamadas vigas de lâmina colada ou LVL (*laminated veneer lumber*) ainda não estão presentes no mercado brasileiro, mas são muito comuns na América do Norte e Europa, mesmo com seu alto custo. Conforme SOUZA et al.(2002), compõem-se por lâminas homogêneas de madeira de baixa espessura coladas, com as fibras no sentido do eixo da viga (Figura 26)



Figura 26 – Vigas de lâmina colada ou LVL. Fonte: AGEKA (2007).

Esta tecnologia foi inicialmente utilizada para fabricar hélices de avião e outros componentes durante a Segunda Guerra Mundial, até começar a ser conhecida na década de 1960 nos EUA (REMADE, 2004).

Seu uso estrutural é bastante difundido, tanto como componente das bordas de vigas I, também com OSB, e como único elemento constitutivo de peças destinadas a grandes estruturas (Figura 27).

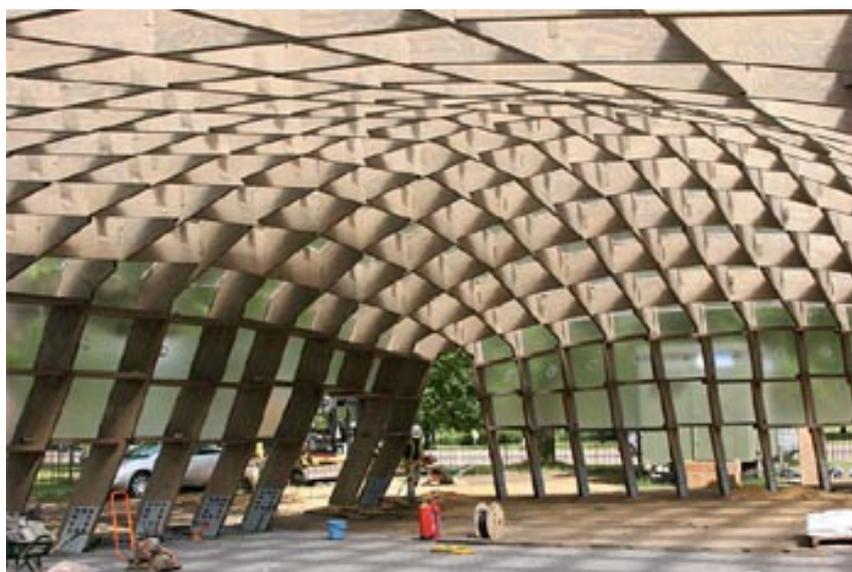


Figura 27 – Estrutura de LVL para abrigar a Galeria Serpentine em Londres, Inglaterra. Fonte: CONSTRULINK (2007).

As vigas Parallam são um produto patenteado por uma empresa multinacional da área de produtos florestais, e estão presentes na América do Norte e Europa. São produzidas a partir de tiras finas, estritas e longas cortadas de lâminas de madeira selecionadas, que são coladas e prensadas a quente, produzindo-se unicamente peças retas (SOUZA et al., 2002).

As lâminas são arranjadas na forma de feixes, prensadas sem emendas em todo o comprimento da peça e aquecidas por radiofrequência. Sua resistência e linearidade são superiores às de uma peça de madeira maciça, além de serem confeccionadas a partir de resíduos (Figura 28).



Figura 28 – Detalhe de seção transversal e vigas de Parallam. Fonte: TIMBERTRUSS (2005).

As vigas Parallam são destinadas ao uso estrutural, especialmente em aplicações que exijam peças retas de grandes dimensões, como em pontes e estruturas de tesouras (Figura 29).



Figura 29 – Uso do Parallam em estruturas de cobertura e em módulo estrutural destinado a pontes. Fontes: TIMBERTRUSS (2005) e HUGHESBROS (2005).

A aplicação das vigas Parallam em estruturas de grande porte destaca as suas grandes qualidades estruturais, sendo consideradas os produtos à base de madeira com maior resistência mecânica (Figura 30).



Figura 30 – Estrutura de edificação de 04 pavimentos em peças de Parallam, destinada à Faculdade de Ciências Florestais da Universidade da Colúmbia Britânica, em Vancouver, Canadá. Fonte: MELLO (2000).

O desenvolvimento tecnológico dos derivados de madeira faz com que novos produtos sejam lançados constantemente pela indústria, com características que tornam este mercado cada vez mais diversificado e atraente. É o caso da tecnologia das *I-Joist*, vigas compostas com OSB e LVL, e das *Laminated Strand Lumber* (LSL), confeccionadas com feixe de fibras de madeira laminados e resinados segundo o comprimento da peça (Fig.31).



Figura 31 – Vigas *I-Joist* e LSL. Fonte: DIXIELINE (2007).

Os painéis autoportantes de madeira, destinados a pisos, cobertura, vedações e revestimentos são produtos de última geração na área de compostos de madeira, possuindo excelente comportamento ao fogo e proporcionando isolamento acústico e térmico. Fabricados em peças com até 9m de comprimento, são recomendados inclusive para reconstituição de pisos e paredes de obras antigas especialmente na Europa (Figuras 32 e 33).



Figura 32 – Painéis autoportantes de madeira. Fonte: LIGNATUR (2007).



Figura 33 – Edificações com vedações e pisos em painéis autoportantes de compostos de madeira. Fonte: HOLZING-MAEDER (2004).

Segundo SOUZA et al.(2002), o produto madeira-plástico é resultante da associação de partículas de madeira em variadas proporções com *pellets* de plástico como matriz, sendo confeccionado numa prensa sob pressão e alta temperatura, resultando em chapas ou perfis de diversas formas (Figura 34).



Figura 34 – Produtos de madeira-plástico. Fonte: VANNPLASTIC (2007).

O produto final pode ter até 100% de material reutilizado como embalagens plásticas e serragem de madeira, incluindo o pó de serra. O plástico funciona como um protetor do produto contra intempéries, além de dar estabilidade dimensional às partículas ou fibras da madeira. É bastante empregado em usos externos como *decks*, passarelas e escadas (Figura 35).

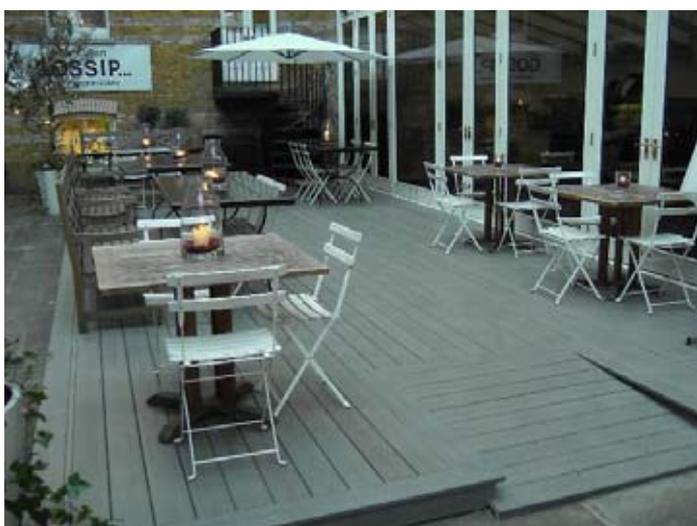


Figura 35 – Deck e corrimão em madeira-plástico. Fonte: MAINE-DECK (2003).