

# MADEIRA: FONTE PARA O DESENVOLVIMENTO DE NOVOS PRODUTOS E EQUIPAMENTOS

Rogério Pinto Alexandre<sup>1</sup>

## Introdução

Historicamente, o desenvolvimento e o avanço das sociedades estão intimamente ligados às habilidades dos seus membros em produzir e manipular os materiais para satisfazer as suas necessidades. De fato, as civilizações antigas foram designadas de acordo com o seu nível de desenvolvimento em relação aos materiais (Idade da Pedra, Idade do Bronze).

Os primeiros seres humanos tiveram acesso a apenas um número limitado de materiais, aqueles presentes na natureza: pedra, madeira, argila, peles, e assim por diante. Com o tempo, descobriram técnicas para a produção de materiais com propriedades superiores às das dos materiais naturais; esses novos materiais incluíram as cerâmicas e vários metais. Além disso, foi descoberto que as propriedades de um material podiam ser alteradas por meio de tratamentos térmicos e pela adição de outras substâncias. Naquele ponto, a utilização dos materiais era um processo totalmente seletivo, isto é, consistia em decidir dentre um conjunto específico e relativamente limitado de materiais aquele que mais se adequava a uma dada aplicação, em virtude de suas características.

O desenvolvimento de muitas tecnologias que tornam nossa existência tão confortável está intimamente associado ao acesso a materiais adequados. Um avanço na compreensão de um tipo de material é com frequência o precursor para o progresso escalado de uma tecnologia.

A madeira é um material sólido, originário de plantas vasculares ou lenhosas, que apresenta características intrínsecas que a tornam um material único na natureza. Exibe propriedades excepcionais, revelando grande complexidade em sua composição e organização, afetando diretamente seu comportamento em uso.

Dada sua maleabilidade e fácil obtenção, a madeira foi um dos primeiros

---

<sup>1</sup> Doutor em Agronomia (Energia na Agricultura) – UNESP/Botucatu, Docente no Instituto Federal de São Paulo – IFSP Campus Birigui e na Faculdade de Tecnologia Prof. Antonio Seabra – FATEC Lins. E-mail: rpalexandre@ifsp.edu.br

materiais a ser manuseado e transformado pelo ser humano, acompanhando fielmente a sucessão de civilizações, até os dias de hoje. Pode ser utilizada em diversos segmentos e aplicações, desde o uso energético, ferramentas como vara de pesca, arco e flechas, até ser utilizada em casas, barcos, igrejas e pontes.

No campo energético, a madeira é tradicionalmente chamada de lenha e, nessa forma, sempre ofereceu histórica contribuição para o desenvolvimento da humanidade, tendo sido sua primeira fonte de energia, inicialmente empregada para aquecimento e cocção de alimentos. Ao longo dos tempos, passou a ser utilizada como combustível sólido, líquido e gasoso, em processos para a geração de energia térmica, mecânica e elétrica.

Atualmente, há tendências muito diversas quanto ao uso da madeira, com o emprego de tecnologias, pesquisa e produção. Ao observar a evolução da humanidade, é possível notar seu avanço junto ao desenvolvimento do uso da madeira – sua utilização pode ser vista mesmo nas mais antigas cabanas e palafitas.

O Brasil é reconhecido mundialmente pela riqueza da biodiversidade de suas florestas e, no entanto, boa parte dos consumidores de madeiras dessas florestas pouco ou nenhum conhecimento tem a respeito da origem deste insumo e do tipo de pressão que o uso intensivo e constante de umas poucas espécies causa ao Meio Ambiente.

O uso da madeira é fundamental para todos os segmentos e, em especial, para os relacionados a produção de alimentos. A madeira pode ser utilizada na construção de silos destinados ao armazenamento e conservação de grãos secos, sementes, cereais e forragens verdes; na construção de paióis para armazenamento e secagem de milho; em granjas aviárias, pode ser utilizada tanto na construção da estrutura do telhado quanto na forração disposta no piso da mesma, onde se encontram os frangos e galinhas; em granjas suínas pode ser usada na estrutura da cobertura, como piso e divisórias entre as baias do galpão. É muito utilizada no Brasil rural, em “fogões à lenha” para assar e cozinhar alimentos.

## **Madeira e seu uso**

A madeira é formada por um conjunto de tecidos que, por sua vez, é formado por um conjunto heterogêneo de diferentes tipos de células, com propriedades específicas para desempenharem funções vitais para o vegetal, tais como condução de líquidos; transformação, armazenamento e transporte de substâncias nutritivas e sustentação vegetal. Nesse aspecto, o grande atrativo para o uso da madeira é exatamente a variação de sua estrutura, possibilitando os mais variáveis e sofisticados usos.

As madeiras são classificadas, usualmente, em dois grupos principais, as gimnospermas, também conhecidas por coníferas e as angiospermas ou folhosas.

Nas gimnospermas, são encontradas plantas com folhas aculiformes (em forma de agulhas) e “frutos” sem casca, em forma de cone com sementes expostas; já nas angiospermas estão presentes as plantas com folhas largas e sementes encerradas dentro de um fruto, onde se encontram as dicotiledôneas, que respondem pela produção de madeira.

Dentre os diversos produtos e aplicações da madeira, têm-se as madeiras

roliça, serrada, beneficiada, lâminas, painéis, compensado, MDF – *Medium Density Fiberboard* ou chapa de densidade média, MDP – *Medium Density Fiberboard* ou chapa de partículas de média densidade e OSB – *Oriented Strand Board* ou painéis de partículas orientadas.

A madeira pode ser utilizada inteira, maciça, sendo apenas esculpida, como em canoas ou mastros de barcos, entretanto o uso dessa técnica requer a poda de árvores muito grandes. Outro método de se trabalhar a madeira é utilizá-la com encaixes do tipo sambladura (macho e fêmea), técnica milenar utilizada em várias partes do mundo, sendo característica na arquitetura vernacular medieval de países nórdicos como Dinamarca, Inglaterra e Alemanha.

No Brasil a madeira ainda funciona como um divisor de águas, sendo utilizada em seus restos para confecção de barracões, para moradias temporárias, ou usada maciçamente, no típico móvel colonial. Ambiguamente, a madeira é constantemente empregada na construção civil, de forma temporária, na instalação do canteiro de obras, nos andaimes, nos escoramentos e nas fôrmas de concreto. De forma definitiva, é utilizada apenas nas esquadrias, estruturas de cobertura, forros e pisos.

Enquanto a demanda por madeira aumenta em todo o mundo, há uma redução das madeiras de alta qualidade e grande diâmetro. Isso, combinado com as preocupações ambientais e as mudanças nas práticas de gestão florestal, torna o custo da madeira maciça cada vez mais alto e seu uso mais restrito e, nesse quesito, o uso da madeira laminada colada se mostra triunfante pela facilidade de se utilizar de várias peças pequenas ao invés de grandes troncos, como exigem outras técnicas.

Outra tendência é o uso de madeiras de reflorestamento como matéria prima para construção. A madeira de reflorestamento exige um redirecionamento dos plantios, enfocando manejos e ciclos de corte que permitam produção de madeira com melhores propriedades físicas e mecânicas.

A tecnologia tem ampliado a gama de novos produtos derivados da madeira, seja em diferentes formas, seja em combinação com outros materiais, visando sempre o melhor desempenho do produto no fim a que se destina, e otimização do uso da matéria-prima e a redução dos custos de processamento.

Muitos dos processos desenvolvidos baseiam-se no emprego de matéria-prima produzida em florestas de rápido crescimento, especialmente para um determinado fim. Isto é reflexo de uma demanda especializada, exigente não só em relação ao desempenho do produto, mas também em relação à sua aparência. Exemplos podem ser facilmente apontados, como é o caso dos painéis MDF produzidos com misturas de espécies, resultando em painéis de cor mais escura, logo recusados pelo mercado mais sofisticado.

Entretanto, nota-se rotineiramente o uso de armários e móveis planejados a base de madeira em MDF ou MDP para o armazenamento de cereais, grãos e inúmeras categorias de alimentos, tanto em ambientes residenciais quanto nos comerciais.

Contudo, uma vertente de interesse crescente tem sido a utilização de resíduos de processamento mecânico ou químico de madeiras na produção de painéis, dentro do princípio de reuso ou mesmo de reciclagem de materiais

Exemplo recente é o desenvolvimento de painéis produzidos com madeira sólida e com partículas de madeira tratada com CCA, um preservante de madeira à base de cobre, cromo e arsênio. Este material, proveniente de descarte, passaria a constituir-se em potencial contaminante ambiental. Com o reaproveitamento destes produtos na forma de painéis, um potencial agente contaminante passou a constituir-se em matéria-prima, gerando outros produtos de alta durabilidade.

O mercado requer produtos de bom desempenho, menor custo, esteticamente agradáveis e crescentemente sadios do ponto de vista ambiental.

As propriedades básicas da madeira variam muito entre as espécies e na escolha da madeira correta para um determinado uso, deve-se considerar quais as propriedades e os respectivos níveis requeridos para que a madeira possa ter um desempenho satisfatório. Esse procedimento é primordial, principalmente em países tropicais onde a variedade e o número de espécies de madeiras existentes na floresta são expressões da sua biodiversidade.

A variedade de espécies de madeira - e a amplitude de suas propriedades - existente na floresta amazônica dificulta as atividades de exploração florestal sustentada e mesmo uma comercialização mais intensa do potencial madeireiro da floresta, sobretudo naqueles mercados abastecidos tradicionalmente por poucas espécies de madeira.

Tais circunstâncias sugerem uma abordagem para redução da heterogeneidade das madeiras, através do grupamento ou reunião das mesmas em categorias de propriedades comuns.

Há processos de seleção de madeiras, como o utilizado na norma NBR 7190 "Projeto de estruturas de madeiras" da Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT. Nessa norma foram estabelecidas três classes de resistência - C20, C25 e C30 - para as madeiras de coníferas (pinus e pinho-do-paraná, p. ex.) e quatro classes - C20, C30, C40 e C60 - para as madeiras de dicotiledôneas (peroba-rosa, ipê, jatobá, p. ex.). No estabelecimento dessas classes foram consideradas propriedades físicas (densidade de massa básica e aparente), de resistência (compressão paralela às fibras e cisalhamento) e de rigidez (módulo de elasticidade).

A utilização de classes de resistência elimina a necessidade da especificação da espécie da madeira, pois em um projeto estrutural desenvolvido de acordo com essa norma bastará a verificação das propriedades de resistência de um lote de peças de madeira à classe de resistência especificada no projeto. É importante salientar que a necessidade de especificar a espécie de madeira foi suprimida no que diz respeito à resistência mecânica. Entretanto, isto ainda é necessário quando se precisa empregar madeiras naturalmente resistentes ou permeáveis às soluções preservantes, em função da classe de risco de deterioração biológica a que a madeira estará exposta, e quando se precisa conhecer as características de trabalhabilidade e de decoratividade da madeira.

Desta forma, surge-se a necessidade e importância de equipamentos para a classificação de madeiras, sobretudo em condições de campo, para contribuir e facilitar na correta identificação de acordo com a aplicação a ser destinada para a madeira.

O mercado de madeiras tem carência de durômetros portáteis que

viabilizem ensaios em condições de campo. Alguns pesquisadores já desenvolveram protótipos com esta finalidade, porém ainda não apresentaram um equipamento portátil, preciso e automatizado.

O Departamento de Engenharia Rural da FCA/Unesp de Botucatu-SP, com o Grupo de Pesquisa “Produtos florestais: tecnologias e uso”, desenvolveu a terceira versão de um durômetro portátil para madeiras – DPM3 – de fácil utilização, com tecnologia capaz de medir a dureza do material de um modo automatizado e preciso. Além disso, o equipamento permite a exportação de dados de ensaio para dispositivos móveis, automatizando também a produção de relatórios de ensaios.

Este produto é especial por sua portabilidade, simplicidade de utilização e pela tecnologia eletrônica que emprega, o que permite a realização de medições rápidas e precisas. Um teste tradicional de dureza, aplicável em máquinas de laboratório, leva no mínimo um minuto para ser realizado, porém apenas cinco segundos são suficientes para avaliação da dureza com o DPM3.

A portabilidade deste produto, aliada à sua precisão, supre a demanda de empresas que têm a necessidade de avaliação de dureza de madeiras em condições de campo; já a simplicidade de utilização abona o DPM3 para utilização também em laboratórios.

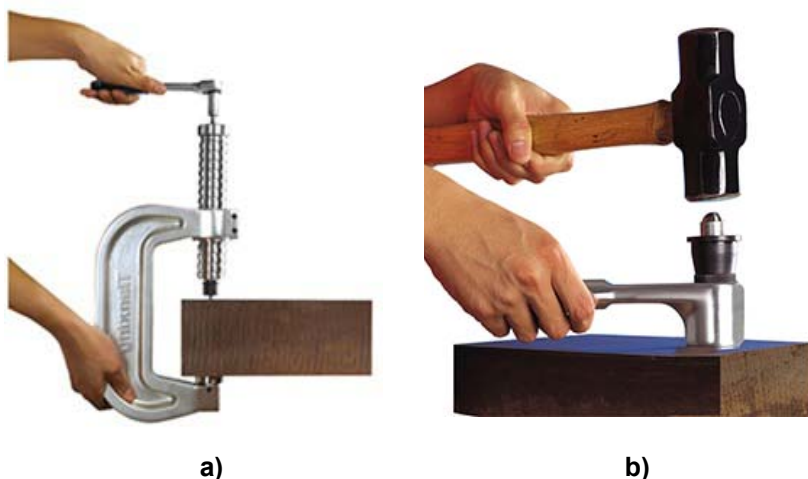
### **Equipamentos para classificação de materiais**

No mercado brasileiro não existem equipamentos portáteis específicos para a medição de dureza em madeiras em condições de campo. De uma busca em catálogos e sites das principais empresas fornecedoras, em 2006, dessas linhas de equipamentos, foram identificadas as seguintes ocorrências:

- Durômetro Portátil tipo King, para a avaliação da dureza Brinell, marca Indentec – Inglaterra – Modelo 134.
- Laminated Wood Hardness Testing Tool.
- Durômetro Shore Modelo ES19-HP.
- Durômetro Portátil com leitura eletrônica digital – modelo TH 130.
- Durômetro em fase de testes – dureza Janka – do Instituto de Pesquisas Tecnológicas – IPT.

Adicionalmente, realizou-se nova busca em catálogos e sites das principais empresas fornecedoras dessas linhas de equipamentos, sendo identificadas as seguintes ocorrências (Figura 1):

- Durômetro C-Clamp com uso de pinos de cisalhamento.
- Durômetro de impacto com uso de pinos de cisalhamento.



**Figura 1.** Durômetros portáteis. a) Durômetro C-Clamp. b) Durômetro de impacto com uso de pinos de cisalhamento. Fonte: INSTRUMENTS, 2016

Dentro dessa linha de atuação, o Departamento de Engenharia Rural da FCA/Unesp de Botucatu-SP, com o Grupo de Pesquisa “Produtos florestais: tecnologias e uso” vem trabalhando desde 1992 com ensaios não destrutivos na avaliação de dormentes prismáticos de madeira de reflorestamento.

O Durômetro é destinado a medir a dureza dos materiais, que expressa a resistência que um material oferece à endentação (ou penetração) de um corpo. Para a madeira, os ensaios Janka e Brinell têm sido tradicionalmente utilizados e pesquisas recentes têm enfatizado a demanda do mercado por durômetros portáteis para madeira. Em um teste típico por endentação, uma ferramenta de dureza elevada e com geometria conhecida é pressionada contra o material em avaliação e a dureza é obtida pela razão entre a força aplicada e a endentação promovida no material.

Na terceira versão do durômetro (Figura 2), utiliza-se de instrumentação – sensor de deslocamento – que permite a leitura praticamente imediata da endentação. Além disso, permite o monitoramento, ao longo de todo o desenvolvimento do fenômeno de endentação, da força instantânea atuante e do correspondente deslocamento.

Por essas características, o equipamento tem a potencialidade de avaliar parâmetros de resistência do material ensaiado, bem como de rigidez (força para promover deslocamento unitário), permitindo uma caracterização mecânica mais completa e abrangente do material testado. Por possibilitar variações na energia de endentação (altura da queda livre da massa e valor da massa) bem como na área do endentador (que é intercambiável), tem potencial de uso praticamente ilimitado, abrangendo uma vasta gama de materiais.

O DPM3 é um equipamento mecânicoeletrônico desenvolvido com o objetivo principal de medir a dureza de materiais. Seu princípio de funcionamento é semelhante ao do ensaio de dureza Brinell, ou seja, uma ponteira em formato esférico com diâmetro conhecido é comprimida por uma força conhecida sobre o material a ser avaliado. O valor de dureza é obtido pela relação entre a força aplicada e a área da calota esférica que será impressa no material avaliado (endentação).

A instrumentação trouxe um grande ganho quantitativo nas informações do fenômeno. De uma única informação – endentação, da versão original – passou-se a trabalhar com cerca de 18 parâmetros diretamente correlacionados com o fenômeno, já que o sinal digital de deslocamento pode ser derivado, gerando sinais de velocidade (primeira derivada) e de aceleração (segunda derivada), permitindo o monitoramento geral do processo, análises e comparações com condições predefinidas.

O DPM3 armazena todo o processo de deslocamento do indentedor no controlador digital de sinais (DSC) durante a realização do ensaio, com a leitura de 8092 amostras de deslocamento do indentedor, calcula e exibe num display o valor da dureza imediatamente após a realização de cada ensaio, com uma taxa de aquisição de 20 kHz, armazenando o evento completo com duração de 404,6 milissegundos. O algoritmo do processador do DPM3 só permite a realização do ensaio se a altura máxima de elevação da massa for atingida – aqui referida como posição de ensaio.



**Figura 2.** Versão final do durômetro portátil para madeiras – DPM3. a) detalhe do painel eletrônico. b) equipamento na posição vertical. c) visão geral. Fonte: Elaborado pelo autor, 2016

Para o armazenamento e envio dos dados coletados pelo DPM3, foi desenvolvido um aplicativo específico em linguagem Java (ainda não distribuído comercialmente), para ser utilizado no sistema operacional móvel *Android*. Este aplicativo tem as funções de receber, exibir em gráfico e salvar os dados transmitidos pelo DPM3, além de produzir os relatórios de ensaio realizados, conforme ilustrado na Figura 3.

Os sinais de deslocamento foram processados em programa computacional *Matlab*®, para a identificação e extração das principais características dos sinais, que compreendeu a obtenção dos sinais de velocidade e aceleração – a partir da diferenciação dos sinais de deslocamento – e a identificação de outras características importantes.



**Figura 3.** Exibição dos dados coletados via *software* instalado no *smartphone*.

Fonte: Elaborado pelo autor, 2016

O DPM3 é um equipamento inovador com muitas potencialidades a serem ampliadas e exploradas, com base nos excelentes resultados preliminares obtidos. Os sinais digitais do DPM3 poderão ser utilizados em trabalhos futuros para comparações com outros produtos à base de madeira – como painéis de madeira e pisos – e também em outras espécies de madeira, com o intuito, ainda, de expandir o entendimento do próprio fenômeno de endentação dinâmica na madeira.



## Referências

- ALEXANDRE, R. P. **Sinais digitais de um durômetro portátil para a estimativa de propriedades de madeiras para dormentes**. 2015, 97 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2015.
- BALLARIN, A. W.; ALMEIDA, P. A. O.; LARA PALMA, H. A.; COLENCI, R. A. Portable hardness tester for timber classification. **WCTE 2010 - World Conference on Timber Engineering**, Riva Del Garda, 2010. 1-8.
- CALLISTER JR., W. D.; RETHWISCH, D. G. **Ciência e Engenharia de Materiais: uma introdução**. Rio de Janeiro: LTC, 8 ed., 2012, 817p.
- BRITO, José Otávio. O uso energético da madeira. **Estud. av.**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 185-193, Abr. 2007. Disponível em <[http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci\\_arttext&pid=S0103-40142007000100015&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S0103-40142007000100015&lng=en&nrm=iso)>. Acesso 15 Ago. 2016.
- COLENCI, R. A. **Desenvolvimento de equipamento para avaliação em campo da dureza de madeiras para dormente ferroviário**. 2006, 101 p. Tese (Doutorado em Agronomia - Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.
- DOYLE, J.; WALKER, J. C. F. Indentation hardness of wood. **Wood and Fiber Science**, v. 17, n. 3, p. 369-376, 1985.
- INSTRUMENTS, Shenyang Tianxing Testing. **Brinell Hardness Tester**. 2016. Disponível em: <[http://www.txinstruments.com/ImgText/ImgText\\_137\\_1.html](http://www.txinstruments.com/ImgText/ImgText_137_1.html)>. Acesso em: 01 set. 2016.
- MATLAB. **Matlab R2011a**, The MathWorks Inc., USA, 2011.
- SCHEFFER, C.; KRATZ, H.; HEYNS, P. S.; KLOCKE, F. Development of a tool wear-monitoring system for hard turning. **International Journal of Machine Tools & Manufacture**, v. 43, p. 973-985, 2003.
- ZENID, G.J. **Madeira: uso sustentável na construção civil**. 2. ed. São Paulo : IPT, 2009. 99p.
- ZIECH, R. Q. S. **Características tecnológicas da madeira de cedro australiano (*Toonaciliata M. Roem*) produzida no sul do estado de Minas Gerais**. 2008, 91 p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2008.