
Madeiras

SANTOS, L.M.A.¹;

^a Programa de Pós-graduação em Estruturas e Construção Civil,

Universidade de Brasília, 70910-900, Brasília, Brasil;

* *laramonalisa.arq@gmail.com*

Resumo: A madeira é um material de construção empregado pelo homem desde épocas pré-históricas. Atualmente sua utilização como material se baseia nas modernas técnicas de reflorestamento aliadas ao desenvolvimento de produtos industrializados como minimização de suas perdas. O presente trabalho descreve sobre a madeira com foco na sua ciência, abordando suas principais características, tais como, a anisotropia, retratilidade e a umidade, além, da madeira como compósito e exemplos de madeiras transformadas. A principal metodologia utilizada foi uma revisão da literatura que destacasse estes aspectos, descrevendo o seu comportamento como material de origem biológica de grande variabilidade, e sua performance devida a diferentes solicitações. Após a abordagem das principais propriedades da madeira, é destacado no trabalho as variações existentes em sua aplicação como, por exemplo, a madeira laminada colada e o compensado, que permitem a execução de estruturas com características diferenciadas em relação a outros materiais. Além disso, a madeira é um material compósito presente na natureza constituída por fibras de celulose que possuem alta resistência e são flexíveis, enquanto que a matriz de lignina une as fibras e proporciona rigidez.

Palavras-chave: *estrutura da madeira, compósito natural, propriedades físicas e mecânicas, madeira transformada.*

Abstract: Wood is a man-made building material since prehistoric times. Currently its use as material is based on modern reforestation techniques combined with the development of industrialized products as a minimization of their losses. The present work describes the wood with focus on its science, addressing its main characteristics, such as anisotropy, retratillation and moisture, in addition to wood as composite and examples of transformed woods. The main methodology used was a review of the literature highlighting these aspects, describing its behavior as biological material of great variability, and its performance due to different requests. Following the approach of the main properties of wood, it is highlighted in the work the variations in its application, such as glued laminated wood and plywood, which allow the execution of structures with different characteristics in relation to other materials. In addition, wood is a naturally occurring composite material comprised of cellulose fibers which have high strength and are flexible, while the lignin matrix binds the fibers and provides stiffness.

Keywords: *structure of wood, natural composite, physical and mechanical properties, transformed wood.*

¹ Lara Monalisa Alves dos Santos é Arquiteta e Urbanista (UCB), especialista em Arquitetura de Sistemas de Saúde (UCB) e mestranda em Estruturas e Construção Civil (UNB).

1 Introdução

Até o século XIX, as mais importantes obras de engenharia eram construídas com pedra ou madeira, combinando-se frequentemente os dois materiais. A mudança que se teve com o tempo foram as técnicas de construção com a madeira, seu melhoramento em relação à resistência ao tempo e a forma como o material é empregado na construção civil. A madeira é um material orgânico, de origem vegetal encontrada tanto em florestas naturais quanto em florestas artificiais resultantes de reflorestamentos industrializados. Sua fonte é abundante e renovável.

A madeira adquiriu reconhecimento como material de construção, em condições de atender às exigências de técnicas construtivas, e tanto outros processos de beneficiamento permitindo melhorar os aspectos negativos da madeira em seu estado natural, como por exemplo; (i) a degradação de suas propriedades e o surgimento de tensões internas, decorrentes de alterações em sua umidade, anulados pelos processos de secagem artificial controlada, (ii) a deterioração, quando em ambientes que favoreçam o desenvolvimento de seus principais predadores, contornada com os tratamentos de preservação, (iii) a marcante heterogeneidade a anisotropia próprias de sua constituição fibrosa orientada, assim como a limitação de suas dimensões, resolvidas pelos processos de transformação nos laminados, contraplacados e aglomerados de madeira. Entretanto, uma característica da madeira que merece destaque é sua anisotropia, responsável por diferentes comportamentos de acordo com a direção de aplicação da carga em relação às fibras e a retratilidade que é a perda de volume provocada pela redução da umidade da madeira, sendo responsável pelos graves defeitos da madeira, tais como rachaduras, torções, empenamento, dentre outros, defeitos de secagem malconduzida.

Por fim, é importante ressaltar as características e propriedades físico-mecânicas da madeira, da madeira transformada e a sua relação como compósito natural. Graças as técnicas de transformação da madeira, juntamente com suas características presentes, a adesão interfacial entre a fibra e a matriz proporciona elevadas propriedades mecânicas em compósitos. Hoje o mercado possui uma gama de formas de madeira reconstituída, o que propicia uma diversidade de formas de chapas ou painéis, de grandes dimensões e diversas espessuras. As madeiras reconstituídas têm propriedades isotrópicas o que garante seu excelente desempenho estrutural, diversificando seu emprego nas construções.

2 Materiais e Métodos

O método utilizado para este trabalho consistiu na revisão de literatura sobre o tema Madeira abordado no livro *Wood Handbook: wood as an Engineering Material*, publicado em Março de 1999, escrito por vários pesquisadores em parceria com o laboratório de estudos de produtos florestais dos Estados Unidos. Este livro serviu de fonte base para consulta e estruturação do trabalho, abrangendo desde as características anatômicas da árvore e da madeira, compósito natural, propriedades físicas e mecânicas, os efeitos causadores da variação das propriedades, e por fim os processos de beneficiamento da madeira.

3 Resultados e Discussões – Propriedades da Madeira

3.1 Características anatômicas da árvore

A madeira é um material poroso, constituído por diferentes estruturas cujo elemento básico é a célula. Existem vários tipos de células, as quais têm funções diversas no vegetal, tais como, condução da seiva, suporte, armazenamento de substâncias nutritivas, etc. Devido aos vários tipos de células, algumas madeiras apresentam características diferentes como permeabilidade, textura, propriedades físicas e mecânicas.

A macroestrutura da madeira torna-se clara em suas fibras, sendo de origem biológica, e suas coordenações atômicas são moleculares. A madeira apresenta em sua anatomia uma microestrutura celular bastante complexa, em face de sua constituição orgânica, procedência natural e composição química, a qual pode ser variável de acordo com a localização geográfica, clima, tipo de solo e espécie. A partir do conhecimento da microestrutura do material é possível o uso de diferentes espécies para a aplicação na construção civil. De acordo com as características morfológicas, anatômicas e químicas de uma árvore, esta pode ser classificada como angiospermas (árvores folhosas) e gimnospermas (folhas em forma de agulhas e produzem frutos) [2, 4, 5, 6].

A árvore é constituída de células com propriedades específicas que desempenham as funções vitais de seu crescimento e sustentação. A madeira é composta principalmente por células ocas e alongados, dispostas paralelamente uma às outras ao longo do tronco da árvore. Quando a madeira e outros produtos são cortados da árvore, as características dessas células fibrosas e

seu arranjo afetam propriedades como resistência e retração, assim como o padrão da grã da madeira [1, 6].

A seção transversal de uma árvore Figura 1, e um desenho esquemático de corte transversal do tronco de uma árvore Figura 2, representam as características (de dentro para fora): casca externa (a) cuja espessura varia com a espécie e a idade de árvores, e a parte interna composta por um tecido fino e vivo (florma), (b) responsável por transportar o alimento das folhas para partes crescentes da árvore. O alburno (d) contém tecidos vivos e mortos e transporta seiva das raízes até as folhas. Entre casca e o alburno existe uma camada de células denominada câmbio (c) que por divisões sucessivas formam novas camadas de madeiras e cascas aumentando o diâmetro do tronco. Assim, a medida que novas camadas de alburno são formadas, elas vão se distanciando do câmbio, adquirindo uma coloração mais escura em decorrência da decomposição e as células se tornam inativas. A médula (f) é o núcleo do lenho, um tecido mole e esponjoso, não apresenta resistência mecânica e durabilidade. A idade de uma árvore pode ser determinada pela contagem dos anéis de crescimento (g). No entanto, se o crescimento em diâmetro é interrompido, por seca ou insetos, por exemplo, mais de uma anel por ser formado na mesma estação [1, 4].

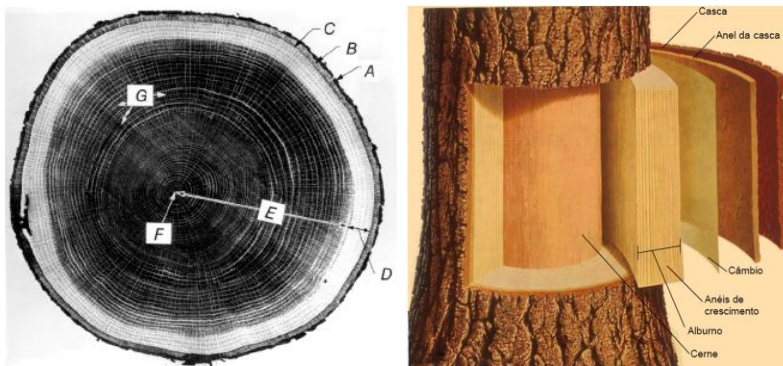


Figura 1 - Seção transversal do tronco de carvalho branco: (A) casca externa (tecido morto seco), (B) casca interna (tecido vivo), (C) câmbio vascular, (D) alburno, (E) cerne, (F) médula e (G) anéis de crescimento [1].

Figura 2 - Desenho esquemático de corte transversal no troco de uma árvore [4]

3.1.1 Elementos anatômicos estruturais da madeira

A madeira é constituída principalmente por substâncias orgânicas e seus principais constituintes são carbono 50%, oxigênio 44% e hidrogênio 6%, e por pequenas células, possuindo formas e dimensões de acordo com as funções que se desempenham na madeira. O composto orgânico predominante é a celulose, que constitui cerca de 50% da madeira, a

hemiceluloses (constituindo 20 a 25% da madeira) e a lignina (20 a 30%) que atua como elemento cimentante da estrutura da celulose, dando rigidez ao conjunto e estabelecendo as características de resistência mecânica da madeira e liga os elementos estruturais da madeira (fibras, traqueídeos e vasos) [2].

A figura 3 apresenta os elementos anatômicos estruturais de uma madeira folhosa, onde se identifica os vasos (célula por onde sobe a seiva bruta), os raios medulares (células retangular com a função de aglutinar as células do tronco), e as fibras (células alongadas responsável pela resistência mecânica da espécie) [4, 6].

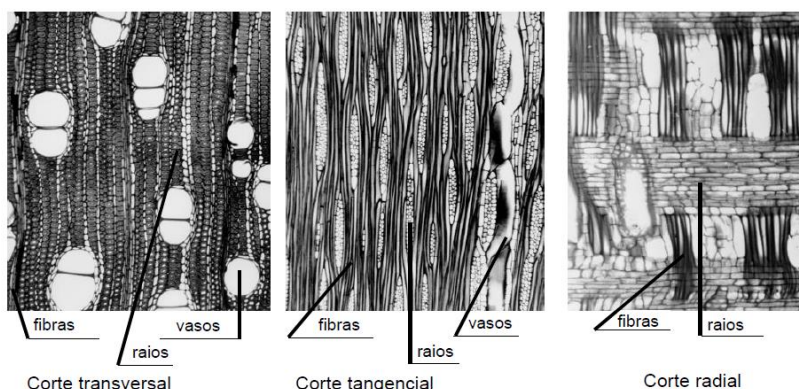


Figura 3 - Elementos anatômicos estruturais da madeira (folhosa) [4].

3.2 Madeira – composto natural e matriz lignina

A madeira é um composto formado por fibras de celulose e uma matriz de lignina. As fibras de celulose são resistentes e flexíveis, enquanto a matriz de lignina une estas fibras e proporciona a rigidez. A adesão interfacial entre a fibra e a matriz é essencial para obter elevadas propriedades mecânicas em compostos.

Como o esforço aplicado sobre o material composto é transferido da matriz para as fibras através da interface, uma elevada adesão interfacial é necessária para obter compostos com propriedades mecânicas elevadas [19].

Como matéria-prima para outros usos industriais, a madeira pode ser considerada como um material bruto que permite o aproveitamento de sucessivos fragmentos a que pode ser reduzida. Esse fracionamento sucessivo, que transforma o que antigamente era considerado resíduo em subprodutos aproveitáveis, é conduzido atualmente até os seus constituintes básicos, suas moléculas e compostos químicos [3].

O figura 4 mostra um fluxograma de seu rendimento industrial que atende atualmente ao seguinte desenvolvimento:

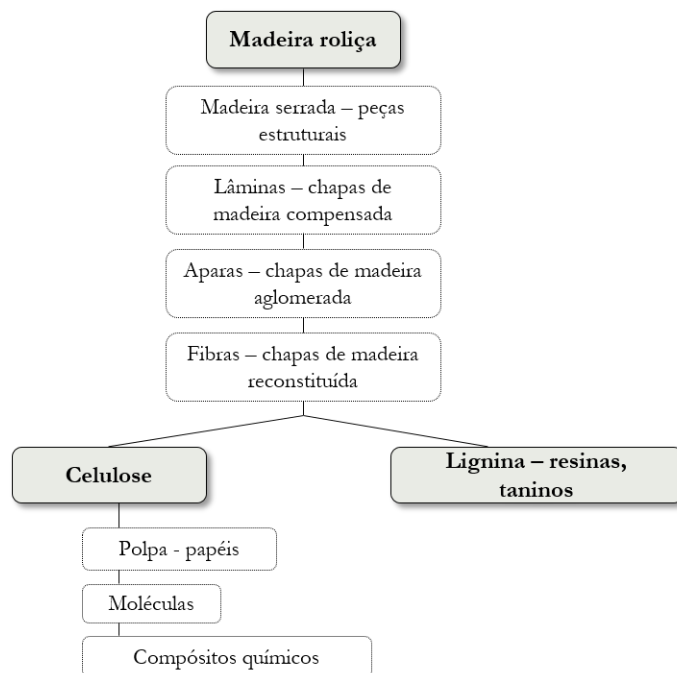


Figura 4 – Fracionamentos da madeira [3].

Toda madeira de uma árvore, incluindo galhos e parte das raízes, pode ser reduzida a aparas ou flocos que, reaglomerados, dão origem a uma crescente variedade de novos materiais. Estes novos materiais, são praticamente homogêneos e isotrópicos, agrupam-se sob o título de chapas e artefatos de madeira transformada. O papel, é o mais importante produto industrial da madeira, sendo outro tipo de madeira transformada e reconstituída a partir das fibras dispersas em polpas de celulose. Neste caso, é realizada purificação por processos químicos (cozimento das aparas de madeira com ácido), em que a lignina é separada e completamente removida. A lignina é um aglomerante natural [3].

3.2.1 Compósitos naturais

A ciência dos materiais normalmente lida com a influência das mudanças nas propriedades a nível molecular. Com materiais de madeira transformada, o nível em que a mudança é produzida é através das fibras, partícula ou floco. As alterações nas propriedades são criadas parcialmente combinando, reorganizando ou estratificando esses elementos. Embora a estrutura molecular das fibras, partículas ou flocos seja considerada fixa, algumas modificações - como a mudança química do próprio elemento da madeira, a adição de produtos químicos

para melhorar a resistência do produto à deterioração e ataque de insetos, e tratamentos para retardamento do fogo - podem ser feitos. A aplicação desses tratamentos é relativamente fácil quando a madeira está na forma fragmentada, antes de ser convertida na configuração final do produto [1,20].

O elemento básico para a madeira transformada é a fibra, mas também pode ser partículas de madeira maiores, compostas de várias fibras variando em tamanho e geometria. Essas características, juntamente com o controle de suas variações, fornecem o meio principal pelo qual os materiais podem ser fabricados com propriedades predeterminadas [20].

Os elementos básicos da madeira que podem ser usados na produção de painéis são mostrados na figura 5, variando do maior para o menor. Os elementos podem ser feitos em uma grande variedade de tamanhos e formas e podem ser utilizados sozinhos ou em combinações para a produção de um produto à base de madeira [1,20].

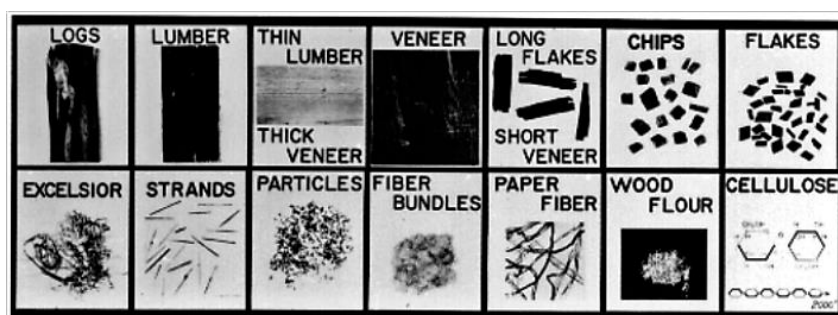


Figura 5 - Elementos básicos de madeira, do maior ao menor [1].

3.2.1.1 Fibras vegetais

As fibras vegetais são consideradas compósitos naturais anisotrópicos formado através da organização celular das fibras vegetais chamadas de lignocelulósicas, por terem constituição básica de celulose, hemicelulose, lignina e em menores quantidades de extrativos e componentes inorgânicos. As fibrilas de celulose são imersas em uma matriz amorfa de lignina. Essas fibrilas são alinhadas ao longo do comprimento da fibra, independente da sua origem. Elas aparecem alinhadas e combinam a tensão máxima e intensidade de flexão para providenciar rigidez em qualquer direção da fibra [19,21,22,23].

As desvantagens principais das fibras vegetais são a limitação de temperatura durante o processamento, tendência a formar aglomerações, e sua natureza hidrofílica. Além de

apresentar fibras com uma resistência e rigidez baixa em comparação com as fibras sintéticas [21,23].

A composição química da madeira varia de acordo com sua procedência (localização geográfica), clima, tipo de solo, etc. Dentre dos três componentes principais da madeira, a lignina difere da celulose por ser uma macromolécula aromática, e altamente irregular em sua constituição e por ser amorfa [19,24].

A celulose é um polímero constituído por cadeias de unidades monoméricas glicosídicas, encontrado na natureza em diversos materiais como algodão, bambu, madeira, etc. De alta resistência à tração, a celulose fornece uma estrutura à madeira. Tem alto grau de polimerização, forma fibras e possui regiões cristalinas e amorfas. É o componente de maior importância nas paredes das células da madeira, e responde cerca de 40% a 50% em relação ao peso de madeira seca [2].

A hemicelulose está intimamente associada à celulose na parede celular, fazendo parte de regiões não cristalinas, e contribui para a composição estrutural da árvore. A hemicelulose é hidrofílica, polissacarídeos associados com a celulose e a lignina em tecidos vegetais. Enquanto a celulose é formada pela repetição da mesma unidade monomérica, nas hemicelulose aparecem condensadas diversas dessas unidades [2,22].

A lignina é um polímero complexo constituído por compostos alifáticos e aromáticos. A lignina é amorfa, hidrofóbica e insolúvel em muitos solventes; é o componente que promove rigidez às plantas. As funções da lignina na planta é aumentar a rigidez e dureza da parede celular onde está localizada; unir as células as outras; reduzir a permeabilidade da parede celular à água e proteger a madeira contra microorganismos. Nas paredes celulares das plantas a lignina está associada à hemicelulose, e muitas propriedades físicas e mecânicas da madeira depende da presença da lignina que envolve a parte dispersa, exemplificado na figura 6 [2,22,25,26].

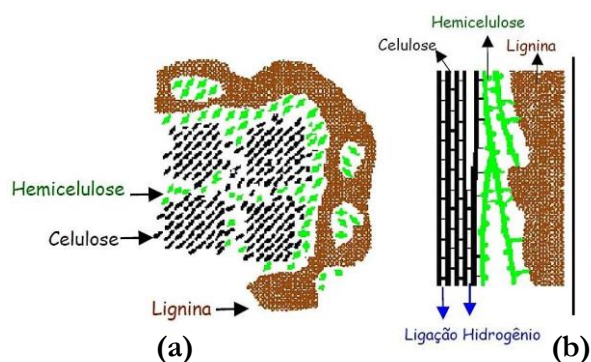


Figura 6 – Modelo esquemático da associação dos componentes da parede celular de fibra vegetal em vista (a) transversal; (b) longitudinal [22].

3.3 Propriedade físicas da madeira

A madeira é um produto heterogêneo originado de um processo orgânico, que pode ser explicado pela quantidade, disposição, orientação e composição química de seus elementos anatômicos. Estes, são responsáveis pelas características da madeira influenciados por vários fatores tais como; condições de temperatura, aspectos de composição e umidade do solo, o que explica como suas propriedades físicas e mecânicas diferem entre espécies, entre árvores da mesma espécie e dentro de uma mesma árvore. Esta variabilidade pode, no entanto, ser medida realizando ensaios em corpos de prova isentos de defeitos tais como nós, fibras inclinadas, rachaduras, empenamentos etc. [4,11].

As propriedades físicas da madeira englobam as características inerentes da espécie tais como; grã e textura, anisotropia, teor de umidade, densidade, retratilidade, condutibilidade e resistência ao fogo. De acordo com a descrição macroscópica da madeira, ela é definida como um material de natureza anisotrópica, ou seja, que apresenta reações diferentes segundo a direção considerada [11].

3.3.1 Grã e textura

O termo grã é usado em referências como grã direita (reta) e grã irregular (reversa inclinada e ondulada) em que descreve a direção longitudinal dos elementos anatômicos estruturais da madeira (fibras, vasos e tranqueídes) na árvore. A distribuição da grã reflete no tamanho relativo dos poros, indicando uma granulação aberta (mais poros) ou granulação fechada (menos poros), termos que refletem ao tamanho dos poros, aos quais determinam se a superfície precisa de enchimento [4].

A madeira rachasse mais facilmente seguindo a direção da grã direita (reta) do que com grã irregular (reversa, inclinada e ondulada), devido ao paralelismo dos elementos anatômicos. O corte seguindo a grã direita resulta em peças com maior qualidade para processamento, maior resistência estrutural e estabilidade dimensional para secagem [4,18]. A figura 7 mostra por meio de um desenho esquemático da grã direita e da grã irregular, na forma reversa e inclinada. A textura descreve o grau de uniformidade nas dimensões das células. Madeiras de textura fina possuem células pequenas e com textura uniforme, e madeiras que possuem células de

tamanho maior são consideradas madeiras de textura média. O melhor acabamento superficial é obtido para madeiras de textura fina que apresenta uma superfície uniforme e lisa, e com grã direta [1,4,11].

O tronco pode ser cortado de três formas: tangentes 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, como se observa na figura 8 [1, 11].

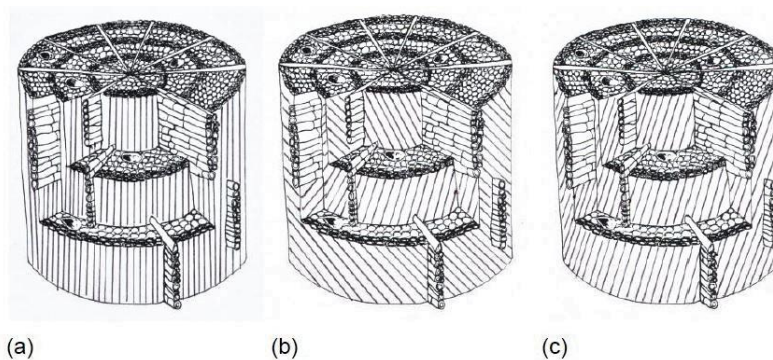


Figura 7 - Principais tipos de grã: (a) direita; (b) revessa e (c) inclinada [4].

A melhor época para a realização do corte é durante o inverno, por apresentar importância na durabilidade da madeira. Madeiras de árvores abatidas durante o inverno secam lentamente sem rachar ou fendilhar e, por não conterem seiva elaborada nos tecidos, tornam-se menos atrativas a fungos e insetos [3].

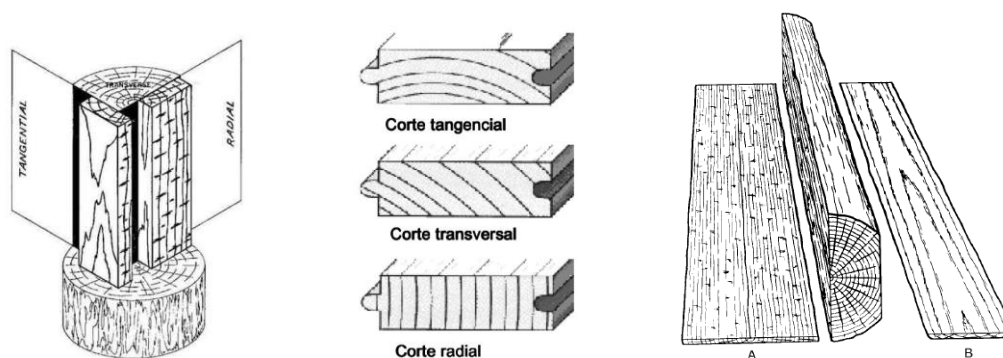


Figura 8 – Exemplos de tipos de peças de madeira serrada obtidos a partir do desdobro da tora. (A) Tábuas com corte radial (B) e tangencial (B) oriundos de tora com grã direita [11].

3.3.2 Anisotropia

A anisotropia de contração e inchamento é um fenômeno relacionado com a variação dimensional da madeira em razão da perda ou ganho de água higroscópica do material. É um dos mais importantes problemas práticos que ocorrem durante a utilização da madeira, que

afeta e limita o uso industrial da madeira. A anisotropia é determinante para estabelecer algumas propriedades físicas da madeira, como a estabilidade dimensional, propriedades térmicas e acústicas e condutibilidade térmica [11,13,14].

Os anéis de crescimento além de registrarem a idade da árvore como já mencionado, também servem de referência para a consideração e o estudo da marcante característica de anisotropia da madeira. A madeira é um material anisotrópico, ou seja, possui diferentes propriedades em relação aos diversos planos ou direções perpendiculares entre si, não há uma simetria de propriedade em torno de qualquer eixo e a resistência depende da aplicação da carga. Para o ensaio desse efeito, são considerados três direções ou eixos principais, sendo eles; (a) direção tangencial (tangente aos anéis de crescimento); (b) direção radial (na direção dos anéis de crescimento ou na direção da casca ao centro da seção transversal ao tronco); (c) direção longitudinal (no sentido das fibras, ao longo do comprimento da árvore) [3,9,11]. Estas características podem ser visualizadas na figura 9.

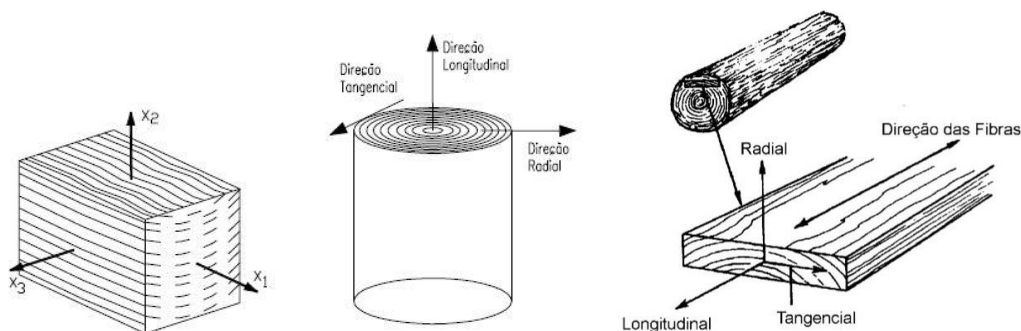


Figura 9 – Eixos principais da madeira em relação à direção das fibras [9,10].

A anisotropia relativa às propriedades mecânicas está relacionada ao ângulo de aplicação do esforço e a orientação das fibras [2].

3.3.3 Teor de umidade

A madeira é considerada um material semiporoso, e, portanto, absorve umidade quando o ambiente está úmido e perde umidade quando o ambiente está seco. O comportamento higroscópico é uma das características mais importantes para o comportamento da madeira, influenciando nas propriedades físicas e mecânicas, na secagem e na preservação, na durabilidade natural, trabalhabilidade e acabamentos, além da madeira entrar em equilíbrio com o ambiente [11].

A água na madeira se apresenta de duas formas; como água livre contida nas cavidades das células (lumens), e como água impregnada contida nas paredes das células. O teor de umidade corresponde ao mínimo de água livre e ao máximo de água de impregnação, sendo este o ponto de saturação das fibras (PSF). A madeira não sofre alterações até que se atinja o ponto de saturação das fibras, a partir deste ponto a perda de umidade resulta na retração, sendo a redução das suas dimensões e o aumento da sua resistência, figura 10. O teor de umidade de equilíbrio é definido como o teor de umidade no qual madeira não ganha e nem perde umidade, em que uma condição de equilíbrio foi atingida [1,11,13].

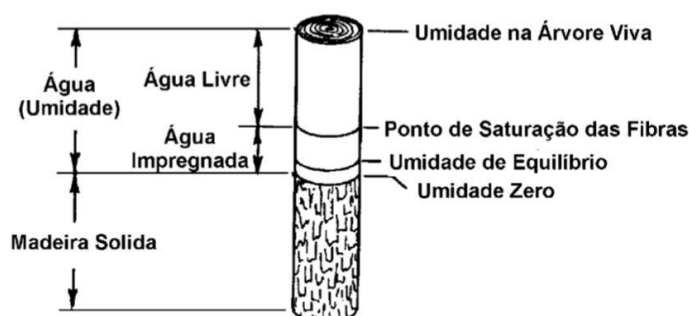


Figura 10 – Umidade na madeira [10].

O teor de umidade de equilíbrio (EMC) para adsorção e dessorção mostrado na figura 11 é constante até 0,85%. A dessorção inicial (ou seja, a partir da condição verde) será sempre maior. A dessorção oscilante é considerada uma condição intermediária entre adsorção e dessorção [1].

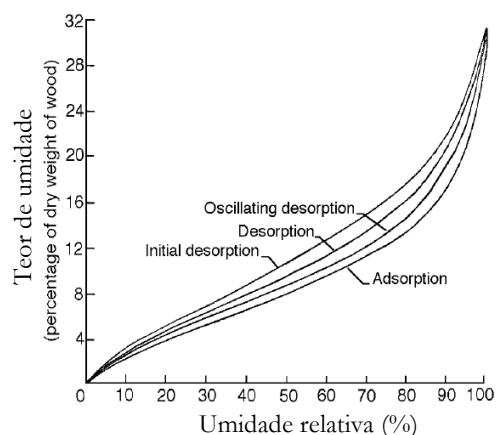


Figura 11- Relação umidade relativa umidade relativa da madeira sob adsorção e várias condições de dessorção [1].

A variação em teor de umidade de equilíbrio juntamente com o fenômeno histerese é explicada pelo fato do ganho de água pela madeira (adsorção) nos espaços vazios dos capilares já secos

ser um processo mais difícil (curva do menisco menos côncava) do que a perda de água por evaporação (dessorção), sendo quando a parede celular ainda contém umidade (cuja menisco mais côncava), conforme representações gráficas apresentadas na figura 12 [8].



Figura 12 – Diferentes formações de meniscos nos capilares da madeira durante a adsorção e a desorção – diferentes ângulos de humectação ϕ [8].

O objetivo da secagem da madeira é aproximar a umidade do teor de umidade que um produto acabado terá em serviço. Para as madeiras brasileiras, o teor de umidade é cerca de 25% [2].

3.3.4 Secagem da madeira

O teor de umidade presente na madeira possui grande influência nas suas propriedades físicas e mecânicas, e também influencia o comportamento na secagem. O processo de secagem ocorre quando a madeira está com um teor de umidade acima da umidade de equilíbrio local. Inicialmente a madeira perde a água livre (que não causa alterações nas suas propriedades mecânicas) que se encontra nos poros da madeira ou dentro das células, por capilaridade. Quando a madeira perde toda a água livre, ela fica com um teor de umidade que é chamado de ponto de saturação das fibras. Este ponto de saturação das fibras varia de 24% a 30%, dependendo da espécie da madeira. Logo, a madeira começa a perder a água de impregnação, que se encontra dentro das paredes celulares, até atingir a umidade de equilíbrio do local onde se encontra. Porém, esta água de impregnação faz parte da estrutura da parede celular, e sua perda altera esta estrutura, causando o fenômeno de contração na direção tangencial, onde o fenômeno acontece em maior intensidade do que na direção radial seguida pela direção longitudinal. A partir deste fenômeno, a madeira pode apresentar uma série de defeito, principalmente rachaduras e empenamentos [3,4].

Ao final do processo de secagem há um equilíbrio dinâmico entre a umidade relativa do ar, em que a madeira se encontra exposta, e a umidade da madeira, denominada de umidade de equilíbrio. A umidade de equilíbrio é em função da umidade do ar e da temperatura ambiente, podendo ser especificada para cada região que será empregada, conforme a figura 13 [12].

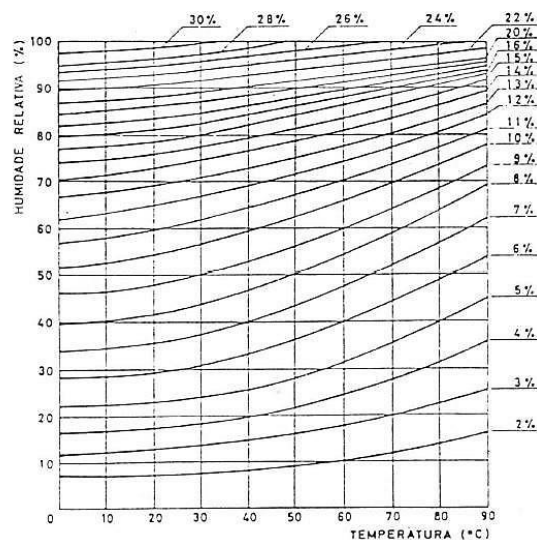


Figura 13 - Curvas de equilíbrio higrotérmico da madeira [12].

Como exemplo, a madeira com um teor de umidade qualquer, colocada num ambiente cuja temperatura é de 21°C e umidade relativa do ar de 65% tende a perder ou ganhar umidade até estabilizar numa umidade de equilíbrio de aproximadamente 12% [4].

3.3.5 Densidade

A densidade é definida como massa da amostra por unidade de volume. É um parâmetro referencial de qualidade da madeira para determinados usos, e está diretamente relacionada às características como resistência e teor de umidade. A NBR 7190/97 estabelece uma unidade padrão de referência de 12% para densidade aparente. No caso da madeira, como a massa e o volume englobam tanto a parte sólida (madeira) quanto a parte líquida (água) e vazios celulares e intercelulares, os valores de densidade variam em função das condições de umidade. Por consequência das variações existem quatro densidades para uma mesma amostra de madeira, sendo elas; densidade verde, densidade seca, densidade básica e densidade aparente. As propriedades da madeira estão diretamente relacionadas com a densidade, madeiras mais densas são mais resistentes. Portanto, existem madeiras de mesma espécie e densidade, onde algumas propriedades de resistência sejam maiores ou menores do que outras espécies [4,11].

3.3.6 Retratilidade

A retratilidade é a perda de volume provocada pela redução da umidade da madeira, sendo variável conforme o sentido das fibras. Esta instabilidade constitui um dos mais graves defeitos da madeira, ela incha ao absorver humidade e contraem-se ao perdê-la.

Para amenizar os efeitos da retratilidade, recomenda-se além da secagem adequada, a impermeabilização superficial, pintura ou envernizamento [18].

Retratilidade também é definida como a redução das dimensões em uma peça da madeira pela saída da água de impregnação. Como visto anteriormente a madeira apresenta comportamentos diferentes de acordo com a direção em relação às fibras e aos anéis de crescimento. Assim, a retração ocorre em porcentagens diferentes nas direções tangencial, radial e longitudinal [13].

A madeira, predominantemente anisotrópica e heterogênea, não apresenta os mesmos valores de retração segundo as três direções principais, longitudinal ou axial, tangencial e radial. Percebe-se na figura 14 que as alterações de volume na evolução da secagem, são diretamente proporcionais ao teor de umidade até o ponto de saturação ao ar (aproximadamente 30%), e constantes para teores de umidade superiores ao mesmo. A madeira tem maior retratilidade na direção tangencial, seguida pela radial e axial [9,13].

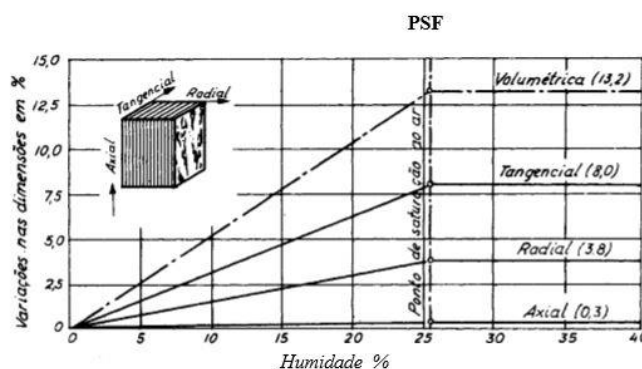


Figura 14 – Curvas de retratilidade volumétrica e linear [3].

A retração axial é praticamente nula sendo a tangencial cerca do dobro da radial e a volumétrica sensivelmente igual à soma das retrações lineares segundo a direção axial, radial e tangencial. Em geral a retração está associada a maior densidade [1].

Quando uma madeira passa do estado de saturação das fibras ($PSF \cong 30\%$) ao estado anidro ($H=0\%$) diminui de volume. Essa diminuição de volume dividida pelo volume no estado anidro designa-se por retração volumétrica total e é expressa em percentagem [7].

Como mostra a figura 15 a seguir, a madeira incha (anisotropia dimensional de inchamento) e contrai (anisotropia dimensional de contração) desigualmente segundo os sentidos anatômicos tangencial, radial ou longitudinal. Devido ao comportamento anisotrópico da retratilidade, ocorre o desenvolvimento de defeitos na madeira durante a fase de secagem ou de seu acondicionamento, tais como rachaduras, torções, empenamentos, abaulamentos e fendas de secagem; decorrentes de contrações diferenciadas, sendo defeitos de secagem malconduzida [1,8].

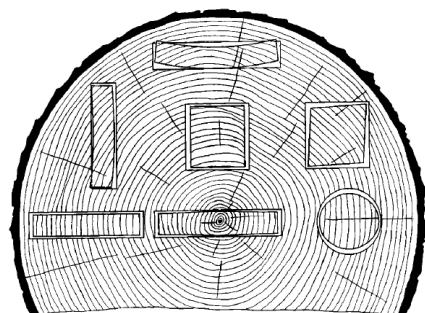


Figura 15 - Tipos de defeitos da retração desenvolvidos durante a secagem em peças de madeira, afetados pela direção dos anéis de crescimento [1].

Para a madeira, quanto maior o desvio entre as variações dimensionais nos sentidos anatômicos tangencial e radial, maior será o fator de anisotropia e, conseqüentemente, pior será o seu comportamento durante a secagem ou durante a aquisição de umidade [8].

3.3.7 Condutibilidade

A condutibilidade elétrica da madeira varia com o teor de umidade, especialmente abaixo do ponto de saturação da fibra e também com a tensão aplicada, onde a tensão dobra para cada aumento de temperatura de 10°C. A madeira é um excelente isolante de corrente elétrica quando está totalmente seca, sendo, portanto, sua resistência elétrica sensível a alterações no seu teor de umidade. Quando se encontra em estado úmido, torna-se um condutor de energia elétrica. A condutibilidade elétrica varia segundo suas três orientações anatômicas, sendo que a condutibilidade paralela às fibras é o dobro da condutibilidade no sentido transversal. A figura 16 ilustra uma madeira com a presença de sais, por fatores de contato com água do mar por exemplo, a condutividade elétrica pode ser substancialmente aumentada [1,11].

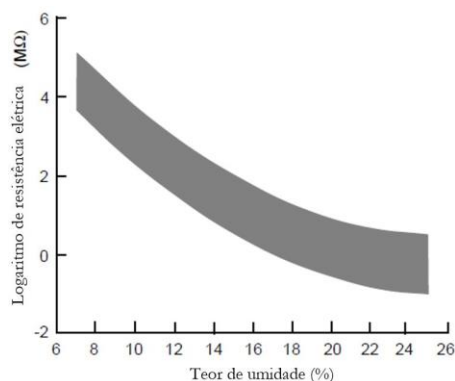


Figura 16 - Mudança na resistência elétrica da madeira com níveis variáveis de umidade [1].

A madeira além de ter propriedades elétricas, também possuem propriedades térmicas e acústicas. É considerada termicamente, um mau condutor de calor, pois sua estrutura celular aprisiona pequenas massas de ar e está composta principalmente de celulose. A condutibilidade térmica da madeira varia segundo a essência, o grau de umidade e também segundo a direção de transmissão do calor: é maior paralelamente que transversalmente às fibras.

As madeiras são contra-indicadas para isolamento acústico porque causa de seus vazios presentes na sua estrutura interna, mas são bons materiais para tratamentos de absorção acústico [3,18].

3.4 Propriedades mecânicas da madeira

As propriedades mecânicas da madeira são determinadas pelo seu comportamento quando é solicitada por forças externas, sendo divididas em propriedades de elasticidade e resistência. Tanto as propriedades de elasticidade quanto as de resistência diferem de acordo com a direção das fibras em relação à direção de aplicação da força na madeira, devido ao seu caráter anisotrópico. Além disto, como suas propriedades não variam em uma mesma direção, mas de uma direção para outra, a madeira possui um caráter ortotrópico. Isto é, possui propriedades mecânicas únicas e independentes nas direções de três eixos perpendiculares entre si; longitudinal, radial e tangencial. O eixo longitudinal é paralelo à fibra (ao longo do comprimento da árvore), o eixo radial é normal aos anéis de crescimento (em direção ao centro da árvore) e o eixo tangencial é perpendicular a grã mas tangente aos anéis de crescimento. Esses eixos são mostrados na figura 17 [1,11].

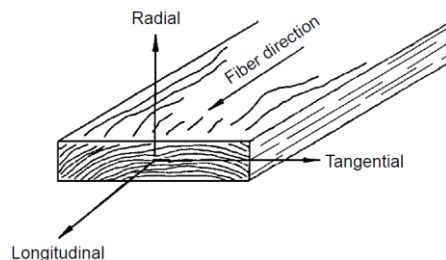


Figura 17 – Três eixos principais de madeira em relação à direção dos grãos e anéis de crescimento [1].

Todas as características mecânicas do material estão relacionadas não só à anisotropia da madeira, mas também à sua heterogeneidade e à sua capacidade de absorver água e a variedade de distribuição e concentração de seus principais constituintes celulares. Quando os vazios das fibras são grandes, as madeiras são moles e pouco resistente. Quando as fibras são longas, os tecidos são mais ligados e possui uma maior a resistência à flexão [3].

3.4.1 Comportamento da madeira à compressão

O comportamento da madeira submetido a esforços de compressão apresenta variações que decorrem da direção da força aplicada em relação à direção das fibras. Ela pode ser submetida à compressão de acordo com três solicitações: perpendicular às fibras, paralela às fibras ou inclinada em relação às fibras, conforme apresentado na figura 18 [11,15].

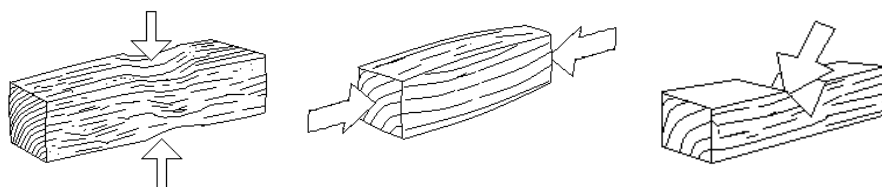


Figura 18 – A madeira pode ser submetida a três tipos de compressão: perpendicular, paralela ou inclinada [10].

Na compressão perpendicular às fibras, ocorre a compactação das fibras e eliminação dos vazios, resultando no aumento de capacidade de carga da peça de madeira. Quando a peça é solicitada por compressão paralela às fibras, as forças agem paralelamente à direção do comprimento das células. A tendência é de encurtar as células da madeira ao longo do seu eixo longitudinal. Desta forma as células, em conjunto, conferem uma grande resistência à madeira na compressão. A compressão inclinada age tanto paralelamente como perpendicularmente às fibras, sendo uma propriedade considerada para fins de dimensionamento [11,13].

3.4.2 Comportamento da madeira à tração

Na madeira, a tração pode ocorrer com orientação paralela ou normal às fibras. A ruptura por tração paralela pode ocorrer por deslizamento entre as células ou por ruptura das paredes das células. Em ambos os casos, a ruptura ocorre com baixos valores de deformação, o que caracteriza como frágil, e com elevados valores de resistência. A solicitação age na direção normal ao comprimento das fibras, tendendo a separá-las, afetando a integridade estrutural e apresentando baixos valores de deformação [15].

A tração paralela provoca alongamento das células da madeira ao longo do eixo longitudinal, e a tração normal tende a separar as células da madeira perpendicular aos seus eixos, onde a resistência é baixa devendo ser evitada. As propriedades da madeira são diferenciadas em função destas solicitações. A figura 19 ilustra o comportamento da madeira à tração [2,11,13].

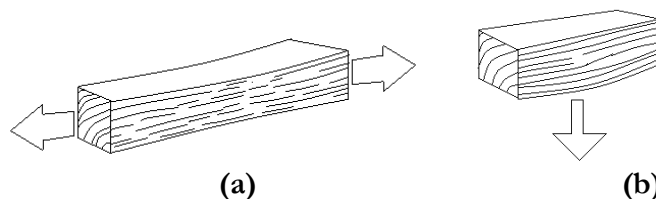


Figura 19 – A solicitação por tração pode se dar nas direções paralela (a) e perpendicular às fibras da madeira (b) [10].

3.4.3 Comportamento da madeira ao cisalhamento

A tensão cisalhante é crítica em conexões e próxima aos locais de reações e pontos de cargas concentradas. A tensão cisalhante paralela às fibras possui um valor relativamente baixo, e é sensível a concentração de esforços. O cisalhamento na madeira pode ocorrer sob três formas, também chamados de esforços cortantes. Conforme a figura 20 a primeira seria quando a ação é perpendicular às fibras (a), porém este tipo de solicitação não é crítico, pois, antes de romper por cisalhamento, a peça apresentará problemas de esmagamento por compressão normal. A segunda a força aplicada no sentido longitudinal às fibras (cisalhamento horizontal) (b) e a terceira é a força aplicada perpendicular às linhas dos anéis de crescimento (cisalhamento rolling). O caso mais crítico é o cisalhamento horizontal que rompe por escorregamento entre as células da madeira. Já o cisalhamento perpendicular “rolling” produz uma tendência das células rolarem umas sobre as outras [1,2,11,12].

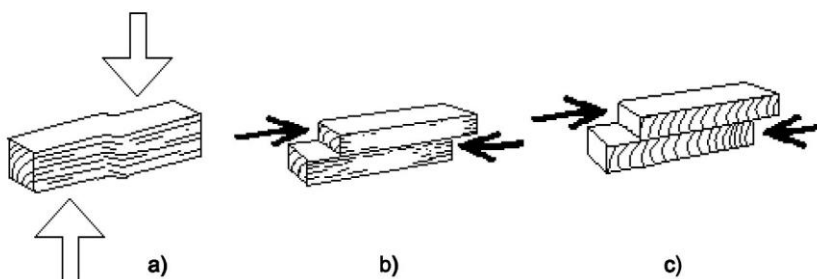


Figura 20 – Tipos de cisalhamento na madeira: esta apresenta menor resistência no cisalhamento horizontal. (a) Cisalhamento vertical (b) Cisalhamento horizontal e (c) Cisalhamento perpendicular [10].

3.4.4 Comportamento da madeira à flexão

Quando a madeira é solicitada à flexão, chamada de flexão simples, ocorrem quatro tipos de esforços; compressão paralela às fibras, tração paralela às fibras, cisalhamento horizontal e, nas regiões de apoios, compressão perpendicular às fibras, exemplificado pela figura 21. A ruptura em peças solicitadas à flexão ocorre com a formação de minúsculas falhas de compressão seguidas pelo esmagamento de compressão macroscópico. Esse fenômeno gera o aumento da área comprimida na seção e a redução da área tracionada, causando acréscimo de tensões nesta região, podendo romper por tração [11,12,13].

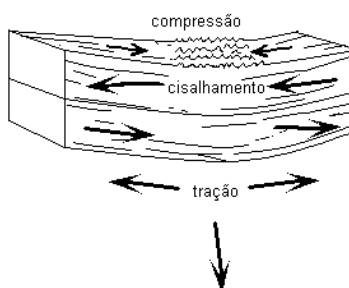


Figura 21 - Comportamento da madeira quando solicitada à flexão simples [10].

3.4.5 Resistência a dureza superficial

A dureza superficial é a resistência do material à penetração localizada, à riscagem e ao desgaste. Os diversos tipos de madeira apresentem variados graus de dureza. Para a determinação da dureza nas madeiras, é obtida através do método Janka (NBR 6320), que consiste em medir o esforço necessário pela introdução de uma semiesfera de aço nas direções paralela e perpendicular às fibras da madeira, em que se pode realizar uma comparação entre espécies suas definições de uso [3,11,18].

3.4.6 Fluência da madeira

A madeira é um material viscoelástico, ou seja, sua deformação sob esforços depende do histórico de carregamento. Uma peça de material viscoelástico apresenta, além da deformação elástica, um acréscimo de deformação com o tempo, mesmo com a carga sendo mantida constante. Ao se retirar a carga, somente uma parte da deformação é recuperada, mantendo-se um resíduo de deformação variável com o tempo. Tanto a fluência quanto a fadiga, estas correspondem a deformação ou redução da resistência com o passar do tempo para solicitações permanentes (caso da fluência) que atuam sobre a madeira [2].

A fluência ocorre mesmo em tensões muito baixas, e continua por longos períodos enquanto a peça permanecer sob carregamento. Quando se exerce uma carga sobre uma peça de madeira, inicialmente será observada uma deformação elástica. No entanto, se esta carga for mantida, ocorrerá também uma deformação dependente do tempo, tal comportamento definido como fluência. Esta deformação dependente do tempo, é intimamente influenciado pelas propriedades da madeira, umidade relativa do e temperatura do ambiente [15].

Pode ser observado graficamente na figura 22 o fenômeno da fluência. Ao se aplicar uma carga, a madeira sofre uma deformação instantânea, sendo proporcional a força aplicada. Com o aumento da tensão, a deformação aumenta gradativamente com o tempo. Ao ser retirada a carga, a deformação instantânea observada no início do carregamento rapidamente é restaurada, em velocidade semelhante que ocorreu no início do ciclo. Já a deformação ocasionada em função do comportamento da fluência, vai sendo recuperada lentamente. Portanto, por a madeira não ser um material perfeitamente elástico, essa deformação não é totalmente recuperada, ocasionando uma deformação permanente [15].

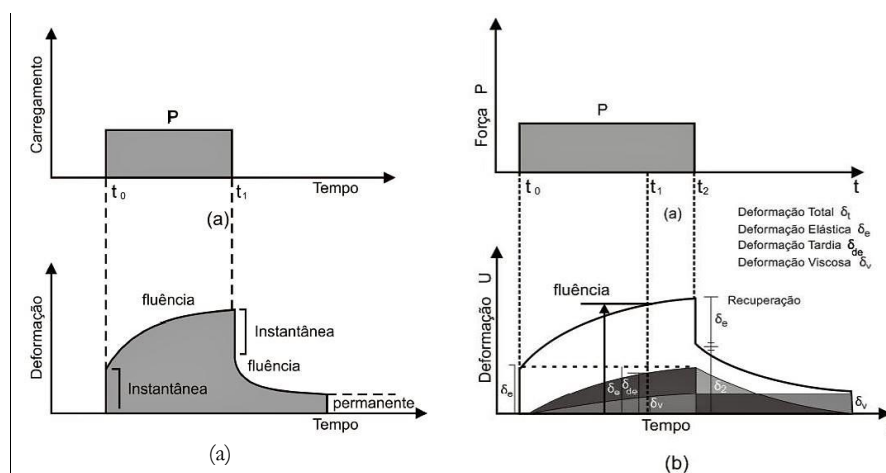


Figura 22 – Relação entre carga x tempo (a) e deformação x tempo (b) [15].

A fluência em madeiras pode ser dividida em três etapas; fluência primária (rápida e elevada deformação logo após a carga ser colocada sobre a peça, nesta fase predomina a deformação elástica), fluência secundária (relação deformação x tempo se permanece constante) e fluência terciária (relação deformação x tempo volta a aumentar e se mantida ocasiona a ruptura da peça), exemplificado na figura 23 [15].

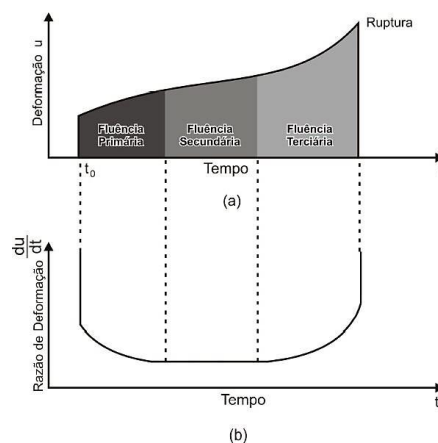


Figura 23 – Comportamento da fluência (a) estágios de fluência e (b) razão de fluência [15].

3.4.7 Fadiga em madeiras

O termo fadiga é definido como o dano progressivo que ocorre em um material sujeito a carregamento cíclico. Este carregamento pode ser repetido (tensão do mesmo sinal, isto é, sempre compressão ou sempre tensão) ou revertido (tensões de compressão e tensão alternada). A fadiga define o número de ciclos que são mantidos antes da falha.

A resistência à fadiga para materiais fibrosos, como a madeira, em geral é superior a dos materiais cristalinos, como os metais. Estudos realizados por ensaios de fadiga em madeiras à tração simples, revelaram-se que, para ciclos de carregamentos com tensão mínima de 10%, após 30 milhões de ciclos, reduz a resistência do material na ordem de 50% medida a partir de ensaios estáticos [1,2].

3.4.8 Resistência ao choque

A resistência ao choque é a capacidade da madeira em resistir ou absorver esforços dinâmicos através de deformações elásticas. Sob a ação de cargas de impacto, a madeira apresenta um módulo de elasticidade mais elevado [2,13].

Alguns fatores podem influenciar na resistência ao choque, dentre os quais – forma e dimensões das peças, inclinação da grã, massa específica, teor de umidade e propriedades anatômicas da madeira. A resistência da madeira ao choque rompe com maior frequência sob a influência do impacto por sobrecarga na situação estática. A madeira é considerada um material de alta resiliência a esses esforços[8,13,15].

A resiliência das madeiras aos esforços de flexão dinâmica é máxima quando os esforços são aplicados na direção radial aos anéis de crescimento, esta disposição dos anéis deve ser utilizada em peças submetidas ao choque, em que os anéis funcionam como molas de absorção. Será mínimo quando o esforço é aplicado tangencialmente aos anéis de crescimento [3].

3.5 Variação das propriedades físico-mecânicas

3.5.1 Fatores que afetam as propriedades da madeira

Os defeitos nas madeiras são todas as anomalias em sua integridade e constituição que alterem seu desempenho e suas propriedades físico-mecânicas. Existem nas madeiras os defeitos provenientes de (i) crescimento (devidos a alterações no crescimento e estrutura fibrosa do material), (ii) secagem (consequência de secagem mal conduzida), (iii) produção (decorrentes do desdobro e aparelhamento das peças) e (iv) alteração (provocados por agentes de deterioração, como fungos, insetos etc.) [3].

Os defeitos provenientes de crescimento tais como os nós, são os defeitos com mais destaque nas madeiras de obra. Estes são originários dos galhos existentes nos troncos da madeira após o desbaste dos mesmos. Existem dois tipos de nós, os soltos e os firmes. Ambos reduzem a resistência da madeira pelo fato de interromperem a continuidade e direção das fibras. Nos nós, as fibras longitudinais sofrem desvio de direção, ocasionando redução na resistência à tração e além de concentradores de tensões, conforme a figura 24 [11,13].

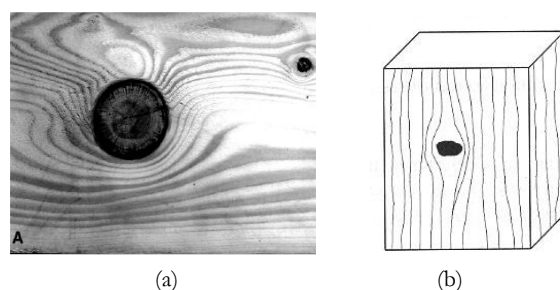


Figura 24 – Presença de nós na madeira (a) e nó provocando inclinação nas fibras (b) [1,6] .

As fendas e ventas têm influência na resistência da madeira ao cisalhamento paralelo às fibras. As fendas são aberturas nas extremidades das peças, produzidas pela secagem mais rápida da superfície; ficam situadas em planos longitudinais radiais, atravessando os anéis de crescimento. O aparecimento de fendas pode ser evitado mediante a secagem lenta e uninforme da madeira. As ventas ou gretas são a separação entre os anéis anuais, provocada por tensões internas devidas ao crescimento lateral da árvore, ou por ações externas, como flexão devida ao vento, demonstrado na figura 25 [6].



Figura 25 – Ilustração de fendas (a) e ventas (b) [16].

3.5.2 Degradação da madeira

A degradação da madeira é causada por fungos, insetos, fatores físicos e químicos e desgaste mecânico. A presença de substâncias nutritivas na madeira permite que organismos vivos encontre as condições favoráveis de desenvolvimento e multiplicação. Dentre eles, os fungos e insetos são os maiores responsáveis pela deterioração da madeira. Os fungos são parasitas que sobrevivem de matéria orgânica, decompondo a celulose e a lignina na parte interna da madeira. Os mesmos mudam as propriedades físicas e químicas das paredes das células que afetam a resistência da madeira (fungos xilófagos). As condições ambientes interferem na proliferação da maioria dos fungos degradadores, tais como; temperatura, oxigênio, umidade e pH. Os insetos xilófagos são o segundo predador da madeira, sendo os principais Isópteras (Cupins) e Coleópteras (Carunchos), sendo os que mais atacam a madeira no Brasil, transformando a madeira em labirintos ocultos [4,18].

Por meio do tratamento químico aumenta-se a resistência da madeira aos ataques de agentes biológicos. Esse tratamento, em geral consiste em impregnar a madeira com preservativos químicos. A aplicação do tratamento químico adequado resultam em estruturas de madeira de grande durabilidade [6].

3.5.3 Influência da umidade

A umidade tem grande efeito sobre as propriedades das madeiras. Com o aumento da umidade, a resistência diminui até ser atingido o ponto de saturação das fibras (30% de umidade), e acima desse ponto a resistência mantém-se constante. A figura 26 apresenta um diagrama de variação da resistência à compressão com a umidade. Com a secagem da peça abaixo do ponto de saturação das fibras, tem-se a redução de volume e o aumento do peso específico e da resistência. Assim, apresentando o máximo de resistência mecânica quando completamente seca, o mínimo quando completamente saturada [1,6].

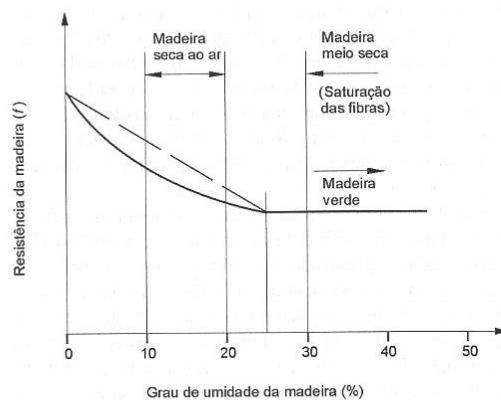


Figura 26 – Variação da resistência da madeira com o grau de umidade [6].

3.5.4 Defeitos de secagem

Os defeitos de secagem reduzem a resistência mecânica e são provocados por efeitos de retratilidade do material, momento em que perde sua umidade nos processos de secagem natural ou artificial. Tendo como resultados as fendas, rachaduras, arqueamento, encurvamento, colapso, empenamentos de abaulamento, e torcimento das peças, figura 27 [2,3].

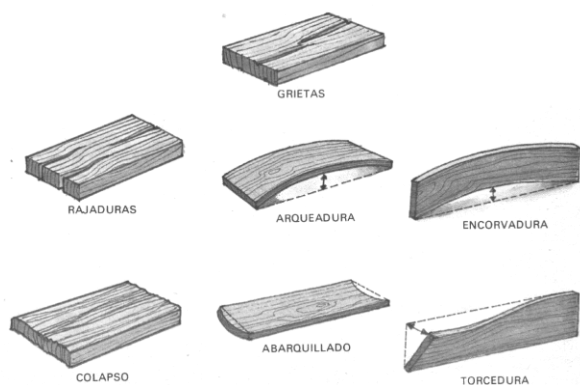


Figura 27 - Defeitos de secagem [12]

Os principais defeitos provenientes de secagem ocorrem principalmente por; (i) fendas e rachaduras, são aberturas radiais de grande extensão no topo de toras ou peças e, geralmente ocorrem devido a uma secagem rápida nas primeiras horas, o (ii) colapso se origina nas primeiras etapas da secagem e muitas vezes acompanhado de fissuras internas, e o (iii) abaulamento, que se deve a tensões internas e uma secagem irregular. Os defeitos de abaulamento, arqueamento, encanoamento, encurvamento e torcedura são provenientes de deformações causadas pela contração diferenciada nas três direções do corte da madeira [12].

3.6 Processos de beneficiamento da madeira – Madeira transformada

As madeiras industrializadas são aquelas transformadas por processos industriais para controlar a heterogeneidade, anisotropia e suas dimensões.

Na estrutura do tecido lenhoso existem as fibras resistentes e unidirecionalmente orientadas, sendo as principais características do material, mas também dos prejuízos decorrentes de sua heterogeneidade e, principalmente, de sua anisotropia geradora de tensões internas. Os processos de beneficiamento das madeiras, são os que buscam uma reestruturação do material com rearranjo de suas fibras resistentes, sendo denominados processos de transformação das madeiras [3,18].

Os processos de transformação, à medida que reaglomeram fragmentos cada vez menores do lenho original, dão origem aos tipos de madeira transformada. Os tipos de madeira transformada utilizadas na construção civil são madeiras laminadas, madeiras laminadas compensadas, madeira aglomerada e madeira reconstituída. Os processos de transformação da madeira trazem benefícios tais como; (i) homogeneidade de composição e isotropia no comportamento físico e mecânico, (ii) possibilidades ampliadas de secagem e tratamentos efetivos de preservação, quando o material, antes da aglomeração, está reduzido a lâminas finas ou pequenos fragmentos, (iii) melhoria em relação à madeira natural, de determinadas características físicas (retratilidade, massa específica) ou mecânicas (cisalhamento, fendilhamento etc.), por meio de alternativas nos processos de fabricação, (iv) fabricação de chapas e blocos com dimensões adequadas graças a tecnologia de pré-fabricação modulada, (v) apresenta vantagem econômica de aproveitamento integral de todo material lenhoso contido nas árvores [3].

3.6.1 Madeira laminada colada

As peças de madeira laminada podem ser retas ou curvas, de qualquer largura e comprimento, de seção constante ou variável, sendo produzidas já aparelhadas, tratadas e prontas para o uso [3].

A madeira laminada colada oferece maior resistência sobre a madeira serrada porque o processo de laminação distribui as características de redução de resistência em todo o membro, como mostra a figura 28. Um nó em madeira serrada, pode reduzir a seção e a resistência de um membro. Na madeira laminada colada, os nós são distribuídos entre as laminações, de modo que seu efeito em qualquer seção é minimizado [10].

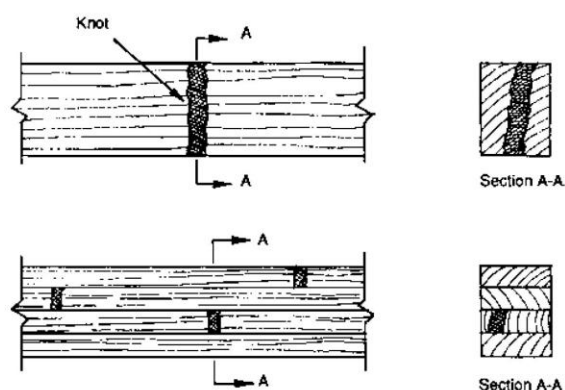


Figura 28 - Efeitos relativos das características de redução de resistência em madeira serrada e madeira laminada colada [10].

A madeira laminada fornece melhor estabilidade dimensional, porque é fabricada a partir de madeira seca, em comparação com a madeira serrada. As etapas de fabricação de peças de madeira laminada e colada consistem em; secagem das lâminas, preparo das lâminas, execução de juntas de emendas, colagem sob pressão, acabamento e tratamento preservativo. Antes da colagem as lâminas sofrem um processo de secagem em estufa, onde sai com uma umidade máxima de 15%. As especificações limitam a variação do grau de umidade das lâminas entre si, não devendo ultrapassar 5% na ocasião da colagem, afim de controlar tensões internas devidas à retração diferencial [10].

A emendas das lâminas são importantes e podem ser executadas com um dos detalhes ilustrados na figura 29. As emendas são geralmente distribuídas ao longo da peça de forma desordenada [6].

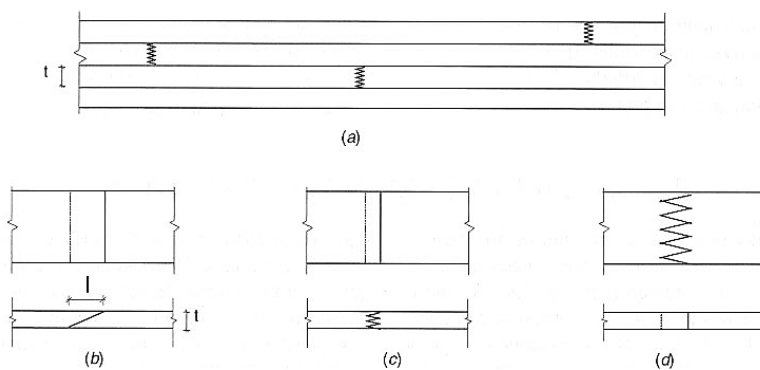


Figura 29 – Detalhes de emendas de lâminas; (a) distribuição das emendas na direção longitudinal; (b) junta por corte em chanfro; (c) emenda denteada vertical; (d) emenda denteada horizontal [6].

A eficiência da junta em chanfro depende da inclinação do corte - quanto mais inclinada, mais resistente. As emendas dentadas são mais eficientes do que as emendas com chanfro, além de serem mais compactas. Por fim, as madeira laminada colada permite a (i) confecção de peças de grandes dimensões, (ii) melhor controle de umidade das lâminas, reduzindo defeitos provenientes de secagem regular, (iii) a seção da qualidade das lâminas situadas nas posições de maiores tensões, (iv) permite a construção de peças de eixo curvo [1,6].

3.6.2 Madeira laminada compensada

A madeira compensada foi idealizada para equilibrar e restringir as variações dimensionais de retratilidade da madeira. Ela é formada pela colagem de três ou mais lâminas relativamente finas, coladas umas às outras, alternando-se as direções das fibras em ângulo reto. O compensado pode ter três, cinco ou mais lâminas, sempre mantendo o número ímpar. Com as camadas em direções ortogonais alternadas, visa equilibrar tensões e reduzir riscos de empenamento, obtendo um produto aproximadamente mais isotrópico que a madeira maciça, demonstrado na figura 30 [3,6,18].

As lâminas têm uma variação da sua espessura entre 1 mm e 5 mm e podem ser obtidas das toras ou de peças retangulares. Para a sua retirada, utiliza-se o corte com rotação do tronco de madeira em torno de seu eixo contra uma faca, como mostra a figura 31. Em seguida, são submetidas à secagem, natural ou artificial. A colagem é realizada sobre pressão, podendo ser utilizadas prensas a frio ou a quente [1,6].

A madeira compensada apresenta algumas vantagens, é mais resistente na direção normal às fibras, reduz trincas na cravação de pregos e permite o emprego de madeira mais resistentes nas capas externas e menos resistentes nas camadas interiores [6,18].

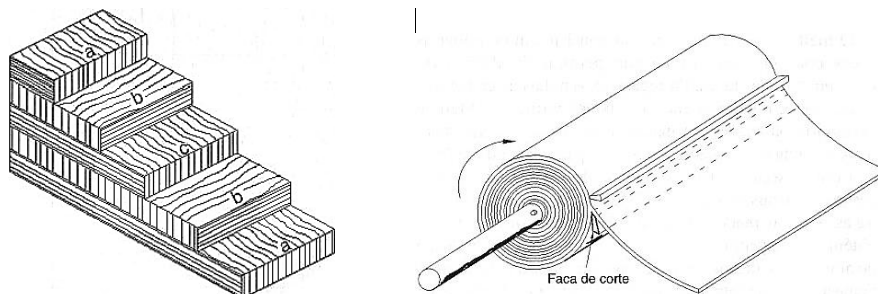


Figura 30 – Seção de uma peça de madeira compensada, destacando as camadas de madeira. As camadas externas (a) e a camada central (c) têm as fibras na direção longitudinal. As camadas intermediárias (b) têm as fibras na direção transversal [6]. **Figura 31** – Corte rotatório de lâminas de madeira [6].

3.6.3 Madeira aglomerada

Madeira aglomerada são denominadas as chapas e artefatos obtidos pela aglomeração de pequenos fragmentos de madeira – cavacos, aparas, maravalhas, virurtas ou flocos. O aglomerante empregado, a granulometria dos fragmentos e a pressão exercida na compactação dos “colchões” de mistura, durante a fabricação, diferenciam os tipos de chapas aglomeradas e suas características físico-mecânicas finais [3,18].

As chapas após saírem das câmaras de cura ou climatização, recebem um acabamento final de lixamento, pintura ou revestimento. As chapas de madeira aglomerada são homogêneas (sem veios ou nós), fabricadas com partículas de madeira ou outros materiais, aglutinados por meio de uma resina e, em seguida, prensados sob altas temperaturas [18].

O aglomerante empregado pode ser mineral (cimento Portland, gesso, magnésia sorel) ou resinas sintéticas. No caso do emprego do cimento portland, exemplo mostrado na figura 31, as maravalhas recebem um tratamento mineralizador, banho em cloreto de cálcio diluído para propiciar sua aderência com o cimento. Essas chapas mineralizadas recebem os mais variados acabamentos de acordo com o local de uso, interior ou exterior. Dependendo de sua densidade, apresentam, além de características físicas de reduzida retratilidade, isolamento térmico e absorção acústica, resistência à flexão e à ruptura, posição sem direção definida das superfícies das partículas e uma relativa resistência mecânica [1,18].

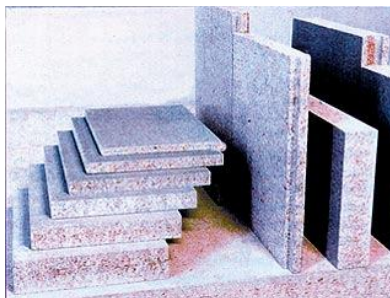


Figura 31 – Chapas de cimento-madeira [11].

As chapas de cimento-madeira possuem resistência ao ataque de fungos e cupins, tem um bom isolamento térmico e acústico, apresenta propriedades incombustíveis e fácil trabalhabilidade [11].

3.6.3.1 MDF

O MDF (Medium Density Fiberboard) é uma chapa de fibra de média densidade, preenche grande parte dos requisitos técnicos que não são atendidos pelos aglomerados, como maior uniformidade e acabamento, devido aos cantos firmes, maior densidade e maiores espessuras, na qual, por um processo de alta temperatura e emprego de pressão, fibras de madeira são aglutinadas por resinas sintéticas. Para a obtenção das fibras, a madeira é cortada em pequenos cavacos que, em seguida são triturados por equipamentos [11].

A homogeneidade proporcionada pela distribuição uniforme das fibras possibilita ao MDF diversos tipos de acabamentos e não apresenta a presença de nós, veios reversos e imperfeições típicas do produto natural [18].

O processo de produção é semelhante ao dos aglomerados, e possuem três tipos de MDF, sendo eles - 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 [11,17,18].

3.6.3.2 OSB

Os painéis de partículas orientadas, conhecidos como OSB, surgiram para atender características não presentes nos aglomerados e nas chapas de MDF, que era a de possuir resistência mecânica para fins estruturais.

Estes painéis são formados a partir de partículas de madeira orientadas de uma mesma direção e prensadas com resinas, podendo alcançar a resistência dos compensados por preços inferiores.

A diferenciação em relação aos aglomerados tradicionais se refere à impossibilidade de utilização de resíduos de serraria na sua fabricação. Suas propriedades mecânicas e físicas se assemelham às da madeira sólida [2,11,18].

3.6.4 Madeira reconstituída

Madeira reconstituída é o nome empregado para chapas obtidas pela reaglomeração da madeira reduzida a fibras celulósicas – separadas e dispersas – extraídas do lenho das madeiras. Essas fibras são unidas sob pressão, sem adição de ligante, apenas por intermédio da lignina que as fibras contêm, figura 32. A madeira natural passa por um processo que a transforma em fibras, partículas ou lâminas, para depois ser reconstituída em forma de chapas ou painéis planos, de grandes dimensões e espessuras variadas. Graças a variação de pressão, durante a fase produtiva, obtêm-se placas com densidades diferentes. As placas mais leves são usadas para isolamento térmico e acústico, e as mais pesadas, pelas características de resistência, são empregadas como elementos estruturais, figura 33 [3,18].

As vantagens da madeira reconstituída são a homogeneidade, resistência mecânica, durabilidade, permite ser cortado, furado, curvado, superfícies externa lisa e plana, e a característica mais importante – qualidade e propriedades iguais em todas as direções relativas ao plano da chapa [18].

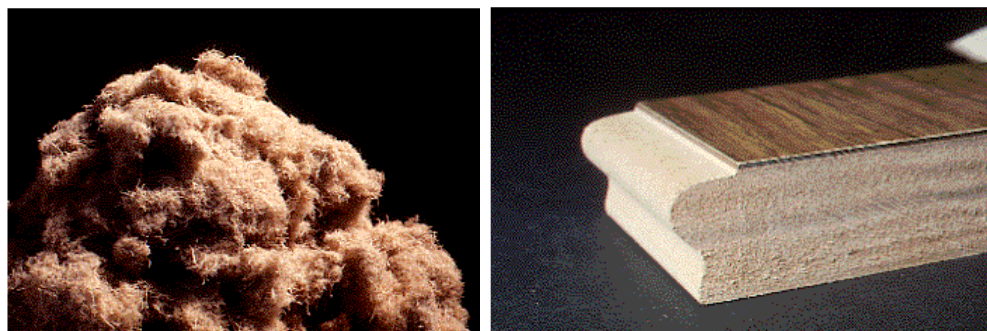


Figura 32 – Fibras produzidas pelo processo de refinação e formam as matérias primas de compósitos como o painel de fibras [1].

Figura 33 - Placa de fibra de média densidade com revestimento em verniz. As bordas podem ser moldadas e acabadas conforme exigido pelo produto final [1].

4 Conclusões

O trabalho proporcionou um melhor entendimento sobre as relações entre as características da madeira e a ciência dos materiais, através do estudo da sua estrutura como compósito

natural e suas propriedades que promovem melhorias para a fabricação de diversos produtos provenientes da madeira.

As propriedades físicas e mecânicas demonstram que a madeira pode estar sujeita a diversas solicitações, em que alguns momentos elas tendem ser de maior ou menor intensidade dependendo da direção da fibra. Dois pontos importantes das propriedades físico-mecânicas foram a anisotropia e a retratilidade, que estão relacionados ao ângulo de aplicação do esforço em função da orientação das fibras e aos defeitos nas madeiras provenientes da perda ou ganho de água que influenciam diretamente na fase de secagem.

Este trabalho, serve como uma revisão do que tem sido tratado pela literatura em relação a madeira e suas propriedades como compósito natural. Através das pesquisas realizadas, conclui-se que o Brasil tem investido em pesquisas utilizando diversos tipos de aglomerantes combinados com as fibras naturais, por apresentar vantagens, como o menor custo, e serem obtidos a partir de fontes renováveis de baixa densidade e bom desempenho mecânico. Além disso, 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.

5 Referências

- [1] FOREST PRODUCTS LABORATORY. Wood handbook—Wood as an engineering material. Gen. Tech. Rep. FPL–GTR–113. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Forest Products Laboratory. 463 p, 1999.
- [2] BRITZ, C. A; NOGUEIRA, V. Inter-relação entre as propriedades e a microestrutura das madeiras. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- [3] BAUER, F. Materiais de Construção 2. Revisão técnica João Fernandes. Volume 2, Rio de Janeiro: LTC, 5ª edição, 538p, 2008.
- [4] BUZAR, M. A. R. ; MELO, J. E. . Fundamentos Estruturais Sustentáveis. In: Marta Adriana Bustos Romero. (Org.). Reabilitação Ambiental Sustentável Arquitetônica e Urbanística. 2ed.Brasília: ETB/UnB, 2015, v. 2, p. 673-756.

-
- [5] ALMEIDA, Pedro Afonso de Oliveira. Madeira como material estrutural. Disponível em: <[https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/393004/mod_resource/content/1/Madeira como material estrutural.pdf](https://edisciplinas.usp.br/pluginfile.php/393004/mod_resource/content/1/Madeira_como_material_estrutural.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [6] PFEIL, W.; PFEIL, M. Estruturas de Madeira. Rio de Janeiro. Livros Técnicos e Científicos Editora. 6ª ed. 2003.
- [7] COUTINHO, Joana de Souza. Madeiras. 1999. Disponível em: <https://paginas.fe.up.pt/~jcouti/Madeiras_99.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [8] MORESCHI, João Carlos. Propriedades da Madeira. 2005. Disponível em: <[http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES DA MADEIRA.pdf](http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES_DA_MADEIRA.pdf)>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [9] GESUALDO, Francisco A. Romero. Estruturas de Madeira. 2003. Disponível em: <http://usuarios.upf.br/~zacarias/Notas_de_Aula_Madeiras.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [10] RITTER, M. A. Timber bridges. Forest Products Laboratory - Forest Service, Madison, 1990.
- [11] MELLO, Roberto Lecomte de. Projetar em Madeira: uma nova abordagem. 2007. 198 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Arquitetura e Urbanismo, Tecnologia, Universidade de Brasília, Brasília, 2007.
- [12] SZUCS, C.A; TEREZO, R.F; VALLE, A; MORAES, P.D. Estruturas de Madeira. Versão 3. Universidade Federal de Santa Catarina, Departamento de Engenharia Civil, Florianópolis, 219p, 2015.
- [13] CALIL JUNIOR, Carlito; BARALDI, Lívio Túlio; STAMATO, Guilherme Corrêa. Set 406 - Estruturas de Madeira. 1998. Disponível em: <<http://www.civilnet.com.br/ENGCIVIL-MADEIRA.html>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [14] MIRANDA et al. Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Parkia gigantocarpa* Ducke. **Ciência da madeira**, v. 03, n. 02, p.55-65, nov. 2012.
- [15] MELO et al. Comportamento reológico da madeira e derivados. **Ciência da madeira**, v. 01, n. 01, p.25-40, maio. 2010.

-
- [16] GAVASSONI NETO, Prof. Elvidio. Propriedades da Madeira. Curitiba: Apresentação, 2015. 89 slides, color.
- [17] ZENID, Geraldo José; NAHUZ, Marcio Augusto Rabelo; MIRANDA, Maria José de Andrade Casimiro. Madeira: Uso sustentável na construção civil. 2003. Disponível em: <<http://www.fca.unesp.br/Home/Extensao/GrupoTimbo/manualUsodaMadeira.pdf>>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [18] ROSA, Willian de Araujo. Madeiras. Disponível em: <http://www.profwillian.com/estruturas_madeira/04-Tipos_de_madeiras.pdf>. Acesso em: 14 maio 2018.
- [19] POLETTTO, Matheus. Compósitos termoplásticos com madeira - uma breve revisão. Revista Interdisciplinar de Ciência Aplicada, Petrópolis, v. 4, n. 2, p.42-48, set. 2017.
- [20] YOUNGQUIST, John A. Wood-Based Composites: The Panel and Building Components of the Future. 1988. Disponível em: <<https://www.fpl.fs.fed.us/documnts/pdf1988/young88c.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- [21] PAULA, Paula Gomes de. Formulação e caracterização de compósitos com fibras vegetais e matriz termoplástica. 2011. 102 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Engenharia e Ciência dos Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2011.
- [22] SILVA, Cristina Gomes da. Fibras celulósicas têxteis em compósitos de matriz fenólica. 2006. 177 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Ciência e Engenharia de Materiais, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2006.
- [23] MATTHEWS, Frank L.; RAWLINGS, R D. Composite Materials: Engineering and Science. North America: Crc Press, 1999. 480 p.
- [24] KLOCK, Umberto. Lignina: Disciplina química da madeira. Disponível em: <<http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasklock/quimicadamadeira/lignina20132.pdf>>. Acesso em: 21 maio 2018.
- [25] SILVA, Isabela Leão Amaral da. Propriedades e estrutura de compósitos poliméricos reforçados com fibras contínuas de juta. 2014. 110 f. Tese (Doutorado) - Curso de Engenharia e Ciências de

Materiais, Universidade Estadual do Norte Fluminense Darcy Ribeiro, Campos dos Goytacazes, 2014.

- [26] DIAS, Otávio Augusto Tilton. Desenvolvimento de compósitos de engenharia baseados em polipropileno reforçado com lignina. 2016. 108 f. Tese (Doutorado) - Curso de Ciência Florestal, Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp, Botucatu, 2016.