Eucalyptus Online Book & Newsletter

Celsius Degree / Grau Celsius

Qualidade da Madeira do Eucalipto

Acerca dos Acertos e Erros na Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade de Madeiras

Celso Foelkel
http://www.celso-foelkel.com.br
http://www.eucalyptus.com.br
https://www.linkedin.com/profile/view?id=48985640&trk
https://www.researchgate.net/profile/Celso_Foelkel
https://twitter.com/AVTCPEP
https://twitter.com/CFoelkel

Julho 2015

Eucalyptus Online Book & Newsletter

EUCALYPTUS ONLINE BOOK

CAPÍTULO 42

Qualidade da Madeira do Eucalipto

Acerca dos Acertos e Erros na Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade de Madeiras

Uma realização:

º Celsius Degree / Grau Celsius
Negócios em Gestão do Conhecimento

Autoria: **Celso Foelkel**

==========

Organizações facilitadoras:

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais

Empresas e organizações patrocinadoras:

Fibria

ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel

ArborGen Tecnologia Florestal

Celulose Irani

CENIBRA – Celulose Nipo Brasileira

CMPC Celulose Riograndense

Eldorado Brasil Celulose

IBÁ – Indústria Brasileira de Árvores

Klabin

Lwarcel Celulose

Pöyry

Solenis

Stora Enso Brasil

Suzano Papel e Celulose

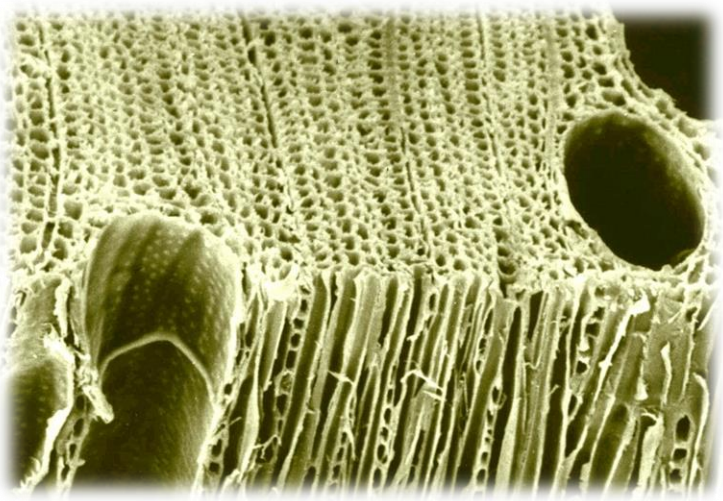
Qualidade da Madeira do Eucalipto

Acerca dos Acertos e Erros na Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade de Madeiras

CONTEÚDO DO CAPÍTULO

- APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO E AGRADECIMENTOS
- ACERCA DA MADEIRA E DA SUA QUALIDADE
- TIPOS DE DENSIDADE DA MADEIRA
- DIFICULDADES, DISSINTONIAS E CONFLITOS MAIS COMUNS DOS QUE ANALISAM ÁRVORES E MADEIRAS
- TUDO COMEÇA NA AMOSTRAGEM DE ÁRVORES, TORAS E CAVACOS
- BREVE RELATO SOBRE AS METODOLOGIAS PARA MEDIÇÕES DE DENSIDADE DA MADEIRA
- MÉTODOS VOLUMÉTRICOS BASEADOS EM IMERSÃO EM ÁGUA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA
- MMTU – MÉTODO DO MÁXIMO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA
- MÉTODOS RÁPIDOS PARA RESULTADOS DE CURTO PRAZO
- OUTROS MÉTODOS MENOS TRADICIONAIS
- EQUIPAMENTOS MULTIFUNCIONAIS PARA AVALIAÇÕES DE QUALIDADE DA MADEIRA
- CONSIDERAÇÕES FINAIS
- REFERÊNCIAS DA LITERATURA

==========



Qualidade da Madeira do Eucalipto

Acerca dos Acertos e Erros na Utilização da Densidade Básica como Indicador de Qualidade de Madeiras

Com esse conjunto de textos sobre qualidade da madeira, espero estar trazendo algumas considerações vitais para que os estudos desse importante tema possam ser mais bem avaliados e entendidos, oferecendo maiores níveis de confiabilidade para as tomadas de decisão no setor de base florestal.

==========

APRESENTAÇÃO DO CAPÍTULO E AGRADECIMENTOS

Esse capítulo de número 42 dá continuidade a uma série de diversos capítulos de nosso livro digital sobre a temática ***Qualidade da Madeira do Eucalipto***, orientada para utilizações industriais da mesma. Esperamos com esse novo conjunto de capítulos trazer, não apenas embasamentos teóricos, mas também muitas aplicações práticas para os inúmeros conceitos de qualidade da madeira para alguns setores industriais, os quais se valem do uso da madeira do eucalipto.

Nesse segundo capítulo, eu tentei apresentar alguns tipos de dissintonias comuns, que acontecem na vida prática e mesmo acadêmica, onde alguns enganos vêm sendo cometidos por muitos dos que tentam utilizar a densidade básica como um parâmetro de qualidade das madeiras. É claro que existem muitos exemplos altamente positivos e relevantes acerca do bom uso da densidade básica; porém, em alguns casos, decisões com baixo grau de embasamentos e fundamentações são tomadas, devido ao uso de valores não tão adequados de densidade básica. Os enganos ou estão nas coletas de amostras, ou no tamanho das amostras, ou mesmo na execução dos testes de medição da densidade.

Existem milhares de estudos sobre densidade básica das madeiras de eucaliptos, em especial orientados para o setor industrial de produção de celulose e papel. Isso porque a madeira do eucalipto tem tido maiúsculo crescimento de uso por esse segmento industrial. Entretanto, a madeira do eucalipto também tem crescido em utilização em setores como bioenergia (lenha e carvão vegetal), produção de

painéis e chapas de madeira, produtos de madeira serrada e derivados com maior valor agregado, madeira tratada, usos estruturais, etc., etc.

Os dois capítulos iniciais dessa série do **Eucalyptus Online Book** (Capítulos 41 e 42) estarão mais focados em caracterização da madeira e nos estudos de sua densidade básica. Nesse segundo capítulo dessa série de **Qualidade da Madeira do Eucalipto**, cheguei até mesmo a reproduzir alguns dos textos iniciais do capítulo anterior (Número 41) com o objetivo de fornecer aos leitores desse capítulo 42, alguns fundamentos alicerçantes para que pudessem entender com maior facilidade o que seria apresentado dessa vez.

A seguir, conforme formos evoluindo nesse tema, outros capítulos surgirão sobre a qualidade da madeira dos eucaliptos, especificamente para diversas de suas utilizações industriais. No início, daremos mais ênfase em estudos realizados no Brasil, justamente o país líder em plantações de eucaliptos para finalidades industriais. A seguir, em futuros capítulos, passaremos a ampliar o foco para temáticas de qualidade da madeira de outras espécies de eucalipto e outras utilizações, realizados em diversas outras regiões do planeta.

Os dois primeiros capítulos dessa série discutem a qualidade da madeira sob a ênfase de sua densidade básica e de outros tipos de densidade, que podem ser avaliados na madeira. Depois, tentarei focar a qualidade da madeira para a produção de celulose e papel, painéis e chapas de madeira, bioenergia (carvão e lenha energética), produtos serrados, madeira tratada, etc. Com isso, espero estar ampliando o foco de produtos e de regiões, colocando a madeira do eucalipto onde ela merece estar, como matéria-prima lenhosa global para inúmeras aplicações industriais. E também, ajudando a se colocar a madeira dos eucaliptos no seu devido e merecido lugar.

A qualidade da madeira do eucalipto depende do produto a ser fabricado e do processo sendo utilizado

Antes de finalizar esse texto introdutório, eu gostaria de agradecer algumas das pessoas que têm sido muito valiosas no estudo da densidade básica da madeira no Brasil, em especial quanto às suas formas de avaliação e de amostragens de madeiras e de árvores para as avaliações. Dentre essas pessoas, destaco com justiça, em ordem alfabética, com a penalidade de ter me esquecido de algum outro nome brasileiro relevante, pelo que antecipadamente me desculpo:

- Allan Motta Couto
- Andréia Guarienti
- Augusto Fernandes Milanez
- Benedito Rocha Vital
- Carlos Alberto Busnardo
- Cláudia Adriana Bróglio da Rosa
- Cláudio Ângeli Sansígolo
- Danila Estevam Alves da Cruz
- Dorotéia Maria Martins Flores
- Edson Marcelo Bruder
- Ervin Mora
- Fernando José Borges Gomes
- Flaviana Reis Milagres
- Francides Gomes da Silva Júnior
- Hernon José Ferreira
- Gabriel Valin Cardoso
- Humberto Fantuzzi Neto
- Jorge Luiz Colodette
- Jorge Vieira Gonzaga
- José Carlos Duarte Pereira
- José Lívio Gomide
- José Otávio Brito
- José Tarcísio Lima
- Leonardo Chagas de Sousa
- Lucas Fernandes Rodrigues
- Luiz Ernesto George Barrichelo
- Maria Aparecida Mourão Brasil
- Maria José de Oliveira Fonseca
- Mário Tomazello Filho
- Patrícia de Oliveira
- Paulo Fernando Trugilho
- Rafael Ribeiro Padula
- Ricardo Balleirini dos Santos
- Sebastião Carlos da Silva Rosado
- Sérgio Menochelli
- Stella Vilas Boas Gonçalves
- Teotônio Francisco de Assis
- Vera Maria Sacon

Também agradeço minhas centenas de alunos, orientados e estagiários de universidades e cursos técnicos, que sempre me incentivaram a desafiá-los em minhas aulas e orientações com temas em qualidade da madeira do eucalipto para seu aprendizado.

A vocês leitores, eu gostaria de agradecer toda a atenção e o imenso apoio que sempre me têm oferecido. Todos vocês têm ajudado - e muito - a fazer do **Eucalyptus Online Book** algo muito útil para os técnicos e demais interessados por esse nosso setor de base florestal plantada.

A todos, um abraço fraterno e um enorme muito obrigado.

==========

ACERCA DA MADEIRA E DA SUA QUALIDADE

A madeira produzida pelas árvores de eucalipto é uma estrutura complexa e organizada e que tem sido aproveitada pela humanidade para inúmeras finalidades. Com a crescente importância dessa madeira como matéria-prima industrial, os estudos tecnológicos e científicos,

procurando melhor caracterizar suas qualidades, têm sido cada vez mais realizados e seus resultados disponibilizados na literatura técnica florestal. Atualmente, em inúmeros países do mundo, em especial no Brasil, existe uma grande oferta de teses, dissertações, palestras, artigos, cursos e websites especializados, procurando abordar diversos temas, os quais podem ser mais genericamente denominados de "Qualidade da Madeira".

Qualidade de Madeira (QM) não é algo tão simples de se definir, especificar e controlar, em função da própria variabilidade natural da madeira e dos produtos que com ela se desejem produzir. Muitas características e propriedades das madeiras dos eucaliptos podem ser determinadas para servirem de referência acerca do potencial e do possível desempenho das mesmas nos diversos processos onde serão utilizadas. Dentre as utilizações principais dessas madeiras de eucaliptos, destacam-se as produções de: celulose e papel, carvão vegetal, lenha e biomassa energética, produtos serrados, painéis e chapas de madeira, madeira tratada (postes, moirões, estacas, vigas, etc.) e produtos de maior valor agregado.

As madeiras dos eucaliptos costumam frequentemente serem avaliadas em relação às suas características anatômicas, físicas, químicas, acústicas, elétricas, mecânicas, isolantes e muitas outras mais. Algumas dessas avaliações são complexas e dependem de tempo e de recursos sofisticados em equipamentos e em pessoas qualificadas. Outras são rápidas, simples, e com relativo grau de precisão e certeza. Enfim, dentro da enorme gama de opções para se medir qualidade da madeira, cada tipo ou setor industrial tem buscado as opções de mensuração dessa qualidade e que elas possam oferecer indicações rápidas, eficientes e seguras para as tomadas de decisão dos usuários dessa matéria-prima florestal. Dentre todas essas propriedades e características disponíveis para se ensaiar madeiras, a que mais se destaca pela ampla utilização é a densidade básica. Isso pela simplicidade dos testes e pelas inúmeras correlações que seus valores guardam com muitas outras propriedades das madeiras.

A densidade básica é uma propriedade fácil de ser medida em uma amostra de madeira. Entretanto, para se ter um valor médio representativo de uma população de árvores, de toras ou de cavacos, há que se entender muito bem a variabilidade dessa propriedade no lote ou na população. Com isso, pode-se determinar o número mínimo de amostras a serem tomadas em função do erro que se deseja cometer nas avaliações. Quanto maior for a variabilidade dos valores de densidade básica entre as medições, maior o número de amostras a serem analisadas. Quanto menor for o erro que se desejar cometer para

tomadas de decisões mais acertadas, idem: maior número de amostras a serem coletadas e avaliadas.

Existem diversas maneiras de se medir a densidade de uma madeira, porém a mais comum e difundida é a determinação da sua densidade básica. Qualquer medida de densidade se baseia na relação entre peso ou massa por um determinado volume do material. O peso pode ser o atual (como tal), o saturado (encharcado de água) ou o absolutamente seco (ou seco em estufa a 105±3ºC). Já o volume pode ser o atual (como tal) ou saturado (madeira úmida, encharcada com água, mas não necessariamente em seu máximo teor de umidade).

Deve ficar claro desde esse momento, que a madeira se encontra bastante úmida nas árvores vivas, com seus troncos repletos de seiva bruta, que está sendo capturada pelas raízes e transportada para as diversas partes das árvores. Tão logo as árvores sejam colhidas pelo abate das mesmas, a madeira começa a perder água e essa perda começa a ser acompanhada por uma contração da mesma, a partir de um dado teor de umidade. Essa retração, contração ou retratibilidade corresponde a uma alteração de volume, sem consequente mudança no peso seco de material lenhoso.

Define-se "densidade básica da madeira" como sendo a relação entre o peso absolutamente seco de madeira pelo volume saturado em água da amostra. Estaremos, portanto com um tipo de volume, que mais se aproxima do volume na árvore viva. Já o peso seco estará mais para o peso que se disponibilizará aos processos industriais, quando as determinações de densidade básica forem realizadas em toras e cavacos industriais (após algumas semanas após o abate das árvores – TPC ou Tempo Pós-Corte). No caso de amostras colhidas de árvores vivas ou recém-abatidas, a densidade básica expressará exatamente o peso seco de madeira por volume de madeira na árvore viva e saturada em água.

As unidades mais comumente utilizadas pelo setor de base florestal para expressar a densidade básica da madeira são: g/cm³; t/m³ e kg/m³.

Muito embora se fale e se discuta muito sobre a necessidade de se medir e de se especificar a qualidade da madeira do eucalipto para seus usos industriais, a verdade é que em muitos casos, essa madeira entra nas fábricas de forma relativamente livre e com apenas alguns trabalhos preliminares para tentar homogeneizar a densidade básica através misturas de madeiras distintas ("mix" de madeiras de clones diferentes, de regiões diferentes e com idades diferentes), ou seja, com densidades básicas diferentes. Discutiremos em capítulos futuros do Eucalyptus Online Book sobre as vantagens e desvantagens desses controles simplificados de densidade básica para diversas indústrias.

O que importa saber, no momento, é que os controles de qualidade da madeira podem ser definitivamente melhorados, embora muita coisa já tenha sido feita para minimizar a variabilidade das madeiras, que abastecem as unidades industriais. Alguns fatores operacionais e técnicos dificultam essa maior seleção e predição de qualidade da madeira, entre os quais estão os seguintes:

- A madeira é consumida em enormes quantidades, dificultando assim sistemas de controle mais eficientes e fidedignos em função da ampla variabilidade que os diversos tipos de suprimento apresentam.

- A qualidade da madeira vai-se alterando com o tempo pós-corte, ou seja, com o armazenamento de toras e cavacos (no campo, nas fábricas e nas pilhas de estocagem).

- As florestas clonais, apesar de garantirem muito maior uniformidade e homogeneidade de qualidade da madeira, ainda assim mostram madeiras com amplas faixas de variação de qualidade. Isso é particularmente afetado pela relação genótipo/ambiente e pela idade das florestas. O efeito ambiental é significativo: um mesmo clone pode ter qualidade de madeira diferente conforme a região ou sítio onde vier a ser plantado.

- Existe uma tendência de se trabalhar com florestas cada vez mais jovens no País, buscando antecipar receitas e reduzir o ciclo financeiro no negócio florestal. No Brasil, existem unidades industriais consumindo madeiras de florestas de eucaliptos já com idades entre 5 a 6 anos (ao invés de 7 ou 8), mas há os que antecipam idades ainda mais jovens (4,5 a 5 anos) com a adoção de técnicas de biotecnologia florestal. A idade das árvores tem importante efeito sobre a qualidade das suas madeiras: teor de extrativos, densidade básica, espessura das paredes celulares, teor de celulose, teor de lignina, fração parede das fibras, etc. Caso esses pontos técnicos não sejam considerados, as perdas econômicas podem se tornar relevantes.

- As operações de colheita florestal e manuseio de toras nas fábricas e florestas podem causar misturas incontroladas de

madeiras com qualidades distintas quanto a: clones, espécies, idades, diâmetros, sanidade, contaminantes, etc.

- A madeira tem sido um produto escasso para algumas empresas, o que implica na aquisição de madeiras de terceiros, as quais não são tão bem controladas ou melhoradas em termos de suas qualidades. Essa escassez tem levado também ao consumo de madeiras de árvores mais jovens, de florestas próprias, numa clara redução de estoques da poupança para uso futuro.

Essas e outras causas têm motivado o setor de base florestal plantada a ter que melhorar a eficiência e a rapidez dos testes de qualidade da madeira, de forma a permitir melhoria no atendimento e suprimento das fábricas e nos produtos sendo fabricados com essa madeira. Temos acompanhado diversos exemplos muito positivos em empresas do setor, algumas se valendo de métodos rápidos para pré-avaliação de lotes de madeira, outras associando a medição de qualidade da madeira ao próprio inventário florestal. Com isso, torna-se possível trabalhar com predições (antecipações de desempenho futuro) da qualidade da madeira, para otimização do abastecimento e consumo de madeiras pelas unidades fabris.

Em geral, ainda se encontram muitas empresas realizando avaliações envolvendo muitos erros de amostragens ou mesmo de determinações nos ensaios laboratoriais. Por essa razão, nesse presente capítulo dedicaremos toda a atenção possível para lhes mostrar os erros mais comuns que acontecem, com sugestões de melhorias. Sugiro que busquem a leitura pacienciosa e cuidadosa desse capítulo e de outros que fazem parte dessa série.

Na qualidade de um técnico do setor, que trabalha com qualidade da madeira desde o ano de 1967, tenho acompanhado a rica história desse tema no Brasil, com seus desafios e conquistas. Também tenho atuado em universidades e em empresas para ajudar no desempenho e na seleção das melhores madeiras para uso industrial. Em geral, tenho notado que muitos dos problemas são resultantes ainda da falta de integração entre as áreas produtoras e consumidoras de madeira, ou seja, da falta da tal de integração floresta-indústria. Existe ainda muita omissão, quando se fala em qualidade da madeira. Também existem muitos "acreditando que estão fazendo o máximo dos máximos", mas apenas possuem números, que não refletem a realidade dos fatos: ou por amostragens deficientes e insuficientes, ou por erros metodológicos nos ensaios, ou por insuficiente número de repetições por tipo de teste.

A madeira é o principal item na composição dos custos de fabricação de diversos de seus produtos derivados: celulose, painéis de madeira, madeira serrada, carvão vegetal, lenha, etc. O controle e o entendimento maior das causas de seu consumo específico precisam por isso mesmo serem priorizados.

Em geral, a qualidade da madeira só se torna importante e notada, quando algum problema operacional relevante para o processo ou para o produto passa a acontecer. Quase sempre, a madeira passa a ser responsabilizada por fenômenos ou fatos, que muitas vezes estão distantes de serem de sua responsabilidade. Os mais frequentes são os seguintes: consumo específico de madeira, desempenho do processo, qualidade do produto, gargalos operacionais, consumo de outros insumos como energéticos ou químicos, etc.

Quando um programa de qualidade da madeira existe de forma organizada e integrada nas empresas de base florestal, os resultados acontecem com frequência e as chances de sucesso do negócio são maiores. Algumas vantagens importantes podem resultar do melhor trabalho integrado pela qualidade de madeira, tais como:

- Ω Minimização e estabilização do consumo específico de madeira;
- Ω Aumento de produtividade e desempenho das instalações industriais (eficiência e continuidade operacional);
- Ω Estabilização ou diferenciação da qualidade dos produtos sendo fabricados;
- Ω Melhoria dos níveis de sucesso no melhoramento genético florestal, através do desenvolvimento de clones ou espécies mais adequados para determinado processo ou produto;
- Ω Melhoria na utilização de um recurso escasso, que é a madeira, com redução de perdas e desperdícios nas florestas e nas fábricas;
- Ω Melhoria significativa nos resultados econômicos do negócio, com aumento nas margens de contribuição, na produção total, na produção vendável de produtos com qualidade e nos níveis de produtividade;
- Ω Melhoria nos entendimentos acerca das relações entre pesos e volumes de madeira que entram nas fábricas. Em geral, a madeira é comprada com base em volumes, sendo também alimentada em reatores, queimadores e digestores com base em volume de toras

ou de cavacos. O volume é variável em função do nível de umidade da madeira (devido à contração variável do material). O peso absolutamente seco de madeira por unidade de volume (densidade) também é afetado pela contração da madeira e pelo seu estado de deterioração. Já o peso atual (tal qual) é principalmente afetado pelo teor de umidade da madeira.

Enfim amigos, a variabilidade e as causas de variabilidade são numerosas e poderosas. Cabe aos gestores das fábricas e das florestas controlar e domar essa variabilidade. Entretanto, nada pode ser controlado se não for medido – e muito bem medido.

As fábricas sonham com homogeneidade de suprimento, pois seus gestores detestam ter pesadelos por causa de grandes variabilidades no suprimento de suas madeiras. A tarefa é difícil, mas não impossível.

Dentre todas as características e propriedades da madeira que possuem efeito direto sobre desempenho de processos industriais, consumo específico de madeira e qualidade de produtos de madeira, a densidade básica é uma das mais importantes. Por isso mesmo, ela tem sido a mais utilizada de todas as propriedades usadas para monitorar e controlar a qualidade das madeiras industriais. Ela não é definitivamente a única propriedade que deva ser avaliada e monitorada, mas não há dúvidas de que se algo precisa ser feito, pode-se começar exatamente por ela. Isso é válido para produção de celulose e papel, carvão vegetal, biomassa energética, painéis e chapas de madeira, produtos serrados de madeira, etc.

As razões para a quase universalidade da adoção da densidade básica como parâmetro preferencial de avaliação de qualidade da madeira são as seguintes:

Facilidades de determinação, seja por métodos clássicos, ou por métodos rápidos de predição com ela correlacionados;

Metodologias consagradas e de relativa precisão;

Correlações da densidade básica com inúmeras outras características de qualidade da madeira;

Alta herdabilidade genética, podendo a mesma ser utilizada com sucesso no melhoramento genético florestal;

Responde a técnicas de manejo florestal: espaçamento, ciclo ou rotação, sítio de crescimento da floresta, fertilização, controle de pragas e doenças, irrigação, etc.;

Responde a condições ambientais enfrentadas pelas florestas, o que permite maior predição dos efeitos na qualidade da madeira de florestas com desenvolvimento em condições ambientais extremas (déficit hídrico ou térmico, etc.);

Oferece indicações acerca do desempenho de inúmeros processos fabris;

Oferece indicações sobre a qualidade do produto sendo fabricado;

Permite calcular a produtividade da floresta em massa ou peso seco por hectare, o que é de altíssima relevância para estudos de consumo específico de madeira e produtividade equivalente da floresta em termos de produtos industriais (celulose, painéis, carvão vegetal, etc.);

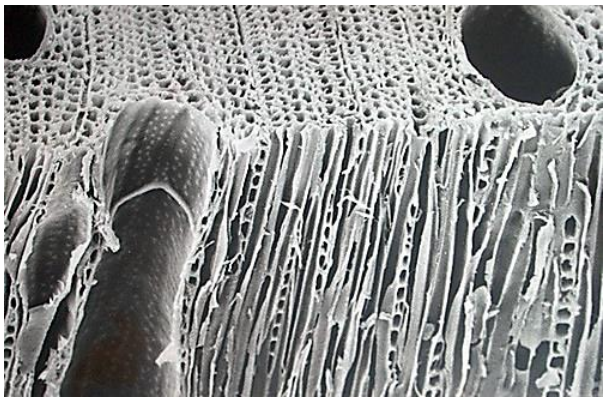
Permite otimizar e minimizar o consumo específico de madeira;

Relaciona-se ao desempenho de diversas operações florestais, como colheita, manuseio e transporte, tempo pós-corte (perda de peso por secagem natural), etc.;

Também deve ficar muito claro, que a simples determinação da densidade básica não é a solução de todos nossos problemas. Existem outras características da madeira, que podem afetar o desempenho da mesma em processos industriais - algumas dessas características sequer relacionadas à densidade básica.

A densidade básica é uma propriedade da madeira, que é resultante de muitas outras – ela resulta de inúmeros outros fatores de qualidade da madeira, como teor de vasos, teor de células de parênquima, porosidade, espessura da parede celular, teor de extrativos, etc., etc. Em 1990, escrevemos em equipe, um artigo apresentado no Congresso Florestal Brasileiro, em Campos do Jordão/SP, onde mostramos de forma clara e definitiva, que madeiras com mesma densidade básica, mas de clones ou de espécies distintas de eucaliptos, podem perfeitamente terem comportamentos muito diferentes para produção de celulose e papel. Isso é válido para outros tipos de produtos também.

Diversos setores industriais, que utilizam a madeira do eucalipto como matéria-prima, adotam a medição da densidade básica como ferramenta de controle. Cada unidade industrial acaba assim definindo faixas de valores desejados de densidade básica, da mesma forma que orientam o melhoramento genético florestal sobre a qualidade ideal da madeira desejada para esses programas de melhoramento. As amplitudes de valores desejáveis de densidade básica variam entre empresas e setores. Isso porque existem relações importantes entre os valores de densidade básica e as tecnologias industriais disponíveis, as qualidades desejadas nos produtos e as restrições ou gargalos operacionais nas fábricas.



A madeira é um material complexo e produzido de forma orquestrada e organizada pelas árvores. De uma maneira muito bem orientada, as células que originam a madeira são arranjadas como tecidos vegetais, onde se distribuem os constituintes químicos que as compõem (lignina, celulose, hemiceluloses, extrativos, cinzas minerais).

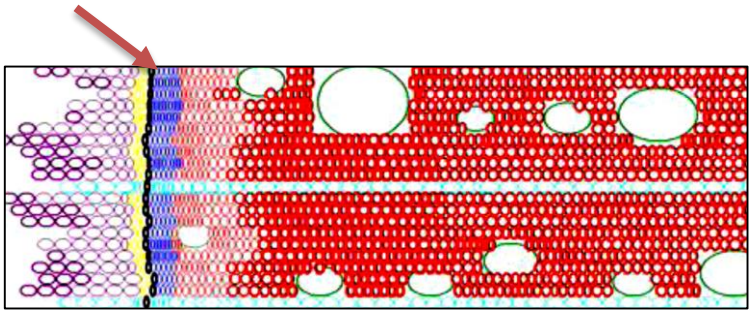
Os constituintes anatômicos da madeira são formados a partir de células meristemáticas, que se dividem intensamente e se diferenciam em alguns tipos de células de xilema (madeira) ou floema (casca), sendo que podem variar em formato, tipo e composição.

Dessa maneira, as espécies de coníferas ou "softwoods" (*Pinus*, *Araucaria*, etc.) formam no xilema os seguintes elementos: traqueídos (ou fibras), células de parênquima radial, células de parênquima axial e células produtoras de resinas. Já as espécies de folhosas ou "hardwoods" (*Eucalyptus*, *Acacia*, etc.) formam: fibras libriformes, fibrotraqueídos, células de parênquima radial, células de parênquima axial e elementos de vaso. A presença dos elementos de vaso na madeira de folhosas acaba por se constituir na principal forma de se separar esses dois tipos de grupos de árvores.

A madeira é formada pela ação de dois tipos de tecidos meristemáticos, que são células com caráter embrionário, capazes de intensa divisão celular e com rápida diferenciação em células, que são criadas de acordo com as especificações do código genético das plantas.

Os meristemas apicais presentes nas gemas apicais de caules e brotos laterais se dividem para promoverem o crescimento do vegetal em comprimento (tronco e ramos). Elas acabam dando origem a diversos tipos de células frágeis, que no xilema aparecem mais como as células centrais do tronco, ou medula.

O restante da madeira é formado pela atuação do meristema lateral secundário, conhecido como câmbio. Esse tecido se localiza exatamente na região de separação entre a casca e a madeira das árvores. Da atividade do câmbio se formam novas camadas de células de xilema ou lenho ou madeira para o interior do tronco. Já para o lado da casca, formam-se novas camadas de células de floema ou de casca. Portanto, ao mesmo tempo em que as árvores crescem em células de madeira (mais intensamente), elas também crescem em formação de casca. Na casca, em sua região interna, mais próxima do câmbio, ocorre a translocação da seiva elaborada ou seiva orgânica resultante da atividade fotossintética das folhas. Por essa razão, a casca é rica em açúcares facilmente metabolizáveis e muito solúveis.



Câmbio do eucalipto produzindo novas células para aumentar o xilema e a casca nas árvores - Fonte: Drew, 2013

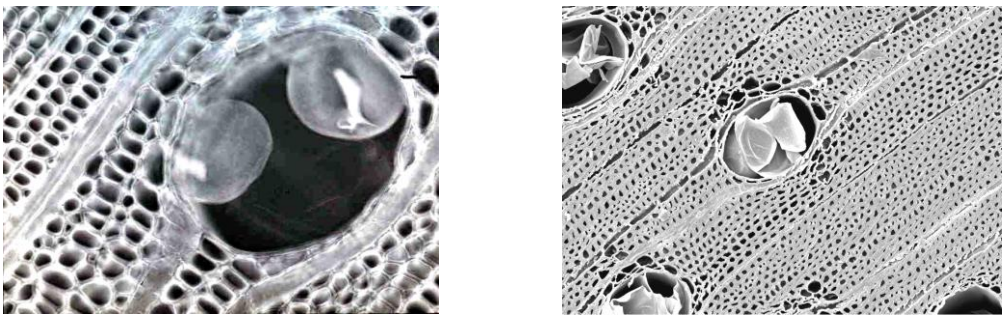
http://www.fwpa.com.au/images/webinars/eCambium_Webinar-David-Drew.pdf

A madeira, ou xilema, apresenta-se de duas formas principais no tronco:

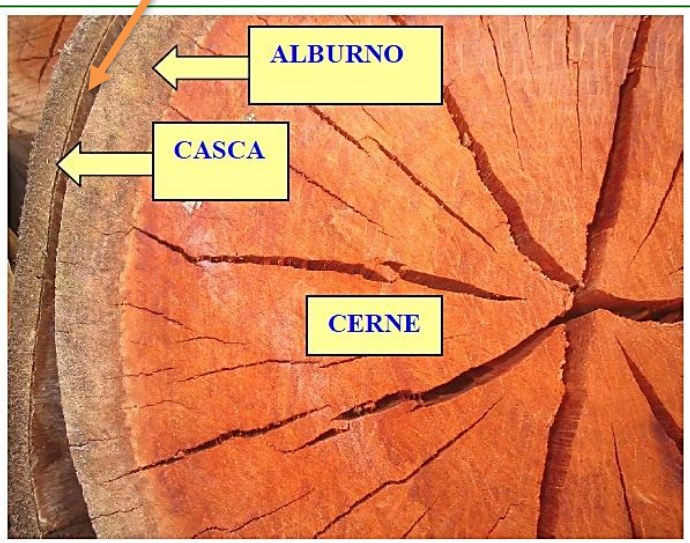
- ✓ O *cerne*, localizado mais internamente no tronco, que corresponde a um tipo de xilema que se tornou inativo, sendo lignificado e rico em extrativos depositados para dar resistência aos ataques de predadores de madeira.

- ✓ O *alburno*, localizado mais ao lado do câmbio, que consiste na região ativa do xilema, por onde circula a seiva bruta ou seiva mineral, extraída do solo pelas raízes da planta. Nessa seiva estão presentes água e os sais minerais, que são conhecidos como nutrientes para as plantas.

Em geral, conforme a árvore envelhece, o cerne inativo se enriquece de extrativos, que ajudam a evitar o ataque biológico por predadores como fungos, insetos, bactérias, cupins, etc. A penetração de grandes quantidades de extrativos nos lúmens das células (fibras e elementos de vaso) torna a madeira mais hidrófoba, menos porosa e eventualmente, mais densa.



Penetração de extrativos para dentro dos elementos de vaso em madeiras de eucaliptos (tiloses)



Seção transversal de uma tora de madeira de eucalipto

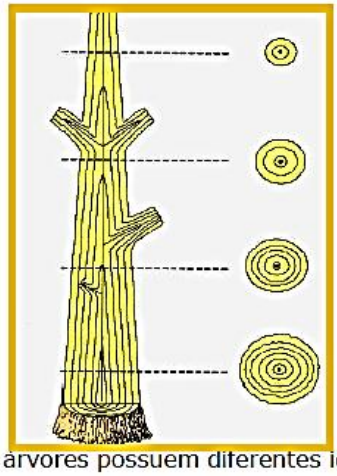
A madeira é, em quase sua totalidade, formada pela ação do câmbio, seja nos galhos, troncos e mesmo nas raízes. Esse câmbio

forma células diferentes como já visto, sendo que todas possuem paredes celulares e constituintes citoplasmáticos, enquanto estão vivas. Com o passar do tempo, essas células perdem atividade, se enriquecem, se lignificam e morrem, formando o cerne.

Cerne e alburno são dois tipos de madeira com características distintas presentes na mesma árvore. Em função do uso de madeiras de árvores de eucalipto ainda bastante jovens no Brasil, obtidas de florestas entre 5 a 9 anos, o processo de formação do cerne ainda é relativamente pouco desenvolvido. Diz-se então que esses cernes são imaturos ou muito jovens.

A proporção volumétrica de cerne nas árvores ainda juvenis, costuma ser de 25 a 50% do volume das árvores individuais. Isso se deve ainda à cernificação ainda pouco desenvolvida e também ao fato de que a proporção de cerne vai diminuindo da base da árvore em direção ao seu topo, pois nas partes mais altas da mesma temos madeira com idades mais jovens do que na base.

Como as madeiras desses cernes jovens ainda estão pouco preenchidas por extrativos e também pouco modificadas pelas forças de compressão que passam a ocorrer dentro das árvores, a densidade básica das madeiras desses cernes em eucaliptos plantados costuma ser menor do que a densidade do alburno, mais raramente no máximo semelhante.



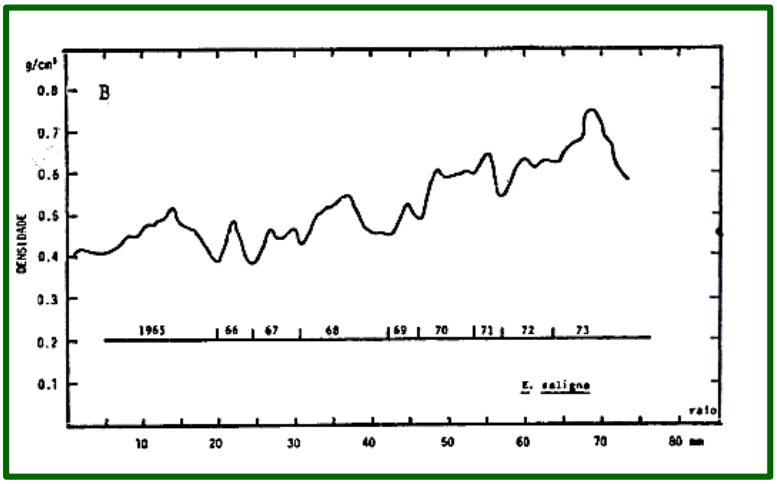
Diferentes alturas das árvores possuem diferentes idades fisiológicas

Outros tipos de células distintas são formados conforme as condições ambientais: as chamadas células de xilema de lenho inicial (formadas em período favorável ao crescimento vegetal) e as de lenho

tardio (formadas em condições de restrições em atividade biológica, como outono, inverno ou condições de estresse hídrico ou de alguma doença da planta). Invariavelmente, as madeiras de lenho tardio apresentam maiores densidades básicas do que as de lenho inicial. Isso porque, em condições favoráveis, as células crescem rapidamente e se tornam mais largas e com menores proporções de parede celular. Já em condições desfavoráveis, as células espessam suas paredes celulares e não crescem tanto em largura, do que resulta uma densidade básica maior para esse tipo de madeiras.

As madeiras dos eucaliptos são formadas de maneira tal, que é difícil de se distinguir as madeiras de lenho inicial e tardio a olho nu. Essas madeiras não possuem claras distinções de anéis de crescimento, com as tradicionais alternâncias de camadas de lenhos, como no caso das madeiras de *Pinus* e *Araucaria*. A melhor maneira de se observar as formações desses dois tipos de lenho é através de técnicas de nucleação (uso de radiação gama ou X) para se determinar a variabilidade radial da densidade da madeira. Nesses casos, os picos de valores de densidade correspondem às madeiras de lenho tardio e os vales, às madeiras de lenho inicial.

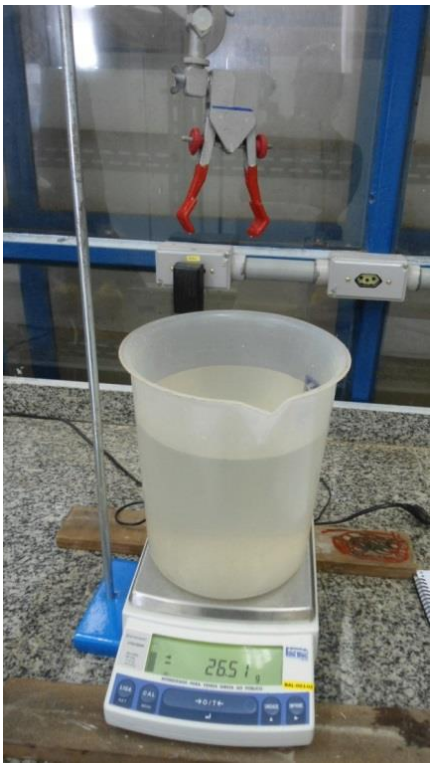
Esses diferentes tipos de células de xilema podem apresentar características e percentuais diferentes, conforme a espécie, clone, idade e condições ambientais onde cresce a floresta. Conforme a utilização da madeira, as características e percentuais de um ou outro tipo de madeiras de cerne, alburno, lenho inicial ou lenho tardio podem interferir na sua qualidade e na densidade básica do xilema total resultante.



Técnicas de nucleação usadas para determinar variabilidade radial da madeira de *Eucalyptus saligna*
Fonte: Ferraz e Tomazello Filho, 1978

Somem-se a isso, as madeiras produzidas por árvores com problemas fitossanitários, danificadas pelo fogo, geadas, secas, ventos intensos, força de gravidade, etc. Tudo isso afeta a qualidade da madeira - como reflexo imediato podem surgir alterações nos valores de densidade básica das mesmas. Conforme a utilização dessas madeiras para um ou outro tipo de produto, poderemos ter reflexos de desempenho industrial ou de qualidade final do produto resultante.

TIPOS DE MEDIÇÕES PARA DENSIDADE DA MADEIRA



Metodologia para se determinar volume da madeira pelo método da imersão em água (Princípio de Arquimedes)
Fotos: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

Existem diferentes metodologias e formas de se medir a densidade da madeira. A seleção de qual tipo de densidade será utilizada depende muito mais da empresa ou do setor industrial e das relações que esse tipo possa mostrar com situações práticas vividas. Conforme a cultura ou a história da empresa, poderemos encontrar um ou mais métodos sendo aplicados. Portanto, na seleção do tipo de densidade, é muito importante se conhecerem as relações que o valor obtido apresenta com diversas situações práticas onde se exigem controles ou monitoramentos de operações.

Toda densidade é definida como uma relação entre massa (ou peso, mais comumente assim referido no setor florestal) pelo volume de um determinado material. No nosso caso da indústria de base florestal, o material pode ser madeira, casca de toras, misturas de madeiras e

cascas, ou cavacos isentos ou não de cascas. As unidades mais comumente utilizadas são: g/cm³; t/m³ e kg/m³.

Também é comum se ouvir falar em Massa Específica e em Peso Específico (em inglês, "Specific Gravity"), sendo que alguns autores preferem esses termos ao termo densidade.

Define-se Massa Específica à relação entre a densidade de um composto ou material pela densidade de outro composto referencial. Em geral, o composto-referência tem sido a água que apresenta uma densidade praticamente igual a 1 g/cm³ ou 1 t/m³ a 4ºC (https://pt.wikipedia.org/wiki/Densidade). Os valores de densidade da madeira e sua massa específica acabam sendo numericamente iguais, desde que se trabalhe com a densidade da água igual a 1. Em termos práticos, adota-se a densidade dessa água igual a 1 g/cm³, mesmo quando se trabalham com temperaturas maiores que isso (entre 15 a 35ºC) em inúmeras situações no setor. Os erros cometidos em função da temperatura são pequeníssimos e assimiláveis.

Conhecidas essas definições e denominações, importa agora se conhecerem quais os tipos de densidade de madeira, que normalmente se utilizam no setor de base florestal.

São elas as seguintes:

○ Densidade básica da madeira

Um dos mais populares e recomendados tipos de medição de densidade da madeira é a densidade básica, que é calculada pela relação:

Db = (Peso a.s., ou absolutamente seco do corpo de prova) : (Volume saturado em água)

Peso a.s. = peso obtido pela secagem do corpo de prova até valor constante, em estufa a 105±3ºC

Volume saturado: volume apresentado pela peça de madeira encharcada em água, em teores de umidade acima do ponto de saturação de fibras (que pode estar acontecendo no momento onde toda a água livre que escapa por gravidade tenha deixado a madeira). Nesse ponto de umidade, a madeira ainda não está sofrendo contrações volumétricas, o que passa a acontecer conforme a peça continuar a secar e a ter seu volume alterado. Costuma-se aceitar na prática (mas nem sempre é verdadeiro), que esse ponto de saturação acontece, quando a peça de madeira úmida afunda e não mais flutua, quando colocada dentro da água.

A densidade básica costuma ser popular no setor florestal porque o volume da madeira de árvores vivas e em pé está exatamente na condição de volume úmido e saturado. A umidade da madeira quando ocorre a colheita da floresta está muito próxima do seu Máximo Teor de Umidade (MTU). Em geral, está entre 3 a 6% mais baixa que a umidade no MTU, porém essa medição precisa ser muito cuidadosa, pois a água quer deixar a madeira e o peso úmido precisa ser medido imediatamente antes que isso ocorra.

Pode-se também se determinar a densidade básica das cascas das árvores, sendo que os melhores e mais corretos valores são os determinados quando as amostras são coletadas da casca da árvore viva ou em seu abate. Como a secagem natural da casca é rápida, as amostras precisam ser armazenadas em condições tais, que evitem essa perda rápida de umidade. Reidratar por longos tempos as cascas de árvores para saturá-las significa necessariamente perda de peso seco, pois as cascas possuem em sua composição grandes quantidades de açúcares solúveis.

○ Densidade seca ao ar (12% de umidade)

A madeira costuma entrar em equilíbrio com o ar atmosférico em teores de umidade próximos a 12%, sendo que a umidade nesse caso deve ser medida com base no peso absolutamente seco de madeira e não no seu peso úmido. Esse tipo de metodologia para medição de densidade é mais usual em empresas e com pesquisadores que trabalham com madeira serrada e painéis de madeira, muito comumente orientados para a indústria moveleira.

O valor de densidade da madeira seca ao ar a 12% ($D_{s.a.}$) de umidade é determinado pela fórmula:

$D_{s.a.}$ = (Peso a 12% de umidade) : (Volume a 12% umidade)

Como é muito difícil se ter a madeira exatamente nesse teor controlado de umidade, existem fórmulas e fatores apresentados pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas, que possibilitam correções para os valores de peso relacionados a umidades próximas a 12% (NBR 7190 - Projeto de Estruturas de Madeira - 1997).

○ Densidade aparente atual (ou tal qual) da madeira

É calculada pela relação:

$D_{aparente}$ = (Peso úmido tal qual) : (Volume atual medido tal qual)

A densidade aparente costuma variar bastante com a variação da umidade da madeira. Uma mesma amostra de madeira pode ter diferentes valores de $D_{aparente}$ conforme vá secando (perdendo água e perdendo peso) e também contraindo em volume pela secagem.

A densidade aparente tal qual é um tipo de densidade que pode ser calculada em empresas que utilizam o método de medir o volume de suas toras recebidas pelo princípio de Arquimedes, ou de imersão em água. Em geral, nessas empresas, os caminhões de madeira chegam e

têm o peso da carga determinado na balança de recebimento de materiais:

$P_{madeira}$ = (Peso tal qual total) – (Peso da tara do caminhão)

Algumas amostras de madeira são retiradas e com as mesmas se determina um importante fator, que relaciona o peso úmido das toras e o seu volume (determinado por imersão em água, onde volume de água deslocado é igual ao volume da amostra). Esse fator é expresso em geral na unidade (peso úmido das toras/m³ de madeira tal qual).

A partir do peso úmido da carga de madeira recebida e pesado na balança do recebimento e desse fator, pode-se calcular com uma única conta matemática o quanto em volume o caminhão transportava. Vejam a seguir:

Volume recebido madeira (em m³) =

($P_{madeira}$ em toneladas tais quais) : (Fator – toneladas tais quais/m³)

Seja um exemplo numérico:

Peso de madeira tal qual medido no recebimento de madeira = 35 toneladas

Fator medido por imersão em água de amostras colhidas do caminhão = 0,7 toneladas tais quais/m³

Volume recebido de madeira = (35 toneladas) : (0,7 t/m³) = 50 m³

Muitas empresas complementam ainda as suas determinações, calculando o teor de umidade da carga de madeira recebida. Com isso, podem determinar o peso absolutamente seco da madeira recebida. A partir desses dados, calcula-se um importante fator para utilização interna de densidade, que é a **Densidade Aparente Anidra ou Base Seca**.

$D_{aparente\ anidra}$ = (Peso absolutamente seco) : (Volume tal qual)

No exemplo numérico acima, se a umidade das amostras for medida e revelar valores de 30% base peso úmido (ou 70% de consistência), a densidade aparente anidra ou base seca seria calculada a partir do fator medido (0,7 t tais quais/m³):

$D_{aparente\ anidra}$ = (0,7 t tais quais/m³) . (Consistência de 0,7) =

$D_{aparente\ anidra}$ = **0,49 t a.s./m³**

Esse valor de Densidade Aparente Anidra pode ser muito mais real e plausível para uso prático nas fábricas do que os de densidade básica da madeira. Isso porque a densidade básica remete a madeira a uma condição de saturação e de alta umidade (o que acontece com as toras recém-abatidas, da árvore sendo colhida e com seu material lenhoso saturado em água).

Esse definitivamente não é o caso das madeiras sendo recebidas nas fábricas, após um tempo de pós-corte no campo para as madeiras perderem água e se contraírem em volume. São madeiras desse tipo que adentram às fábricas e não madeiras saturadas e encharcadas em água, como no caso das amostras de madeiras usadas para cálculo de volumes saturados na determinação de densidade básica.

Sabemos que definitivamente existe uma contração volumétrica da madeira entre o momento da colheita florestal e o recebimento das toras previamente secadas no campo. O tempo de permanência das toras para secagem natural na floresta pode variar entre 30 a 90 dias. Esse tempo é função da velocidade de perda de umidade, das condições climáticas, das limitações impostas em peso da carga para transporte rodoviário, das exigências em teor de umidade pelo processo industrial e de necessidades de tempo pós-corte para degradação biológica e oxidação natural de alguns tipos de extrativos da madeira.

Durante o armazenamento ao ar livre, o teor de umidade se reduz rapidamente no início e depois tende a reduzir mais vagorosamente, até a estabilização em 12% de umidade base seca (ou cerca de 10% base úmida). Em geral, deixa-se a madeira secando até valores de umidade entre 35 a 45% base úmida.

Apesar de a contração volumétrica das toras poder atingir valores acima de 15% (ou mais) para secagens drásticas, para as condições de secagem natural até 35 a 45% de umidade base peso úmido, a contração volumétrica corresponderá a valores entre 3 a 6%. Concomitantemente, acontecerá alguma perda de material do peso seco da madeira (por biodeterioração e volatilização de extrativos) e maior perda na casca, pois os açúcares da mesma continuam sendo utilizados pelas células vivas nela ainda presentes, mesmo depois da colheita das árvores.

Essa perda de peso seco (ou de matéria orgânica) é menor do que a contração da madeira. Estimam-se perdas de peso seco (ou de matéria) durante o período pós-corte de valores entre 0,5 a 1,5%, dependendo do tempo e das condições ambientais do armazenamento da madeira.

Conhecendo-se isso tudo, pode-se perfeitamente se entender que quanto mais tempo a madeira ficar descansando no campo para perder peso atual, menor será o volume de toras (por contração volumétrica) e menor o peso tal qual (por secagem e deterioração) para serem transportados.

Dependendo da intensidade de secagem das toras, a partir de certo momento, as toras começam a rachar e abrir em diâmetro, dando a falsa impressão de aumento de volume de madeira nessas toras. Na verdade, as toras começam a mostrar um falso volume de madeira, apesar de a madeira estar contraída em seu volume real.

Como o volume das toras recebidas pelas fábricas do setor de base florestal é sempre determinado tal qual e não como volume saturado e encharcado de água (como ocorre nos troncos das florestas com as árvores vivas e em pé), a densidade aparente anidra é um indicador muito mais válido para aplicações práticas nas fábricas do que a densidade básica da madeira.

Todos os cálculos de consumo específico de madeira são feitos nas fábricas com base nesse volume contraído das toras recebidas e que sofreram secagem natural. Por essa razão, é completamente inadequado se usarem valores de densidade básica para se transformar os pesos absolutamente secos de madeira em volumes de toras semi-secas que ingressam nas nossas fábricas. Infelizmente, isso acontece, até com certa frequência. Muito mais correto se fazerem as relações utilizando a densidade aparente anidra da madeira, mas para isso, os

valores de umidade das madeiras devem ser corretamente determinados.

Medição do volume da madeira pelo Princípio de Arquimedes e do qual se pode derivar o cálculo da Densidade Aparente da Madeira (base anidra e base tal qual) com enormes potencialidades de aplicações práticas como importante indicador de qualidade da madeira e de determinações de consumo específico em processos industriais

○ Densidade seca em estufa ou absolutamente seca

Alguns técnicos preferem ter uma rápida informação da densidade da madeira, pois o processo industrial exige rápidas determinações que não podem esperar que a madeira seja saturada (o que toma alguns dias), como é o caso para determinação da densidade básica.

Uma maneira fácil de realizar um teste rápido é secar a amostra de madeira em estufa, obter seu peso absolutamente seco e usar o princípio de Arquimedes para determinar seu volume. Outra forma de medição do volume é por medições com paquímetros, caso a amostra tenha dimensões geométricas homogêneas (como é o caso de discos ou cunhas de madeira).

A madeira seca é ávida para absorver água durante a sua imersão, falseando os resultados da medição do volume. Por essa razão, o teste hidrostático pode dar um volume abaixo do real, se tomar muito tempo para ser realizado. Para evitar erros de maior monta, a imersão e as medições devem ser feitas muito rapidamente, até no máximo 10 segundos com o material imerso em água.

Outro problema que acontece com esse procedimento é que a contração da madeira é máxima, podendo atingir entre 15 a 20% de retração volumétrica.

O que os técnicos costumam fazer é elaborar equações de correlação entre os dados obtidos para densidade aparente em estufa (Da.s. - absolutamente seca) e os de densidade básica (Db). A relação

entre os valores de Da.s. (valores mais altos) e Db (que oferece menores valores) costuma estar entre 1,18 a 1,28 (média próxima a 1,23).

○ Densidade aparente de cavacos de madeira

Trata-se de um dos principais indicadores de qualidade de madeira em fábricas de celulose e papel, painéis e chapas de madeira, biomassa energética, etc.

É um tipo de densidade aparente anidra, calculada pela relação:

$D_{cavacos}$ = (Peso absolutamente seco dos cavacos) : (Volume de cavacos em condições padronizadas de ensaio)

Essa determinação precisa ser realizada em condições muito bem determinadas de ensaio, visto que ela é afetada pela dimensão e forma do recipiente de ensaio e pela compactação dos cavacos no mesmo. O arranjo dos cavacos depende das suas dimensões, da altura de queda, da velocidade como caem, da compactação sobre eles, da umidade dos mesmos, etc.

A ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas definiu muito apropriadamente o tipo de equipamento e as condições para a realização dos testes, exatamente para impedir variações devidas ao método e não aos cavacos em si.

ABNT NBR 14984:2003. Madeira - Determinação da densidade aparente de cavacos. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002141

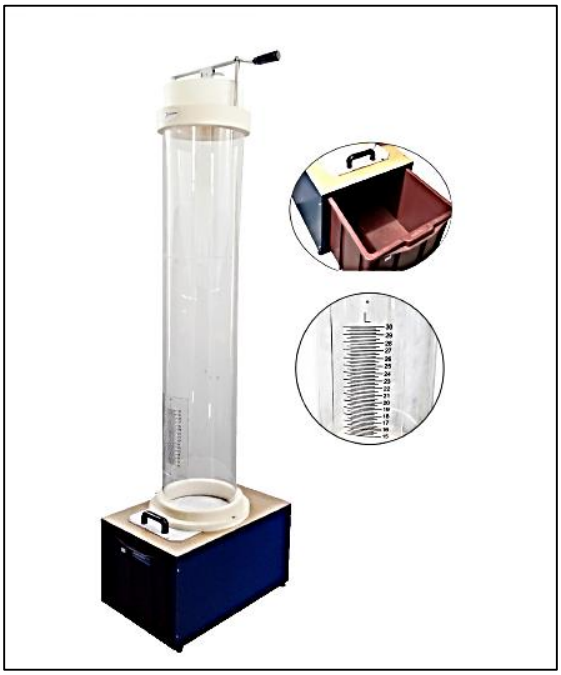
...tendo como base a metodologia adaptada a partir do método escandinavo:

Bulk density. Wood chips for pulp production. SCAN Method CM 46-92. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. 04 pp. (1992)

http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_46-92.pdf (em Inglês)

Teste da densidade aparente de cavacos
Fonte: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

Cavacos industriais
Fonte: Pereira e colaboradores, 2007
http://www.eucalyptus.com.br/icep03/241Caldeira.ppt.pdf



Equipamento para ensaio de densidade aparente ou a granel de cavacos de madeira (Fonte: Qualitylabor)
http://www.qualitylabor.com.br/produtos/celulose/densidade-aparente-de-cavacos

Cavacos de madeira
Fonte: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

DIFICULDADES, DISSINTONIAS E CONFLITOS MAIS COMUNS DOS QUE ANALISAM ÁRVORES E MADEIRAS

Fonte das fotos: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

Dentre os principais tipos de públicos que se valem dos ensaios de densidade básica da madeira, destacam-se os seguintes:

- Os melhoristas florestais, interessados em desenvolver novos clones com maiores produtividades e com qualidade de madeira cada vez mais adequada aos processos e produtos aos quais se destinam;

- Os engenheiros florestais, que cuidam da colheita das florestas, para suprir madeira para unidades industriais produtoras de celulose, chapas e painéis de madeira, carvão vegetal, biomassa energética, etc.;

- Os técnicos das fábricas, que utilizam a madeira do eucalipto e que a querem receber em níveis adequados de especificações;

- Os acadêmicos universitários e os pesquisadores em geral, que desejam realizar seus estudos e desenvolvimentos tecnológicos suportados por valores de densidade básica.

Apesar das metodologias para determinação de densidade básica não serem de difícil aplicação, sempre existe entre esses públicos um grande nível de ansiedade por uma única e muito justificada razão: as demandas de amostras e testes costumam ser enormes. Sempre se têm muitas árvores ou madeiras para serem amostradas; muitas vezes as coletas e os testes devem ser realizados em locais distantes e de difícil acesso; o tempo é quase sempre um fator crítico (muita pressa para se receberem os resultados para tomadas de decisões); a disponibilidade de laboratórios e os recursos humanos para realização dos ensaios costumam ser escassos e o custo envolvido em um bom programa de avaliar qualidade da madeira tem sido considerado alto pelos gestores.

Enfim, são muitas as árvores a serem avaliadas, são muitas as amostras de madeira a serem colhidas, são grandes quantidades de materiais para serem estocados em locais nem sempre adequados, são muitas as amostras que sequer são avaliadas mesmo depois de colhidas; e assim por diante...

Enfim, todo esse somatório de perversidades acaba resultando em exagerados níveis de simplificações, que acabam sendo muito mais danosos do que se teria se colocando mais recursos e esforços para a elaboração de um adequado e eficiente programa de avaliação da qualidade da madeira.

Há uma busca pelo rápido, pelo baixo custo e por exageradas simplificações na coleta das amostras e na execução dos testes. Uma coisa eu tenho notado, e com frequência: todos possuem muitos números e valores de densidade básica para mostrar, porém nem sempre esses valores são bons e que possam ser tomados como válidos para decisões. Muitas vezes, esses valores ruins obtidos por inadequações nas determinações de densidade básica são utilizados para tomadas de decisões, que certamente não significarão bons desempenhos; ou pior que isso, representarão prejuízos significativos para os usuários das madeiras.

Existe uma busca muito grande pelos *métodos milagrosos*, aqueles que tomam muito pouco tempo para serem executados, como o

caso do Pilodyn e do espectrômetro NIR (Infra-Vermelho Próximo). Curiosamente, mesmo sendo rápidos e até mesmo adequados para certas situações, eles acabam sendo pouco usados para aumentar o número de testes e acabam entrando também nos processos de simplificações exageradas.

Em geral, apenas um teste em duplicata de uma amostra composta de madeira é muito pouco a ser realizado. Principalmente se a população de árvores ou de toras de madeira for muito grande. É muito difícil se ter representatividade adequada para amostras tomadas de cinco toras ou de cinco árvores médias para representar toda a população de toras de um pátio de madeira ou de árvores de uma floresta.

Quase sempre os avaliadores de qualidade da madeira se esquecem que a variabilidade de qualidade é grande, já que existem efeitos de clones, de idades, de espécies, de posições nas árvores, de ecotipos, de ataque de pragas e doenças, etc., etc. Com isso, a maioria dos avaliadores de qualidade da madeira acabam vítimas do pesadelo do excesso de análises e preferem simplificar procedimentos: amostrando pouco e analisando menos ainda. A amostragem fica precária e o número de repetições de análises por amostra quase sempre é insuficiente.

Tenho dificuldades em entender isso, pois um programa de qualidade da madeira deve existir para dar respostas com credibilidade, com base em alguns pressupostos e respostas a indagações, para os quais raramente encontro alguém do setor falando sobre isso tudo.

Por exemplo, quais as respostas que seriam dadas aos seguintes questionamentos a seguir:

- Porque não se busca uma integração maior entre as áreas florestais, industriais e a academia para que o diálogo e o entendimento sobre qualidade da madeira pudessem ser fortalecidos?

- Porque a busca intensa pelos dados de qualidade da madeira só aparece quando as fábricas passam a sofrer com problemas e os técnicos passam a enfrentar pesadelos com seus processos e produtos?

- Ω Existem nas empresas claros conhecimentos sobre os níveis ideais de densidade básica para garantia de melhores desempenhos e resultados operacionais no uso das madeiras?

- Ω Existem diferenças de performance entre madeiras de diferentes clones e espécies, mesmo a iguais níveis de densidade básica nas suas madeiras?

- Ω Quais as utilizações que serão dadas aos dados obtidos para densidade básica? Quais os impactos econômicos, técnicos e gerenciais para o uso de valores não adequados?

- Ω Que decisões estratégicas (que afetam a competitividade da empresa) podem estar sendo tomadas com base nos valores obtidos para qualidade da madeira?

- Ω Porque os procedimentos metodológicos para determinação de densidade básica costumam variar entre as diferentes plantas industriais de uma mesma empresa, complicando a comparação de dados e de desempenhos (como consumo específico de madeira, por exemplo)?

- Ω Quando o setor florestal apresenta um valor de densidade básica de madeira e o discute com o setor industrial, será que ambos estão falando sobre mesmas bases de valores? Por exemplo, sabe-se que as determinações de densidade básica em discos de madeira que foram secados antes do ensaio costumam dar valores ligeiramente mais altos do que os testes realizados em cavacos da mesma madeira. São duas as razões para isso: os discos incham menos que os cavacos quando reidratados na saturação e os cavacos são mais difíceis de terem removido o excesso de água superficial (o que acaba aumentando o peso saturado dos mesmos). Tudo isso afeta a determinação do volume da amostra e os resultados da densidade básica. Se isso estiver acontecendo, será que os dois setores envolvidos no diálogo sabem dessas diferenças?

- Ω Qual a variabilidade que se tem para a densidade básica de um determinado suprimento de madeira que abastecerá uma unidade industrial consumidora dessa madeira?

- Ω Qual a variabilidade que se tem para a densidade básica da madeira que está sendo produzida pelas árvores de uma floresta?

Ω Porque usar métodos rápidos para determinação de densidade básica para tomadas de decisões críticas, quando alguns desses métodos são métodos apenas para ranqueamento ou classificação preliminar de materiais?

Ω Qual o nível de acertos e erros nos testes rápidos não destrutivos realizados em árvores vivas? Quais as correlações existentes entre os dados obtidos por testes rápidos e os valores reais de densidade básica que devem ser utilizados nas projeções de dados e desempenhos?

Ω Quantos testes rápidos precisam ser realizados por árvore para dar um valor médio representativo? Quantas baguetas precisam ser amostradas por árvore? Quantos testes no NIR precisam ser realizados para melhorar a representatividade dos valores que são rapidamente obtidos?

Ω Quais as garantias que o setor que avalia qualidade da madeira oferece para suportar uma decisão de que um determinado clone possa ter um maior potencial que outro e deva por isso ingressar para plantio em escala comercial?

Ω Qual o nível de precisão que queremos para os dados de densidade básica da madeira?

Ω Qual o intervalo entre um valor e outro para que acreditemos que exista uma diferença prática operacional importante entre os dois valores? Por exemplo: uma madeira com densidade básica 0,47 t/m³ é igual, melhor ou pior que uma madeira com densidade 0,46? Ou com densidade 0,48?

Ω Porque existem tantos laboratórios apresentando valores de densidade básica até a terceira casa decimal? Quão diferente é um valor de densidade básica de 0,477 t/m³ de outro igual a 0,481? Uma diferença de 0,004 t/m³ é estatisticamente adequada e validada? O que dá essa certeza?

Ω Qual a base conceitual para a amostragem de madeira? Em que se baseia o sistema de coleta de amostras? Por que ele vem sendo realizado dessa forma? Quais os fundamentos estatísticos para embasar esse tipo de amostragem?

Ω Porque se aceita com tanta facilidade a redução na intensidade da amostragem ou no número de testes a serem realizados para

avaliar qualidade da madeira? Será apenas pela maior facilidade de ensaiar menos amostras e realizar menos determinações? Será que não teremos com isso apenas alguns números para mostrar, mas que não significam muita coisa?

Ω Porque o exagerado foco em amostras compostas para praticamente tudo o que se analisa? As amostras compostas escondem a variabilidade e os extremos, acabam equalizando de forma equivocada os números. Com isso, perdemos o sentido da variabilidade e acabamos centrados na mesmice!

Ω Porque existe o entendimento de que uma repetição de um teste seria apenas executar um novo teste da mesma maneira sobre a mesma amostra de madeira e não repetir todo o procedimento de novo, como: preparação da madeira, equalização da amostra, medição de umidade, etc., etc.?

Ω Qual o nível de erro ou de acerto que estamos dispostos a aceitar como adequados, quando medimos uma carga de madeira, ou a madeira que está crescendo em uma floresta?

Ω Qual a amplitude do intervalo de confiança que estipulamos como válida para aceitação dos resultados dos testes de nossas amostras de madeira? Essa amplitude corresponde mais ou menos ao que ouvimos nas pesquisas de intenção de votos, quando se diz que um determinado resultado pode estar na faixa +2% ou -2%, para um nível de erro de 10% (nível de significância de 90%). No caso de erro de 10%, significaria que se mesmas pesquisas fossem realizadas 100 vezes e da mesma forma; em 90 delas os resultados médios ficariam dentro dessa amplitude de intervalo de confiança.

Ω Porque razão as pessoas tendem a obter médias aritméticas com seus dados, mesmo sabendo que as médias ponderadas poderiam ser muito mais apropriadas?

Ω Porque razão nos cálculos dos valores médios são quase sempre incluídos valores esdrúxulos e que são obtidos ou nos laboratórios ou pelos sistemas automáticos de medição online? Porque não se procurar verificar a razão dos valores fora do comum antes de se usá-los? É muito importante se analisar dados e rastrear valores fora do comum – muitas vezes, podemos estar descobrindo um valor extremo novo e desejado e deixamos que isso passe sem

aproveitar a chance de entendê-lo! Outras e numerosas vezes, estamos errando mesmo na determinação!

Ω Porque tanta estatística vem sendo utilizada pelos sistemas de gestão de dados (modelagens, simulações, redes neurais, etc.) e as pessoas simplesmente aceitam o que surge nas telas dos computadores, sem tentar entender como os dados e as curvas foram geradas e quais os fundamentos e os pressupostos introduzidos nessas criações?

Ω Como aceitar que o valor médio de apenas dois cozimentos realizados com amostras compostas de apenas 5 árvores médias de uma floresta aos 3 anos de idade possa indicar o real desempenho desse clone em uso industrial quando estiver com 6 ou 7 anos? O problema não é apenas o da idade da seleção precoce, mas principalmente a amostragem pequena e o número de repetições inadequado. Será que os analistas se preocupam em avaliar as diferenças entre os valores individuais obtidos para decidir se o número de repetições foi adequado? Como fazem isso e como tomam essa decisão?

Ω Existe um perfeito entendimento na empresa sobre o efeito da contração da madeira e da histerese sobre a expressão da densidade básica e sobre o desempenho das madeiras de uso industrial?

Ω Será que as empresas e seus técnicos estão sabendo diferenciar e usar corretamente os valores de densidade básica e os valores de densidade aparente anidra? Lembrem-se que a densidade básica nos remete ao volume úmido e saturado de madeira (como acontece nas árvores vivas) e a densidade aparente ao volume atual (como acontece com as toras após secagem natural e contração volumétrica da madeira).

Ω Será que o consumo específico de madeira em muitas fábricas não está sendo calculado com base em densidade básica (que remete ao volume das madeiras nas árvores) e não com base nos valores de densidade aparente anidra (que remete aos valores de madeira recebida na fábrica e medida pelo setor de recebimento de matéria-prima)?

Ω Porque empresas e universidades não dispõem de câmaras frias para armazenar materiais tão importantes às definições de seus processos como são as amostras de madeira na forma úmida,

evitando assim os efeitos de contração volumétrica, de histerese e dos ataques fúngicos e microbiológicos?

Ω Porque a rastreabilidade para os dados de qualidade da madeira costuma ser insuficiente para identificar corretamente as cargas de madeira quanto a origens, procedências, tipos de clones, idades, etc.?

Ω Porque costuma-se usualmente comparar coisas que não podem ser comparadas para tomadas de decisões? Por exemplo: comparar o efeito de idade de um clone, tomando amostras de madeiras em florestas plantadas em um local e com 6 anos e florestas plantadas em outro local com 10 anos! Existem tantos efeitos acumulados que dificilmente se poderá concluir sobre ter sido a idade a principal causa das diferenças encontradas.

Outra comparação inadequada: comparar o efeito do teor de lignina quanto à polpação kraft de duas madeiras – só que uma tendo densidade básica de 0,45 t/m³ e outra de 0,50. É obvio que existem muitos efeitos paralelos acontecendo e que a variação da densidade básica vai definitivamente interagir com o efeito do teor de lignina.

Ω Existem estudos e monitoramento dos efeitos de práticas silviculturais, de manejo florestal, de estocagem da madeira e de efeitos ambientais e biológicos sobre as eventuais alterações de densidade básica? Existem ações preventivas estabelecidas em função disso?

Ω Será que alguns técnicos inexperientes não estariam fazendo projeções de peso seco de madeira nas florestas plantadas com base apenas em valores de densidade básica de amostras colhidas ao nível do DAP (Diâmetro à Altura do Peito), sem terem o cuidado de converter esses valores ao nível do peito das árvores em valores médios para a árvore em toda sua altura comercial? Será que todos sabem que a densidade básica ao nível do DAP não representa a densidade média da árvore, principalmente no caso dos eucaliptos?

São esses e muitos outros questionamentos, que eu poderia lhes trazer para fomentar autorreflexões e até mesmo para avaliação dos programas de qualidade de madeira sendo utilizados pelo setor de base florestal.

Apenas a título de exemplo em como as coisas podem dar errado, quando não se coletam boas amostras e não se cuidam dos procedimentos analíticos em número de repetições por análise, vou lhes citar um exemplo de caso que me informou um amigo do setor de celulose e papel.

Relatou-me ele que um teste feito em um laboratório tinha a missão de classificar por ordem de desempenho um número de dez clones destinados à produção de celulose kraft. O estudo foi realizado com base na amostragem clássica de 5 árvores médias por clone e duas repetições dos ensaios por tipo de avaliação de qualidade da madeira (densidade básica, teor de lignina, teor de extrativos, rendimento na polpação kraft, carga de álcali ativo, etc., etc.). Ao término das análises foi feito um "ranking" dos clones, definindo-se os melhores e os piores em ordem de potencial desempenho.

Para checar a qualidade das conclusões, o pesquisador resolveu realizar o mesmo tipo de teste – só que com outras amostras dos mesmos clones tomadas das mesmas florestas. Ou seja – tudo foi feito exatamente da mesma forma, só que com outras 5 árvores médias das mesmas florestas. Critérios, ensaios, analistas, laboratórios e procedimentos foram exatamente os mesmos.

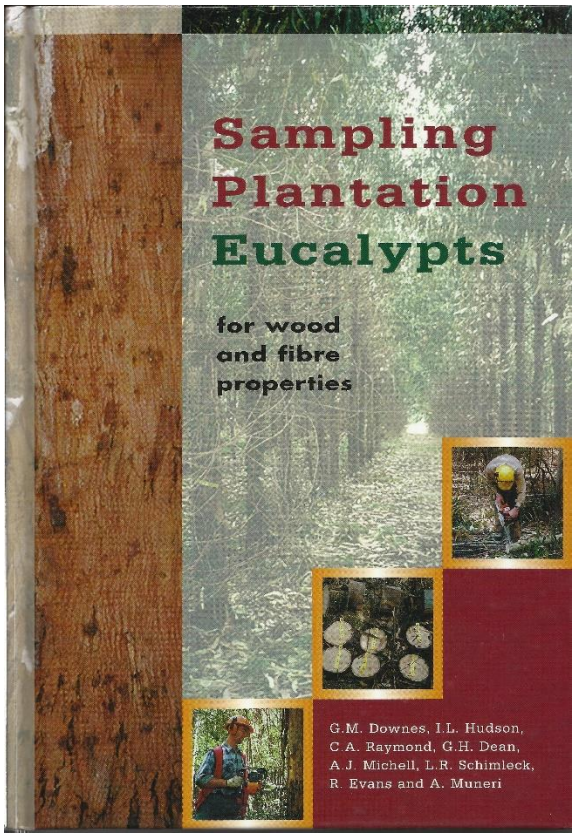
Aconteceu exatamente o que eu tenho tentado reforçar com diversos dos trabalhos que temos apresentado na literatura: como a dimensão da amostra era pequena e os números de repetições inadequados, a nova classificação dos clones por desempenho potencial foi completamente diferente da anterior. Um clone classificado como excepcional na primeira classificação despencou no "ranking", quando foi feita a nova classificação.

Ou seja, mesmo se trabalhando com as mesmas florestas e os mesmos clones, as decisões seriam equivocadas porque o tamanho da amostra era demasiado pequeno e a qualidade dos resultados analíticos era inadequada.

Mais uma vez reforço o que sempre tenho dito: "*não devemos ter medo do trabalho trabalhoso*", com mais árvores a amostrar e muitos ensaios em laboratório. Muito maior será o trabalho de se remediar os erros das más decisões empresariais ou acadêmicas em função de resultados de má qualidade devido a essas causas.

==========

TUDO COMEÇA NA AMOSTRAGEM DE ÁRVORES, TORAS E CAVACOS



Um livro fundamental para a leitura de todos

Em diversas das publicações sobre qualidade da madeira, que tenho trazido à literatura com grupos diversos de pesquisadores (aos quais dedico minha gratidão a apreciação), sempre tenho demonstrado uma grande preocupação não apenas em relação à qualidade da madeira em si, mas sim em relação à amostragem do material para os ensaios subsequentes de qualidade da madeira.

A amostragem é a base de tudo. É através dela que precisamos colher as quantidades e os materiais corretos para serem analisados e, com isso, obter os dados corretos para suporte às nossas decisões futuras. Temos também que estar conscientes, que sempre estaremos cometendo alguns tipos de erros, mas que devemos trabalhar para minimizá-los, ou pelo menos conhece-los.

Tenho consciência de que amostrar muitas árvores ou se exigir enormes quantidades de análises representam atrapalhações em relação

a tempo, demandas de recursos humanos e laboratoriais e custos. Entretanto, simplificações exageradas, como tenho visto na vida prática, podem representar a disponibilização de valores de qualidade da madeira, que não sirvam para nada – ou pior, que sirvam para tomadas de decisões equivocadas, que podem até mesmo reduzir a competitividade da empresa, do produto ou até mesmo do setor industrial, que vier a se apoiar nesses dados de baixa qualidade.

Vou lhes trazer a seguir um exemplo sobre a seleção de árvores/clones com base em valores de densidade básica, mas que pode ser extrapolado para muitas outras situações em nosso setor – sejam na área florestal ou industrial.

Esse exemplo eu coloquei no capítulo 11 do Eucalyptus Online Book e tomo a liberdade de reproduzir com algumas adequações no presente capítulo:

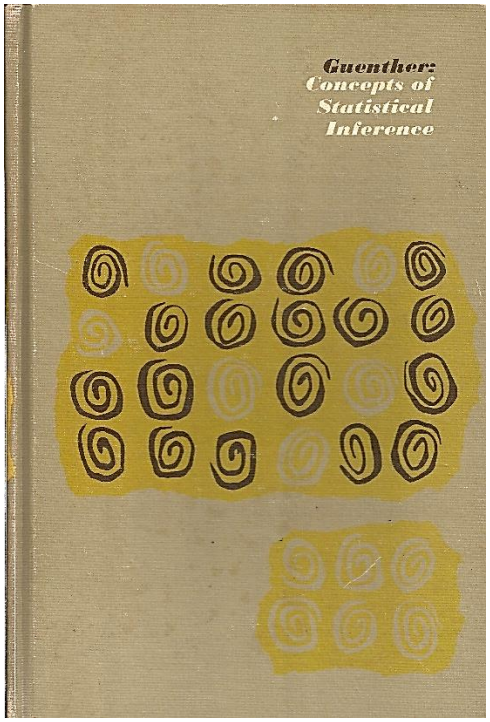
"Grande parte do enorme sucesso do setor florestal brasileiro se deve ao melhoramento genético florestal. Tenho visto e me surpreendido com a enorme quantidade de esforços colocados no melhoramento genético nas empresas que trabalham com o eucalipto. É comum as empresas falarem em testes de clones, que chegam a alguns milhares em números de genótipos testados. Qualquer empresa de médio porte se ufana de já ter testado mais de dois mil clones e de terem esses materiais em seus bancos clonais. Desses, os que vão efetivamente para a frente de plantios comerciais são pouquíssimos. Em geral, as empresas introduzem poucos clones por ano. O esforço é grande demais e muitas vezes os resultados não são proporcionais a todo esse esforço.

Clones inadequadamente selecionados para o plantio comercial
(um com baixa resistência ao vento e outro com defeito na forma das árvores)

Eu particularmente tenho algumas restrições a essa enxurrada de materiais sendo testados, pois ela provoca simplificações exageradas para reduções na quantidade de árvores, amostras e ensaios. Tenho absoluta certeza de que em muitos casos não se está trabalhando com o número adequado de repetições ou que o tamanho da amostragem é insuficiente para a tomada de decisões seguras em relação aos clones.

Ficaremos então sujeitos a cometer erros que nos levam a decisões equivocadas. Quando temos poucas árvores amostradas para um determinado material genético, ou quando realizamos poucas repetições para uma determinada caracterização, ou quando tomamos uma amostra pouco representativa, podemos cometer erros de aceitar como bons materiais genéticos que na realidade não o são.

A estatística nos ensina que existem dois tipos de erros que podemos cometer, em função do nível de significância que viermos a querer trabalhar. Podemos escolher previamente esse nível de erro. Por exemplo, 90% de significância, significa que estaremos dispostos a aceitar um certo erro de 10% em nossas seleções. Se optarmos por 95% de significância, estaremos querendo errar menos (5%).



Outro bom livro para obtenção de embasamentos estatísticos sobre amostragens

Os dois principais tipos de erros estatísticos que nossas análises podem nos conduzir são conhecidos como Erros Tipo II e Tipo II.

Erro Tipo I: quando rejeitamos a hipótese da nulidade, quando não devíamos fazer isso. Ou seja, não deveria haver diferença entre um clone novo e um clone antigo e nós aceitamos que existe diferença. Ou seja, podemos estar descartando ou aceitando um novo clone, quando isso não devia estar ocorrendo. Acabamos aceitando como muito bom um clone que não o é, por exemplo. Esse é um tipo de erro bastante grave. A forma de melhorar e minimizar esse erro é aumentar o número de repetições a analisar para se reduzir o coeficiente de variação.

Erro Tipo II: Aceitamos a hipótese da nulidade, quando na verdade existem diferenças importantes e significativas entre os materiais. Aceitamos por exemplo que um clone melhor ou pior é igual aos que já temos. Podemos estar descartando um material bom e melhor por acreditar que ele é igual aos demais que já temos. Se tivermos outros acertos com outros clones, esse tipo de erro não é tão grave. Para minimizar esse erro podemos mudar o nível de significância e também aumentar o tamanho da amostra.

O erro tipo II não é tão problemático, afinal podemos estar deixando de encontrar um material genético bom, mas já temos outros bons para compensar essa perda.

Já o erro tipo I é letal. Se aceitarmos, por falta de adequadas medições ou por baixa qualidade da amostragem, um clone ruim, achando que ele é bom, a descoberta poderá acontecer muito tarde.

Prefiro muito mais trabalhar com menos clones a selecionar e analisar muito bem cada um, aumentando o tamanho das amostras e o número de repetições. Considero mais adequado se fazer uma avaliação preliminar melhor nas fases iniciais da seleção para depois se trabalhar com mais segurança em termos de excelentes amostragens e de credibilidade dos dados medidos.

Reflitam sobre o seguinte: ao cometermos um erro tipo I estamos dando um atestado de ineficácia para nosso melhoramento florestal.

Por essa razão deixo algumas perguntas para reflexão dos melhoristas florestais:

- Quem está trabalhando com pré-ensaios para se determinar o tamanho ideal da amostra a ser colhida em função da

variabilidade encontrada para a propriedade em questão (por exemplo: densidade básica) a ser otimizada?

- Quem está pré-definindo o erro que quer cometer?

- Quem está determinando a variabilidade de cada ensaio para se verificar se o número de repetições para as avaliações de densidade básica, rendimento em celulose, etc. estão adequadas?

- Quem está confirmando se realmente as amostras tomadas são representativas?

Se tiverem boas respostas para essas perguntas, continuem caminhando assim, vocês devem estar sendo eficazes nas suas seleções genéticas. Mas se não tiverem, repensem o seu programa de melhoramento, ele pode estar sendo apenas perfumaria".

Não devemos cometer erros em nossas seleções de melhores materiais genéticos

Para permitir que vocês tenham um melhor embasamento para essas reflexões em relação a esses questionamentos e de outros trazidos na seção anterior, tomo a liberdade de sugerir a leitura de uma

seleção de artigos, alguns de equipes em que estive agregado e outros de renomados autores da literatura global.

Por favor, leiam então com muita atenção:

Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft. C.A.B. Rosa. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 150 pp. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/UFSM_TESE_Claudia.pdf

Genetics of *Eucalyptus* wood properties. C.A. Raymond. Southern Cross University ePublications. 09 pp. (2002)

http://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1583&context=cpcg_pubs (em Inglês)

Variação da densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus saligna* em função de suas dimensões e da umidade. M.C.H. Souza; E.R. Reis; K.P. Serafim; C. Pedrazzi; S.M.B. Frizzo; P. Oliveira; C.E.B. Foelkel. 35º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002c.pdf

Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos. C.A. Benjamin. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 148 pp. (2002)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90648/benjamin_ca_me_botfca.pdf?sequence=1

Otimização do cozimento kraft para produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus globulus* com diferentes teores de lignina. G.V. Cardoso. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 147 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/UFSM_TESE_Gabriel.pdf

Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties I: Basic density. C.A. Raymond; A. Muneri. Wood Science and Technology 35(1-2): 27 - 39. (2001)

http://epubs.scu.edu.au/cpcg_pubs/584/ (em Inglês)

Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. G.V. Cardoso; C.A.B. Rosa; A.F. Guarienti; C. Pedrazzi; M.C.H. Souza; S.M.B. Frizzo; C.E.B. Foelkel. 34º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202001a.pdf

Amostragem de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação de lignina Klason e extrativos totais. A. Guarienti; C.A.B. Rosa; C. Pedrazzi; G.V. Cardoso; M.C.H. Souza; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000a.pdf

Considerações acerca do tamanho da amostra e número de repetições para avaliação de dados dendrométricos em povoamento clonal de *Eucalyptus saligna*. D.M.M. Flores; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo; G.V. Cardoso; C.A.B. Rosa. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000c.pdf

Amostragem de árvores para estudos tecnológicos da madeira para produção de celulose: tamanho da amostra, número mínimo de repetições e variabilidade das propriedades para um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. D.M.M. Flores; G.V. Cardoso; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 32º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%201999a.pdf

Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus*

***saligna*.** D.M.M. Flores. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 111 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/UFSM%20%20Dorot%E9ia%20Flores.pdf

Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties. G.M. Downes; I.L. Hudson; C.A. Raymond; G.H. Dean; A.J. Michell; L.R. Schimleck; R. Evans; A. Muneri. CSIRO Publishing. 144 pp. (1997)

https://books.google.com.br/books?id=tezX2UlnUhcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

e

https://books.google.com.br/books?id=tezX2UlnUhcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

Após a navegação nesses artigos e teses sugeridos para leitura, vocês poderão perceber que uma eficiente amostragem vai depender do grau de variabilidade da característica em questão e que estejamos encontrando no material que desejamos avaliar. Da mesma forma, o número de repetições para uma determinada propriedade sendo analisada em laboratório também irá depender da variabilidade encontrada entre os resultados obtidos.

Se a variabilidade for grande, o número de árvores, de toras ou de amostras a coletar deverá ser maior – se for pequena, o tamanho da amostra poderá ser menor. De todas as maneiras, as amostras precisam representar a população. Se elas não forem representativas, estaremos trabalhando muito para nada. A não ser que o propósito do analista seja apenas o de ter números para preencher lacunas em seus relatórios ou planilhas de produção ou de estudos acadêmicos.

A variabilidade pode ser determinada pelos cálculos de desvio padrão, variância ou coeficiente de variação. A maneira mais clara de visualização é pelo coeficiente de variação, que consiste na relação percentual entre o desvio padrão e a média (https://pt.wikipedia.org/wiki/Coeficiente_de_varia%C3%A7%C3%A3o).

Baixos coeficientes de variação (abaixo de 10%) são encontrados em populações com indivíduos mais homogêneos em relação a uma determinada característica. Já altas variabilidades são refletidas por mais altos coeficientes de variação (acima de 30%).

Medir a variabilidade da densidade básica entre árvores não é algo tão simples como possa parecer, principalmente se o objetivo for determinar a variabilidade da densidade básica média das árvores em sua altura comercial. Isso significa uma grande demanda de abate de árvores, coleta de amostras e de ensaios laboratoriais. Por essa razão, a maioria dos técnicos nas empresas e nas academias acaba procurando saltar fora dessa fase vital e muito importante do processo de amostragem. A maior parte desses avaliadores de qualidade da madeira adotou uma postura reducionista, que eu também já pratiquei, que é a amostragem de cinco árvores médias do povoamento e considerando que isso é suficiente. Curioso, que para amostrar essas cinco árvores médias sequer se leva em conta qual a propriedade que está sendo avaliada – escolhem-se cinco árvores com DAP próximo à média do povoamento e todos se sentem satisfeitos com o tamanho da amostra. Pior, obtêm as amostras das cinco árvores médias em DAP (do seu diâmetro à altura do peito), recolhem os discos ou toretes, misturam tudo e consagram a famosa amostra composta sobre a qual fazem as avaliações. Realmente, um procedimento amostral muito pobre. Pode até resultar em acertos, se a variabilidade da característica for pequena, mas na maioria das vezes, isso resulta em erros dos tipos I e II sem nenhum constrangimento ou arrependimento – até porque muitos não conhecem nada sobre esses tipos de erros.

Ao desprezarmos a variabilidade entre árvores e descartando árvores das posições extremas, estaremos no mínimo cometendo uma injustiça com a população toda e descredibilizando a qualidade da amostra como representativa dessa população.

Ao selecionarmos árvores médias com base em diâmetro estaremos cometendo outro engano científico ao imaginar que as árvores com diâmetro médio possuem todas as características da madeira em valores também médios. Parece incrível, mas é assim que muitos fazem – e até mesmo eu, em passado distante, antes dos estudos, que iniciamos em final dos anos 90's, com a valorosa equipe de pesquisadores que dispúnhamos na UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. Graças a esses trabalhos de pesquisa foi que pudemos entender melhor essas terríveis dissintonias e enganos, que têm acontecido no nosso setor.

Em função das dificuldades de se medirem muitas árvores, diversas simplificações têm sido propostas no setor, algumas com muito acerto e outras nem tanto. Vamos então nos concentrar nas que possam significar necessidades de maior nível de gerenciamento e de ações mitigadoras ou reparadoras:

- Adoção de processos sistemáticos de amostragem em detrimento das amostragens aleatórias, as quais permitiriam uma qualidade estatística mais adequada;

- Testes de poucas árvores consideradas como "árvores médias";

- Testes de poucas amostras por árvore, em geral a uma altura fixa de amostragem (ao nível do DAP, a 10%, ou 20%, ou 25% ou 50% da altura comercial);

- Utilização de métodos rápidos de análise de densidade básica, que realmente simplificam o tempo de ensaio e minimizam recursos e custos. Entretanto, como veremos em outra seção, muitos desses testes rápidos devem ser utilizados com ressalvas e apenas para classificação preliminar ou de "ranking" de materiais lenhosos (árvores, toras, cavacos, etc.). Eles não são testes para decisões finais, apenas para oferecer predições e estimativas.

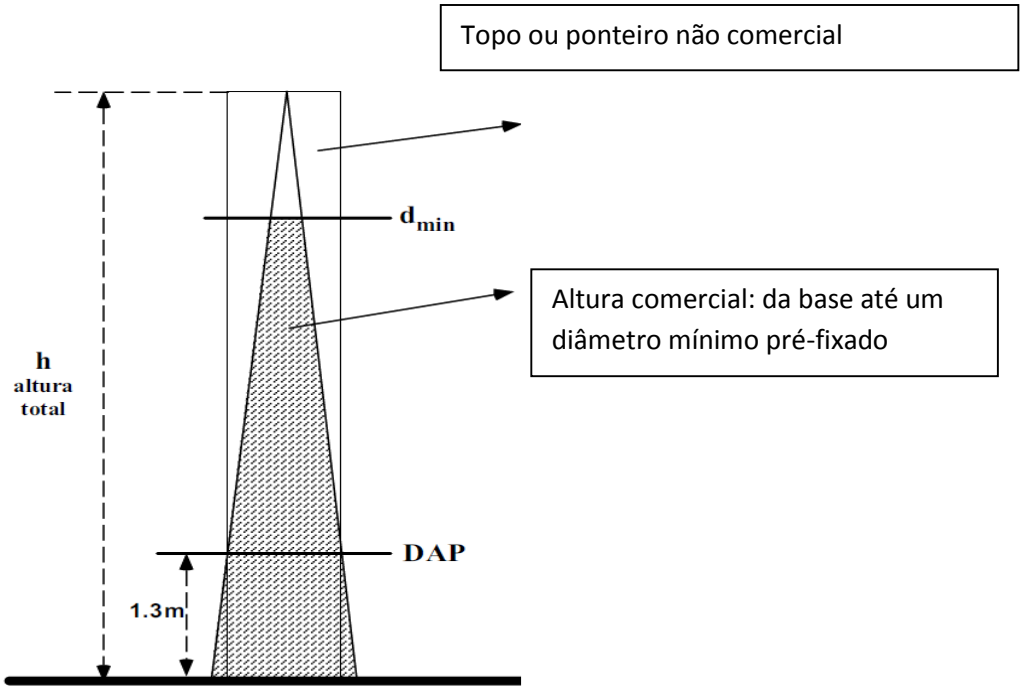
- Obtenção de um valor médio de apenas duas repetições para cada propriedade e material sendo testado, esquecendo-se que existe uma variabilidade nessas determinações, a qual também precisa ser entendida e controlada. Muitas vezes são necessárias 4 ou

mais avaliações do mesmo material para se ter um valor médio dentro de uma faixa de erro aceitável.

- Trabalhar com médias aritméticas para os valores obtidos de amostras de madeiras obtidas em diferentes alturas nas árvores e de árvores com diferentes volumes e dimensões. Ao se trabalhar com médias aritméticas estaremos privilegiando as seções e as árvores de menores volumes e pesos. Esses erros de cálculo de médias aritméticas ocorrem não apenas para densidade básica, mas para todas as propriedades da madeira.

  No caso de médias aritméticas envolvendo valores obtidos de madeiras coletadas a diversas alturas da árvore, estaremos privilegiando as regiões que contribuem pouco para compor o peso ou o volume total da árvore.

  Lembrar que cerca de 75% do volume comercial total de uma árvore de eucalipto se concentra até no máximo 50% de sua altura comercial. Logo, ao se usarem valores médios aritméticos estaremos privilegiando as seções do topo da árvore, que representam bem menos na composição do volume total da árvore.



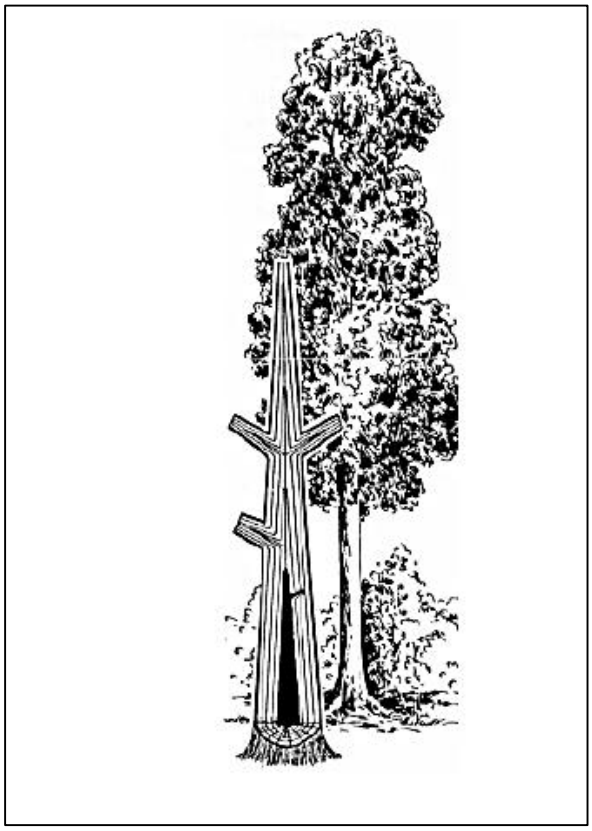
Evidentemente, temos situações distintas quando se desejam amostrar árvores vivas e em pé. Ou então, para amostras a serem coletadas de toras empilhadas de madeira no campo ou na forma de cavacos nas fábricas. Cada situação tem sua especificidade e precisa ser avaliada quanto à variabilidade da característica, para se definir quantas toras amostrar, em que posições, ou quanto de cavacos colher e de que forma. Cada situação é específica e deve ter avaliada a variabilidade da propriedade que se quer determinar para se definirem: tamanho da amostra, número de amostras e repetições a serem feitas por cada amostra de material.

Só assim poderemos efetivamente determinar a variabilidade e estabelecer a dimensão ou intensidade da amostragem.

No caso de toras e de cavacos empilhados, o processo de avaliação da variabilidade pode ser mais simples. Basta se coletarem amostras aleatórias em diferentes níveis das pilhas, obter as amostras de madeiras ao longo das toras ou dos cavacos e se determinar a densidade básica nessas amostras. Pelo cálculo do desvio padrão dos valores ou pelo coeficiente de variação pode-se entender se o material é muito variável ou não – daí para se determinar o número de amostras é bem simples, como veremos mais adiante.

Em árvores em pé, a situação é bem mais complexa, pois se necessita de um grande número de amostras a diferentes alturas de amostragem "apenas para se determinar a variabilidade da propriedade – no caso, da densidade básica". Isso representa um grande esforço e um enorme trabalho de coleta de muitos discos ou cunhas de madeira, manuseio e estocagem desse material, realização de ensaios laboratoriais, etc.

Por essa razão, a determinação preliminar da variabilidade pode ser feita de forma mais simplificada e que possa atender os objetivos de se melhorar a amostragem e não se sobrecarregar o processo todo.



Fonte: Tomazello Filho, 2009
http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Wood_quality_fast_grown_planted_forests.pdf

Uma solução poderia ser um pré-teste com a determinação da densidade básica em baguetas colhidas ao nível do DAP a partir de um número razoável e apropriado de árvores. Isso poderia ser feito com árvores coletadas de forma aleatória. Para algumas das árvores se estabeleceria a medição da densidade básica média da árvore toda e se derivaria uma equação que permitisse calcular a densidade básica média

da árvore em função da densidade ao nível do DAP – valores obtidos nesse último caso das baguetas.

Esses pré-testes podem ser feitos pelas equipes do inventário florestal, sendo que as determinações de densidade básica da madeira seriam partes integrantes dos serviços do inventário florestal, principalmente para as medições pouco antes da colheita (inventário pré-corte).

Com base nas determinações das densidades de baguetas colhidas ao nível do DAP poderiam ser calculadas, por equações de correlação, as densidades médias das árvores e se determinaria o valor do desvio padrão e coeficiente de variação – o que permitiria usar esses valores para definir a seguir o número de árvores que devem ser amostradas para representar a população.

Amostragens destrutivas (discos) e não destrutivas (baguetas)
Fonte das fotos:
http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Wood_quality_fast_grown_planted_forests.pdf (Tomazello Filho, 2009)
e
http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-13092011-112235/publico/Vinicius_Resende_de_Castro_versao_revisada.pdf (Castro, 2011)

Sabemos muito bem que a densidade básica de uma bagueta colhida ao DAP não representa o valor médio da densidade de uma

árvore de eucalipto, tampouco é a amostragem ideal de madeira a ser coletada. Entretanto, a densidade básica da bagueta coletada ao DAP se relaciona bem com a densidade básica média da mesma árvore – ou seja, para maiores densidades de madeira de bagueta, maior a densidade básica média da árvore em toda sua altura comercial.

Dessa maneira, poderemos obter a variabilidade da densidade básica média da árvore através de uma simplificação que tem certo grau de embasamento - e que por isso, pode ajudar a melhor entender a variabilidade da madeira dentro da população do povoamento em questão e que se deseja estudar.

Para dar simplicidade ao teste, recomendo que se colham diversas baguetas de madeira por árvore, ao invés de uma só. A determinação da densidade básica do conjunto de baguetas de madeira ao DAP de uma mesma árvore pode ser feita pelo método da balança hidrostática de uma vez só – da mesma maneira que se fazem os testes com cavacos de madeira. Se preferirem, podem usar o MMTU – Método do Máximo Teor de Umidade, também.

Pode-se até mesmo se determinar quantas baguetas devem ser colhidas por árvore, seguindo o procedimento relatado no artigo a seguir – não é nada difícil e ajuda a melhorar os valores estatísticos sendo determinados:

Amostragem de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação de lignina Klason e extrativos totais. A. Guarienti; C.A.B. Rosa; C. Pedrazzi; G.V. Cardoso; M.C.H. Souza; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000a.pdf

Quanto maior o número de árvores, que forem amostradas nos ensaios conhecidos como pré-testes para determinação da variabilidade da densidade básica, melhor será a determinação do desvio padrão e do coeficiente de variação. Esse número deve ser função das características da plantação, das disponibilidades de recursos e do tempo disponível.

As principais vantagens desses tipos de pré-testes são as seguintes:

- Não são testes destrutivos, preservando-se assim as árvores e a integridade da floresta;

- Permitem calcular de forma relativamente adequada a variabilidade da densidade básica do povoamento;

- Oferecem a possibilidade de melhorar a avaliação do número de árvores a amostrar como tamanho da amostra para os testes definitivos de densidade básica – os que implicaria depois em amostras destrutivas e com avaliação das árvores inteiramente em suas alturas comerciais.

Suponhamos que os ensaios de pré-teste para fins de determinação da dimensão da amostragem indiquem que se devem coletar 12 árvores para os ensaios da densidade básica. Essas 12 árvores sim é que precisarão serem abatidas, cubadas, terem discos seccionados e completamente avaliadas para se conseguir um valor médio representativo da densidade básica de cada uma.

Entretanto, lembrem-se de uma coisa – o melhor valor da densidade básica média do povoamento não será o da média aritmética para os 12 valores individuais e sim o valor de média ponderada com base no peso ou volume de cada árvore individual. Cada árvore estará assim dando a sua contribuição real para o valor médio do povoamento.

Também deve ficar bem claro que os procedimentos de preparação dos materiais e as metodologias de ensaio devem ser padronizadas. Escrevo isso porque é comum existirem laboratórios florestais, laboratórios industriais e laboratórios de pesquisa nas empresas de base florestal – se cada um der a sua contribuição com os ensaios, que seja de forma semelhante em termos de metodologias e procedimentos. Se isso não acontecer, teremos mais confusões a administrar e possivelmente mais erros do que acertos.

Resumidamente, são requeridos:

- Amostragens com adequado embasamento estatístico, confiáveis e representativas;

- Metodologias padronizadas, equipamentos aferidos e calibrados e pessoal laboratorial qualificado;

- Procedimentos e sistemas analíticos auditados e certificados.

Cilindros padrões para aferições do método da balança hidrostática

1. Tamanho da Amostra

O tamanho da amostra corresponderá ao número de árvores, de toras ou de amostras de cavacos que será necessário para se obter um valor médio adequado e representativo da população em questão (toda plantação, toda pilha de toras ou de cavacos).

Existem diversas fórmulas de cálculo estatístico para se determinar o tamanho da amostra – todas se baseiam em:

- Variabilidade da propriedade na população (desvio padrão);

- Erro que se aceita cometer no teste – por exemplo: 5% ou 10% ou 20%. Quanto menor for o erro a ser cometido, maior será o tamanho da amostra.

- Intervalo de confiança definido pelo tomador de decisões. Corresponde à amplitude em relação à média da amostra que o tomador de decisões considera adequada para aceitar o valor médio dentro do nível de erro pré-definido. No caso de densidade básica, costuma serem amplitudes de 0,01 t/m³ (±0,005) ou 0,02 t/m³ (± 0,01).

  Isso significa basicamente o seguinte: se adotarmos erro de 10% e intervalo de confiança de 0,02 t/m³, caso realizássemos 100 amostragens exatamente da mesma forma no povoamento em questão, em 90 delas o valor médio amostral ficaria dentro do intervalo (μ ± 0,01) – ou seja, média populacional real ± 0,01 t/m³, o que corresponde a um intervalo de confiança de 0,02 t/m³.

Em termos práticos corresponderia ao seguinte: se a média populacional de todos os indivíduos fosse 0,46 t/m³, para um intervalo de confiança 0,02 t/m³ significaria que a média populacional ficaria com uma amplitude entre 0,45 a 0,47 t/m³. Caro fossem realizadas 100 coletas de amostras e se determinassem os valores médios amostrais para todas as 100 amostras, para 90 situações os valores médios amostrais dariam valores entre 0,45 a 0,47 t/m³. Muito bom isso, não é mesmo?

Quanto maior for variabilidade medida pelo desvio padrão e mais baixass forem as pré-definições de erro a cometer e de intervalo de confiança, maiores serão as exigências para número de árvores a amostrar (maior tamanho da amostra).

Amostrando árvores para ensaios de qualidade da madeira

Antes de lhes apresentar uma das mais utilizadas fórmulas para se determinar o tamanho de amostras no setor florestal, trago novamente para sua leitura o trabalho de dissertação de mestrado de minha ex-orientada na UFSM – Universidade Federal de Santa Maria, a Sra. Dorotéia Maria Martins Flores, para que possam ler e entender mais sobre como fazer essas determinações de tamanho de amostra e as razões para isso ser feito:

Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna*. D.M.M. Flores. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 111 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/UFSM%20%20Dorot%E9ia%20Flores.pdf

A fórmula que selecionamos para esse procedimento e que utilizo até hoje foi aquela baseada nas proposições de Guenther (1965) e Flores (1999):

$$N = (t^2 . s^2) / (IC/2)^2$$

ou

$$N = [(t . s) / (IC/2)]^2$$

Onde:

N = Número de amostras a serem coletadas (por exemplo: árvores, toras, etc.)

t = Valor estatístico de Student para erros sendo cometidos dos dois lados extremos da curva de distribuição populacional - $t_{(1 - \alpha/2)}$

s = Desvio padrão determinado na avaliação preliminar

IC = Amplitude do Intervalo de Confiança, com valores que são pré-definidos em função do conhecimento tecnológico e do nível de precisão desejado para o ensaio. Significa, em última análise, a amplitude máxima estabelecida para que a média verdadeira esteja contida nessa amplitude de valores para o nível de significância adotado (ou seja, o "erro máximo" que se quer cometer).

Seja um exemplo prático, que apresenta os seguintes valores obtidos e pré-definidos no teste preliminar para cálculo do desvio padrão (variabilidade):

Amplitude do IC = 0,02 g/cm³

$D_{básica}$ na pré-amostragem = 0,420 g/cm³

Desvio padrão calculado na pré-amostragem = 0,018 g/cm³

Coeficiente de variação = (0,018 / 0,420) . 100 = 4,3% (baixo)

Número de árvores testados na pré-amostragem = 15

Valor de t Student para 10% erro e 15 indivíduos no pré-teste = 1,761

Tamanho amostra para 10% erro estatístico (95% significância) = **10**

Portanto, para um teste de boa qualidade para esse material – com erro pré-definido de 10% e amplitude do intervalo de confiança de

0,02 g/cm³ - o número ideal de árvores para serem amostradas seria de 10.

No caso de se ter que avaliar materiais homogêneos de clones de eucalipto, em geral o número de árvores a amostrar varia entre 10 a 20. Caso o número fique muito elevado, o avaliador pode alterar duas de suas pré-condições, alternado ou a amplitude do intervalo de confiança ou o erro que deseja cometer. Não há definitivamente necessidade de erros de 1 a 5%. Para essas avaliações erros de 10% ou de até 20% podem ser aceitos – afinal, uma taxa de acerto de 80 a 90% para uma avaliação em uma grande população já é bastante boa.

Por esse exemplo muito simples e para um clone com densidade básica bastante homogênea (CV = 4,3%), tivemos que amostrar 10 árvores, conforme os cálculos executados para as pré-definições estabelecidas de erro e amplitude de IC. Imaginem então, qual o enorme erro que poderemos estar cometendo ao amostrar apenas 5 árvores médias de uma população de um clone, que possa ter um coeficiente de variação maior para densidade básica (por exemplo – 10%). Por essa razão é que acredito que muitos dos números que são obtidos em algumas situações são apenas e tão somente perfumarias, como já lhes mencionei anteriormente.

2. Posição Ideal de Amostragem na Árvore

Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2009

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Dissertação-STELLA.pdf

No caso dos eucaliptos, a variabilidade da densidade básica da madeira no sentido longitudinal das árvores é bastante significativa. Ela varia com a idade, com o material genético e com o ambiente onde a árvore é plantada.

O modelo de variação da densidade básica em função da altura das árvores dos eucaliptos costuma ser o seguinte: altos valores na base da árvore seguido de rápida queda até cerca de 10 a 15% da altura comercial, para depois começar a subir novamente até 75% da altura comercial – a partir daí estabiliza ou sofre uma ligeira queda no topo da árvore, em função da juvenilidade do material.

Com um modelo desses, fica difícil se eleger uma altura como ideal para amostragem, seja na região do DAP ou a uma percentagem fixa da altura comercial (10%, 15%, 20% ou 25%, por exemplo).

Mesmo que se estabeleça uma altura fixa para amostragens, como o nível do DAP, é fundamental que se construam equações de correlação entre a densidade a esse nível fixo e a densidade média da árvore. Essas equações não são fixas e válidas universalmente – elas variam para cada clone, idade e sítio florestal.

Dessa forma, querer encontrar uma posição fixa e imutável e que ela represente a média árvore é algo impensável – só pode acontecer se for graças a um amplo estudo e só será válida para o material em que foi localizada, não podendo ser essa altura extrapolada para outros materiais. Por exemplo: para um determinado material a amostra a 50% de Hc (Altura Comercial) pode representar o valor médio da árvore – em outros casos, pode ser a amostra coletada a 25% Hc – e assim indefinidamente...

Dessa forma, sugiro que se selecione um ponto de fácil amostragem (por exemplo: nível do DAP) e se criem as equações de correlação entre as propriedades nesse nível e os valores médios da árvore. Com densidade básica isso mostra boa correlação, mas com outras propriedades como teor de extrativos, nem tanto.

Tenho certas restrições ao nível do DAP, apesar de ele ser o de mais fácil amostragem para testes não-destrutivos. Se o teste for destrutivo, melhor se amostrar a 10% Hc ou 25% Hc.

A razão para minhas restrições ao nível do DAP são duas:

- Em geral, esse nível apresenta uma das mais baixas densidades básicas da árvore do eucalipto;

- Esse nível corresponde a momentos fisiológicos diferentes em árvores com diferentes alturas. Em uma árvore de 13 metros de Hc, o DAP corresponde a 10% da altura comercial, mas se a árvore tiver 26 metros, ele corresponderá a 5% Hc.

3. Amostragem de Baguetas de Madeira

Baguetas são cilindros de madeira coletados de árvores vivas, em geral em alturas entre a base e o DAP da árvore, valendo-se da ação de uma sonda perfurante (broca). Essas amostras possuem entre 5 a 15 mm de diâmetro e comprimento variável e até 30 cm.

As baguetas são amostradas para não se abater a árvore, preservando assim o material genético vivo e na forma como se encontra na floresta. Com isso, a árvore poderá participar mais ativamente do programa de melhoramento genético, fornecendo sementes, pólen, material para propagação vegetativa e continuar sua vida.

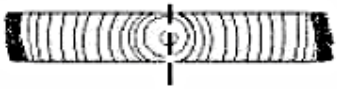
A retirada da bagueta é um processo que causa certo nível de dano na madeira, pois existe um efeito de compressão e compactação nas bordas da bagueta, conforme a sonda vai penetrando no interior do tronco.

A determinação da densidade básica em baguetas necessita de inúmeros cuidados e também de um perfeito conhecimento do que ela

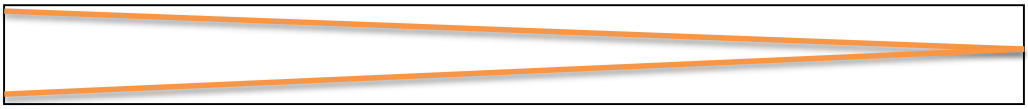
representa. A pequena amostra cilíndrica tirada na altura do peito definitivamente não é representativa da árvore e sequer do disco na altura da amostragem. Isso porque há a conhecida variabilidade da árvore no sentido base/topo e no sentido medula/casca. Além disso, a bagueta tem forma cilíndrica e a forma ideal seria que tirássemos uma fatia de disco, com mesmo ângulo, em relação ao centro da medula, como uma fatia de pizza, com mesmo espessura. Isso para que os tecidos próximos da medula tivessem real participação na bagueta toda e não maior participação na amostra que os do alburno, como acaba acontecendo com a forma cilíndrica da bagueta.

Outro problema é que a bagueta se quebra constantemente. Não se pode de forma alguma calcular a densidade de cada pedaço e depois fazer uma média aritmética. A média correta seria a ponderada por volume ou peso dos pedaços.

A melhor coisa a se fazer nesse caso é se tirar pelo menos umas 4 baguetas de cada árvore e se determinar a densidade média de todas juntas, calculando-se o peso úmido e o peso seco pelo método do máximo teor de umidade, como se as baguetas fossem cavacos de madeira.



Bagueta madeira – posição central = medula



Bagueta de madeira mostrando sua baixa representatividade amostral: a parte central na figura logo acima deveria ser a da amostra correta
Praticamente 50% do volume da amostra de bagueta não deveria estar incluído na amostra

Uma amostra representativa na posição que a bagueta foi tirada deveria ter o formato cônico, representado pela "fatia de pizza" mostrada no desenho acima. Como a bagueta é cilíndrica, ela privilegia maior proporção de madeira juvenil próxima à medula em relação à madeira mais adulta de alburno próxima da casca.

4. Amostragem de Discos de Madeira

Os discos são as formas mais usuais de se amostrar madeira de árvores para avaliações de qualidade da madeira. Isso se deve à praticidade de sua coleta, apesar de se ter que abater as árvores para sua obtenção. Os discos são coletados a alturas definidas em relação à percentagem da altura comercial da árvore. A altura comercial no setor de florestas plantadas corresponde à altura que vai da base da árvore até um diâmetro de tronco com 4 ou 5 cm (com casca), no topo superior da árvore.

Recomenda-se que os discos sejam coletados com a mesma espessura: o mais indicado é que não sejam grossos, devendo ter cerca de 2 cm de espessura, para facilidades simultaneamente de serem cortados e depois manuseados e processados. Pode-se estabelecer um limitador de corte para quem for utilizar a motosserra de forma a se garantir mesma e uniforme espessura dos discos.

Discos com espessuras variáveis e muito espessos são completamente contraindicados, pois quanto maior a espessura, mais difícil se torna a reidratação dos mesmos, quando isso se fizer necessário para os testes de densidade básica. Também, com muitos discos e muito grossos, aumenta-se demasiadamente a quantidade de material colhido, o que dificulta o armazenamento posterior do material, por limitações de espaços em câmaras de estocagem.

Em geral, existem coletas de discos conforme planos de amostragem por árvores que podem ser os seguintes:

6 Discos por árvore: Base; DAP; 25%Hc; 50%Hc; 75%Hc e 100%Hc

7 Discos por árvore: Base; DAP; 20%Hc; 40%Hc; 60%Hc; 80%Hc; 100%Hc

12 discos por árvore: Base; DAP; 10%Hc; 20%Hc; 30%Hc; 40%Hc; 50%Hc; 60%Hc; 70%Hc; 80%Hc; 90%Hc e 100%Hc

Caso haja interesse apenas em analisar a madeira, a casca pode ser removida, mas antes é sempre interessante se medir os diâmetros com e sem casca para determinação da proporção de casca na árvore (e a cada altura da árvore). Também se recomenda as medições de cerne e alburno, o que permite posteriormente as determinações de percentuais de casca, xilema, alburno e cerne na árvore.

Essas medições todas devem ser realizadas logo no momento da coleta dos discos, para evitar os efeitos de secagem e contrações volumétricas dos materiais que se deseja medir.

A amostra do DAP em geral é coletada para o estabelecimento de correlações entre a densidade a esse nível e a densidade média da árvore. Para o cálculo da densidade básica média da árvore todos os segmentos devem ser cubados e a média da densidade deve ser calculada proporcionalmente à contribuição de cada um e de todos.

5. Amostragem de Cunhas de Madeira

As cunhas correspondem a sub-amostras retiradas dos discos para reduções nos volumes de madeira para serem enviadas aos

laboratórios. As cunhas precisam ser extraídas a partir da posição da medula, na forma de fatias de pizza.

Atenção e muita atenção mesmo: para garantir que a madeira esteja sempre representada nas proporções em que é formada, as cunhas devem ser fatiadas com o mesmo ângulo em relação ao ponto central da medula. Esse ângulo pode ser 15º ou 22,5º (nesse último caso, corresponde a se obter 16 cunhas do disco).

São comuns os procedimentos que demandam amostras de cunhas opostas ou de cunhas conforme as orientações cardinais de crescimento e posicionamento da árvore (Norte e Sul e Leste e Oeste).

Quase sempre se tomam cunhas opostas e a cada altura de amostragem na árvore. Caso se estejam coletando amostras de 6 alturas, teremos 12 cunhas. Se forem 12 alturas, teremos 24 cunhas. O restante da madeira costuma ser descartado e fica no próprio campo florestal, para fins de biodeterioração. Entretanto, há os que trazem todo o material, para outros usos no laboratório ou na fábrica.

6. Manuseio e Acondicionamento das Amostras de Madeira

As amostras de baguetas, discos ou cunhas precisam de imediata identificação, que pode acontecer nos próprios materiais lenhosos, com canetas especiais, ou nos sacos plásticos levados para embalar cada amostra.

O ideal é que os sacos plásticos sejam levados já previamente identificados e até mesmo tarados (pesados quando secos). Dessa forma, se eles forem herméticos, pode-se determinar o peso úmido de cada material amostrado logo que se chegar ao laboratório de ensaios. Com isso, pode-se acompanhar a perda de peso do material desde o abate da árvore e, com isso, definir as necessidades em termos de tempos de reidratação para ensaios de densidade básica pelo método de imersão em água ou do máximo teor de umidade.

A determinação da densidade básica deve ser feita o mais rapidamente possível. Não se recomenda deixar que os materiais lenhosos fiquem secando ao ar para depois serem guardados para avaliações mais tardias a partir de amostras bem secas. A secagem

causa contração volumétrica das madeiras e a histerese dificulta depois a restauração dos volumes verdes das mesmas, pois afetará o inchamento das madeiras pelo reumedecimento.

Portanto, o tempo de reidratação ou umedecimento das amostras será bastante abreviado (para apenas algumas horas), caso as amostras sejam testadas logo após o abate das árvores.

A umidade ao abate das madeiras é bastante elevada e muito próxima da umidade ao máximo teor de umidade. Essa umidade é tão alta, que existe muita água livre dentro da madeira, sendo que ela tende a sair dos discos, cunhas e baguetas pela simples ação da gravidade. Na verdade, estamos falando de seiva bruta ou seiva mineral e não de água – pensamos ser água, mas na verdade é água rica em nutrientes, que foram absorvidos pelas raízes a partir da solução de água do solo.

Para os ensaios de densidade básica (onde se necessita medir o volume imerso), pode-se restaurar rapidamente essa situação de saturação, usando dessecadores com água e aplicando-se vácuo sobre a superfície para expulsar o ar que tenha penetrado nos poros das amostras de madeira. Esse tempo de saturação pode ser muito abreviado se o material for preparado para ser testado imediatamente após a coleta das amostras.

Não se pode esquecer jamais das corretas identificações dos corpos de prova, para evitar erros nas apropriações dos resultados. Essa identificação deve permitir entender o tipo de material, sua localização, idade, posição na árvore, posição cardinal ou cardeal, etc., etc.

07. Amostragem de Cavacos de Madeira

Os cavacos podem ser amostrados em pilhas de cavacos, ou logo após o picador (muito melhor em termos de representatividade, pois se conhecem as toras sendo picadas). Sempre existe a possibilidade de converter em cavacos os toretes de madeira amostradas das árvores, através do uso de picadores especializados para picar pouca quantidade de madeira (picadores semi-industriais ou picadores móveis de biomassa).

Mais uma vez é importante que, se a opção for picar toretes e produzir amostras compostas de cavacos, todos os toretes devem ter mesmo comprimento para se manter a proporcionalidade dos distintos tipos de madeiras produzidos pelas árvores.

Outro tipo comum de cavacos são os obtidos manualmente, usando facas afiadas de titânio (para evitar contaminar a madeira com ferro). Discos ou cunhas de mesma espessura e mesmos ângulos de fatiamento podem ser manualmente picados por pessoal qualificado. A espessura dos cavacos manuais costuma ser excepcional em termos de dimensões (espessuras entre 2 a 4 mm).

Os cavacos podem ainda ser obtidos a partir de:

- Madeira úmida de toras ou toretes recém coletados das árvores;
- Madeira parcialmente seca por secagem natural da madeira ou no campo ou no laboratório (propositadamente);
- Madeira picada industrialmente e estocada em pilhas;
- Madeira picada industrialmente, mas retirados logo na saída dos picadores;
- Madeira na forma de cavacos industriais, que são coletados diretamente na alimentação de reatores, digestores, desfibradores, etc.

São comuns três tipos de procedimentos para ensaios de qualidade de madeira a partir de cavacos:

+ As amostras de madeira obtidas na floresta, na forma de cunhas, discos ou toretes são submetidas à picagem e à conversão controlada em cavacos, mantendo a sua individualidade como amostra ou se criando amostras compostas;

+ Cavacos são recolhidos na pilha de cavacos (apenas para fins de identificação simplificada de madeira, mas sem capacidade de se referir sobre qual material os cavacos correspondem). Os cavacos, quando lançados sobre uma pilha, caem de forma desorganizada sobre a mesma e dificilmente se consegue uma correspondência entre as toras de madeiras sendo picadas e onde estarão os cavacos correspondentes na pilha.

+ Cavacos recolhidos na alimentação de alguma unidade produtiva (digestores, desfibradores, reatores, caldeiras de biomassa, etc.

São comuns aqueles que apreciam colher amostras compostas de cavacos. Misturando diversas amostras e obtendo apenas uma grande amostra para ser quarteada e homogeneizada pelos analistas.

Eu particularmente não gosto de amostras compostas, pois elas equalizam todo o material e dificilmente teremos informações de situações extremas em termos de variabilidade da madeira. As variações que se observam são menores – dá até a impressão que o material é estável e bem mais homogêneo. Quando se observam mudanças de qualidade, elas podem ser mais devidas às incapacidades do analista de homogeneizar bem o material e as próprias variações na realização das análises (efeito análise, efeito analista, etc.).

Tenho preferência por análises pontuais, com a máxima identificação das mesmas: tipo de madeira, tempo de estocagem,

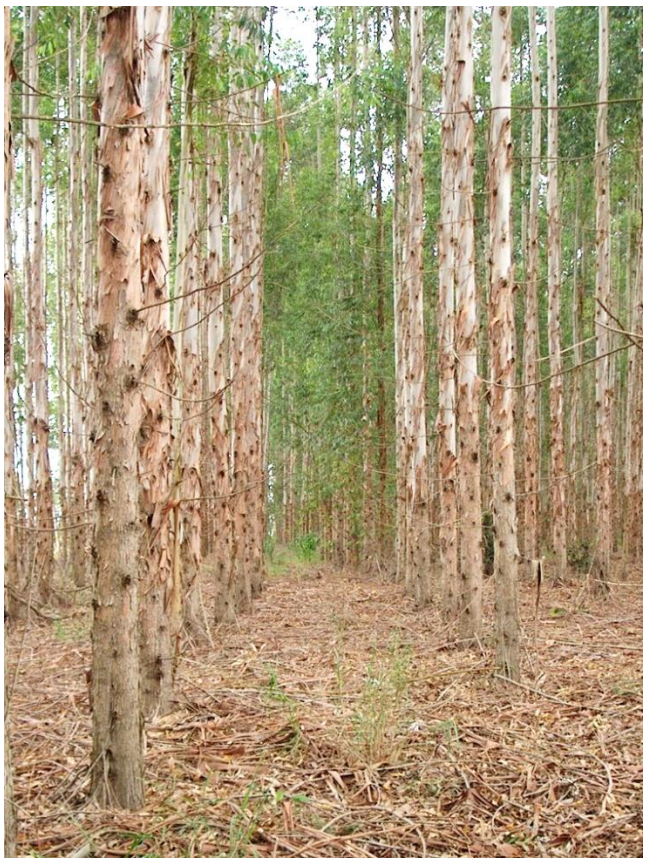
picador onde as toras foram picadas, idade da floresta, etc., etc. Ao se trabalhar com amostras pontuais, teremos muito mais informações sobre as alterações de qualidade da madeira e as razões para que isso esteja acontecendo – é claro, desde que criemos bons sistemas de rastrear dados e materiais.

Em geral, nas fábricas as amostras de cavacos são analisadas no mesmo dia da coleta, podendo serem destinadas aos seguintes tipos de ensaios: granulometria e dimensões; densidade básica, densidade aparente, teor de extrativos, teor de casca, etc.

Quanto mais informações tivermos acerca dessas amostras de cavacos, maior será nosso banco de dados e melhor será o nosso entendimento sobre as causas raízes que influenciam no desempenho dos cavacos no processamento industrial.

07. Sugestão de Procedimento Amostral por Processo Destrutivo com o Abate de Árvores

O primeiro passo consiste na seleção das árvores a serem abatidas na floresta. Há aqueles que preferem de forma simplista e acomodada abaterem 5 árvores de diâmetro próximo à média do encontrado na floresta em questão. Eu prefiro amostrar árvores de forma aleatória e proporcionalmente às frequências de árvores que existem por classe de volume (ou de diâmetro). Nada mais é do que uma amostragem estratificada por classes de DAP, como mostrado a seguir.



Seja por exemplo, a seguinte situação: ao se realizar o inventário florestal de pré-corte se determinou a variabilidade em diâmetro à altura do peito para a floresta que pretendemos colher amostras de madeira. Os dados de inventário foram ordenados de forma a mostrar as classes de frequência do DAP nos valores que ocorriam na floresta. Foi possível se criar uma tabela, como a que estamos mostrando abaixo:

Classe de DAP	Frequência (%)
Menos que 10 cm	8
10,0 a 12,5	20
12,6 a 15,0	38
15,1 a 17,5	28
Maior que 17,5	6

Se o tamanho da amostra na avaliação preliminar fosse determinado como sendo de 10 árvores para o ensaio de densidade básica da madeira (conforme procedimento já mostrado), essas dez

árvores podem ser colhidas conforme a seguinte amostragem de números de árvores por classe de DAP (com aproximações feitas em função da experiência do amostrador):

Classe de DAP	Número de Árvores por Classe de DAP	
Menos que 10 cm	0,8	**1**
10,0 a 12,5	2	**2**
12,6 a 15,0	3,8	**4**
15,1 a 17,5	2,8	**2**
Maior que 17,5	0,6	**1**

Para compensar os efeitos das aproximações, o amostrador deve buscar realizar a amostragem das 10 árvores de forma a privilegiar algum diâmetro maior ou menor, conforme se tenha reduzido ou aumentado o número de árvores para a classe em questão em relação ao número teórico.

A partir do momento em que as árvores são abatidas e colocadas no chão, o trabalho passará a ser coletar poucos, mas representativos discos de cada uma. Podem ser tirados conjuntos de 6, 7 ou 12 discos, como já mencionamos anteriormente.

6 Discos por árvore: Base; DAP; 25%Hc; 50%Hc; 75%Hc e 100%Hc

7 Discos por árvore: Base; DAP; 20%Hc; 40%Hc; 60%Hc; 80%Hc; 100%Hc

12 discos por árvore: Base; DAP; 10%Hc; 20%Hc; 30%Hc; 40%Hc; 50%Hc; 60%Hc; 70%Hc; 80%Hc; 90%Hc e 100%Hc

Qualquer que seja a opção por um número de discos, ele deve ser mantido para todas as árvores, bem como os discos devem ter espessura a mais uniforme possível.

Discos com madeiras defeituosas devem ser descartados e novos discos colhidos na mesma região da árvore (ou ligeiramente mais acima ou mais abaixo).

Imediatamente após a produção dos discos com qualidade aceita, eles devem ser fatiados em cunhas de mesmo ângulo em relação à medula. O melhor ângulo para se fatiar um disco é 22,5º (que corresponde a fatiar o disco em 16 cunhas iguais. Há os que preferem discos de 45º (mais fáceis de serem fabricados), o que corresponderia a 8 cunhas por disco. Sugere-se amostrar cunhas opostas por disco de cada altura da árvore.

Depois do disco, a cunha com mesmo ângulo de fatiamento é a amostra ideal, pois ela traz em si todas as participações de cada fase do crescimento da árvore, desde a medula até a casca. Ela se torna a amostra mais indicada, pois reduz bastante a quantidade de amostra de madeira para ser manuseada, armazenada e processada.

Ao se manterem discos com mesma espessura e cunhas fatiadas ao mesmo ângulo, teremos nas amostras coletadas as exatas proporções das madeiras da árvore a cada altura de amostragem.

Se não tivermos interesse em se determinar a densidade básica a cada altura, mas sim apenas a densidade básica média (ponderada) da árvore integral, basta se misturaram todas as cunhas úmidas coletadas de uma mesma árvore – com exceção das cunhas do nível do DAP. Isso para não privilegiar a parte de baixo da árvore, que já tem amostra colhida na base e a 25%Hc. A amostra do DAP serve para se criarem as equações relacionando densidades básicas ao nível do DAP e densidade básica média da árvore integral em toda a sua altura comercial.

As cunhas recém-coletadas das árvores recém-abatidas estão próximas do máximo teor de umidade. Elas podem perfeitamente serem testadas de imediato para densidade básica, pois estão quase que completamente saturadas com água. Basta serem adequadamente embaladas em sacos plásticos identificados para não perderem água. E também para não se misturarem amostras sem identificação apropriada.

Ao se chegar ao laboratório, as amostras podem ser colocadas em água para se determinar em no máximo 1 a 2 dias os valores de densidade básica pelo teste de imersão.

Cada conjunto de cunhas de uma mesma árvore pode ter sua densidade básica determinada como se fosse um único lote de madeira – não há necessidade de se tratar cada cunha individualmente. Podem ser usados recipientes metálicos ou redes de plástico para conter todo o conjunto e se determinarem os valores de volume imerso de todas conjuntamente, como se constituíssem um lote de cavacos.

É óbvio que teremos que adequar as dimensões do xilômetro (recipiente onde o material será introduzido para o teste de imersão – um balde, um tanque ou mesmo um béquer) em função das quantidades e volumes que serão testados. Da mesma forma, a balança de precisão deve ser adequada para os pesos e para o nível de precisão que se desejar usar.

Quando as árvores forem de dimensões avantajadas, podem ser feitos dois conjuntos de cunhas – separando cada um para conter um grupo de uma das cunhas opostas coletadas a cada altura. Também pode-se reduzir o tamanho das cunhas, trabalhando-se com ângulos menores do que 22,5º. Fatiá-las todas ao meio, seria uma opção válida.

A única dificuldade que isso traz é a maior demanda por estufas de secagem para obtenção dos pesos absolutamente secos de cada conjunto de cunhas. Entretanto, a secagem inicial pode ser feita ao ar – só ao final se utilizariam as estufas para a secagem final até peso constante.

As cunhas devem ser descascadas antes do teste, pois em geral se deseja a densidade básica da madeira e não do conjunto casca/madeira.

Caso haja interesse na densidade básica da casca, todas as amostras de casca podem ser misturadas e se determinar de forma conjunta um valor de densidade básica média da casca (em uma amostra, agora sim, composta). O teste de densidade básica da casca é realizado exatamente da mesma forma como o da madeira – só se deve ter o cuidado de remover bem o excesso de água dos fragmentos de casca, para evitar que os valores de peso úmido saturado sejam sobre-estimados.

Existe ainda a possibilidade de se converter todas as cunhas de madeira em cavacos manuais ou produzidos em um fatiador de facas de laboratório.

Em todos os casos e em todos os testes não se pode de maneira alguma perder a proporcionalidade de madeiras em relação a cada e a todas as alturas de amostragens da árvore.

Dessa forma, para que esse procedimento simplificado possa ser realizado, temos que ter definitiva e fundamentalmente: discos coletados com mesma espessura e cunhas com mesmo ângulo de fatiamento. Sugere-se a elaboração de limitadores e de esquadros para facilitar esses cortes das amostras.

Outra recomendação importante: a amostra da base não deve ser coletada rente ao solo, para evitar a exagerada influência da madeira da raiz e do lignotúber das árvores (no caso desse último, quando existirem). Sugere-se que seja colhida a cerca de 15 cm acima do nível do solo.

Existem os que preferem colher cunhas com base nas posições cardeais – N/S e L/O. Pode ser um fator complicador, mais amostras a serem trabalhadas diferentemente. Eu particularmente prefiro aleatoriedade – na média tudo acabará resultando no mesmo – a menos que haja vital interesse em se conhecer a influência das posições da árvore em relação aos pontos cardeais. Mas isso me parece mais um trabalho acadêmico de tese do que um procedimento prático para acelerar os testes e resultar em números com boa qualidade para tomada de decisões em laboratórios de empresas industriais.

Em todos os casos, as amostras dos discos devem estar perfeitamente limpas, sem contaminações com terra, barro, areia, serapilheira, gravetos, etc., etc.

Da mesma forma, os sacos plásticos devem estar limpos, íntegros e muito bem identificados, por canetas de tinta permanente e não lavável. Se preferirem, podem-se usar etiquetas com marcação colocadas dentro dos sacos – não recomendo por etiquetas do lado de fora dos sacos, porque se elas se soltarem, perderemos a identificação de forma muitas vezes definitiva.

Caso as amostras devam ser estocadas para ensaios posteriores, existem diversas maneiras de se terem bons sistemas de conservação:

- Estocagem em câmara fria a cerca de 4ºC, mas mesmo assim se aplicando uma nuvem de spray de um fungicida específico para os fungos apodrecedores e causadores de manchas em madeira.

- Após a realização dos testes de densidade básica, quando o peso úmido, o peso imerso e o peso seco de cada conjunto de madeira já tiverem sido determinados - secar ao ar o restante do material para que entre em equilíbrio com o mesmo e armazenar no tipo de sistema de estocagem que for disponível. Não se esqueçam de identificar muito bem os materiais para que possam ser utilizados sem problemas nos demais ensaios a serem realizados.

Todas essas considerações e sugestões apresentadas nesse item podem não estar absolutamente conformes a modelos de amostragens estatísticas de cunho acadêmico, porém elas são práticas, adequadas e ajudam a melhorar em muito as formas como as coisas vêm acontecendo em muitas situações no Brasil.

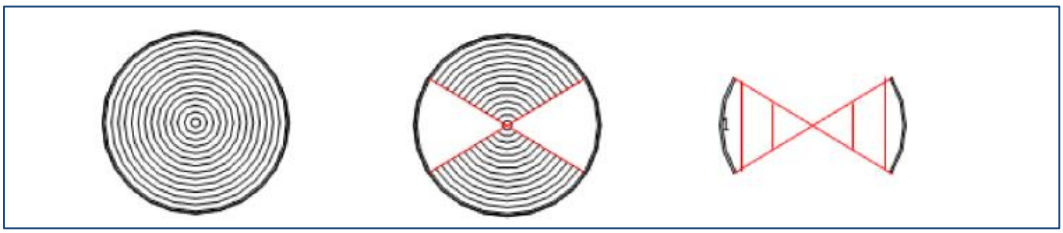
Muitas vezes, nossos técnicos possuem orientações inadequadas e que caminham historicamente na empresa ("*sempre foi feito assim, então é bom não mudar, para se poder comparar as coisas do passado com as atuais, pensam ingenuamente alguns"*).

Se nossa sugestão e as ponderações aqui colocadas não forem aceitas por vocês, que pelo menos elas sirvam para que sejam refletidas e que ajudem aos leitores a questionarem a forma como as coisas vêm sendo feitas nos locais onde estão atuando.

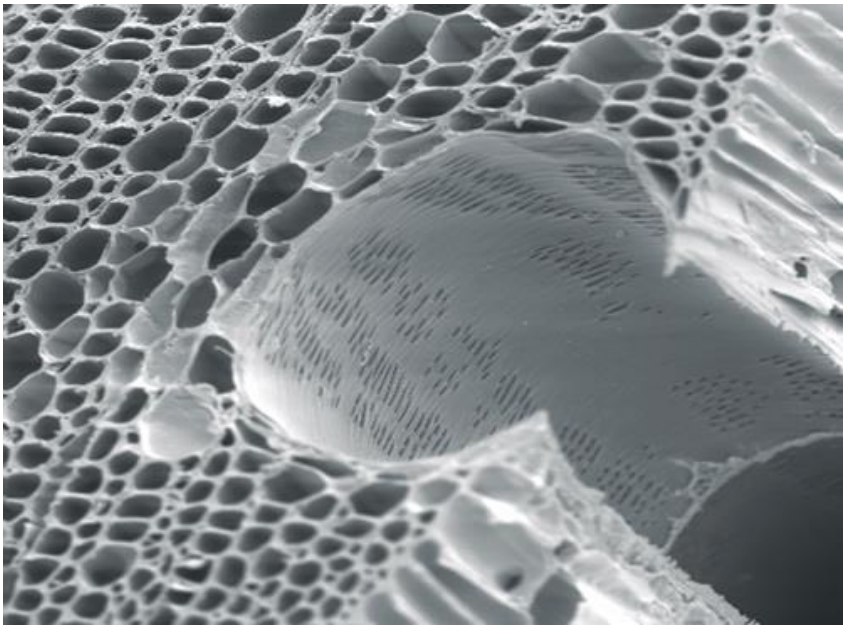
Mantenho fortes esperanças e expectativas de poder estar colaborando com o setor de base florestal plantada para que

consigamos melhorar a qualidade, não apenas da madeira, mas também da forma como árvores e madeiras são amostradas por esse setor.

Vejo hoje uma enormidade de esforços colocados pelos acadêmicos e pelos técnicos das empresas para estudar métodos rápidos para testes de densidade básica, principalmente com equipamentos como o Pilodyn e o espectrômetro NIR (Infra-Vermelho Próximo). Entretanto, quase nada encontro sobre estudos com a amostragem das árvores e de madeiras para estudos de QM - Qualidade da Madeira – *e é exatamente aí onde tudo começa*.

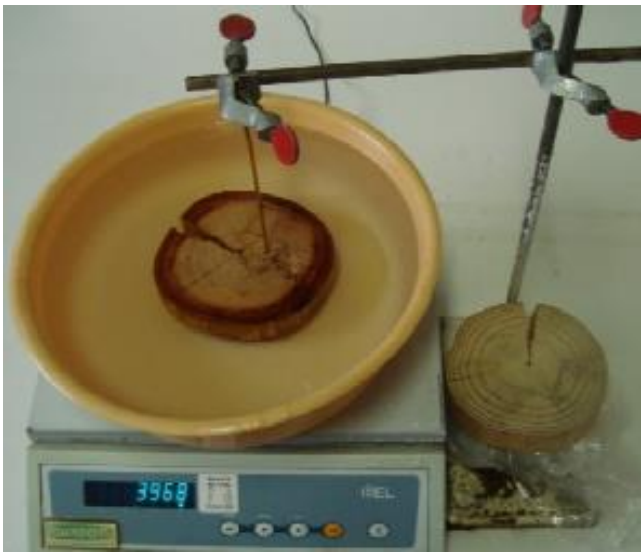


Amostragens de discos e de cunhas opostas
Fonte: Melo e colaboradores (2013)
http://eventos.uft.edu.br/index.php/sic/IX/paper/download/786/274



A beleza da porosidade e das células das madeiras dos eucaliptos

BREVE RELATO SOBRE AS METODOLOGIAS PARA MEDIÇÕES DE DENSIDADE DA MADEIRA



Método da imersão com xilômetro em cima da balança
Fonte: Bruder, 2012
http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0863.pdf

Embora os conceitos que servem de embasamento para as determinações de densidade sejam relativamente simples, nem sempre aqueles que realizam os testes conseguem executar os ensaios sem cometer algum tipo de prática inadequada.

Com isso, é muito comum que uma mesma madeira mostre resultados diferentes para sua densidade em função de:

- Tipo de densidade que se deseja medir;
- Metodologias de ensaios sendo utilizadas;
- Efeito analista;
- Característica da amostra (baguetas, cavacos, discos, cunhas, etc.);
- Dimensão da amostra para o mesmo tipo de amostra (cavacos maiores e cavacos menores, etc.);

- Grau de secagem da amostra de madeira antes do ensaio (efeitos contração volumétrica e histerese);

- Tempos de saturação;

- Qualidade do instrumental analítico (calibrações, precisão, etc.);

- Etc.

Tenho acompanhado diversos tipos de conflitos entre resultados, que acontecem entre universidades, entre empresas e mesmo dentro da mesma empresa, mesmo sendo ela certificada pelas normas IS0 9000 de sistemas de qualidade. Muitas vezes, as diferenças não se devem à madeira em si, mas às formas e cuidados aplicados nas avaliações. São muito comuns os testes serem realizados mecanicamente por analistas ou alunos da academia, que não tiveram por parte de seus tutores as devidas explanações sobre os conceitos e os cuidados a serem tomados na execução dos ensaios.

Não são raras as indagações que encontro na vida diária sobre valores discrepantes para densidade básica – isso acaba trazendo enormes inquietações nas fábricas e em muitas universidades com as dúvidas dos acadêmicos em relação aos dados de suas teses e dissertações.

Tenho visto, por exemplo, a utilização de alguns métodos em situações aos quais eles não podem e não devem ser aplicados – isso em grande parte se deve ao completo desconhecimento por parte de quem os usa dos princípios fundamentais que norteiam o ensaio.

Um desses erros, e que é bastante comum, consiste na utilização do MMTU – Método do Máximo Teor de Umidade para determinação da densidade básica de discos ou de cunhas de madeira. Esse método exige plena saturação da madeira e isso só se consegue com amostras de madeira de pequenas dimensões.

Outro erro comum é a secagem exagerada das amostras de madeira para permitir uma estocagem segura, sem ataque de fungos apodrecedores de madeira. A consequência é terrível, pois as amostras demasiadamente secas e de dimensões maiores (discos, por exemplo) têm muitas dificuldades para serem reidratadas e recuperarem seu volume verde para os testes de densidade básica por balança

hidrostática. Isso em função dos efeitos da contração volumétrica e da histerese, já comentados para vocês. Mesmo que o disco venha a fundar para o ensaio de imersão, ele não se reidratou o suficiente e tampouco inchou na intensidade que deveria pela hidratação insuficiente.

De uma maneira geral, existem dois grandes grupos de procedimentos para determinação de densidade da madeira, o que nos permite separar em:

- Procedimentos destrutivos: são aqueles que implicam no abate das árvores para se coletarem as amostras de discos, cunhas, toretes, blocos, etc. – dos chamados "corpos de prova";

- Procedimentos não-destrutivos: são procedimentos que permitem a retirada dos corpos de prova sem causar danos maiores às árvores – isso se consegue por avaliações na própria árvore em pé (Pilodyn, resistógrafo, etc.) ou por coleta de pequenas amostras de madeira (baguetas recolhidas por sondas de Pressler, por exemplo)

Outra maneira de se separar métodos está na forma de medição do volume da amostra para o cálculo da densidade. Também existem métodos que só podem ser aplicados para corpos de prova de pequenos volumes, outros que podem ser realizados em serragem de madeira, etc., etc.

Vamos então a seguir, fazer breves comentários sobre os principais grupos de métodos que são utilizados rotineiramente nas determinações de densidade básica e de outros tipos de densidade da madeira.

♣ Métodos por imersão em água:

Baseiam em dois princípios fundamentais da Física: a Lei da Impenetrabilidade da Matéria e o Princípio de Arquimedes.

A lei da impenetrabilidade indica que dois corpos de matéria não podem ao mesmo tempo ocupar o mesmo lugar no espaço.

Já o princípio de Arquimedes garante que um corpo, ao ser mergulhado em um líquido, desloca um volume desse líquido, que

corresponderá a uma força contrária ao seu peso e que é denominada de Empuxo.

Existem dois tipos de métodos de imersão: os que usam um volumômetro ou xilômetro para medir o volume de líquido deslocado e os que se valem do sistema de forças, que é gerado pelo princípio de Arquimedes.

Os volumômetros ou xilômetros são simples sistemas com recipientes calibrados, que favorecem a medição do líquido deslocado (subida de nível da água ou saída de água por um ladrão para se medir o volume escoado).

Arquimedes notou que o volume do líquido deslocado corresponde a uma força de empuxo, que é exatamente igual ao peso do líquido deslocado. Como na maioria dos ensaios por esse princípio se utiliza a água como líquido, que possui uma densidade praticamente igual a 1 g/cm³; o volume deslocado de água e o peso deslocado de água são numericamente iguais. Logo, o empuxo sofrido pelo corpo (força que empurra o corpo para cima em direção oposta à força da gravidade) corresponde ao peso e ao mesmo tempo ao volume de água deslocado. Só que o volume de água deslocado, pela lei da impenetrabilidade é exatamente o volume do corpo que está sendo mergulhado na água.

- ♣ Métodos baseados em medições de volumes por paquímetros, scanners, etc.

São métodos que demandam corpos de prova com formatos mais homogêneos (blocos serrados, etc.), pois esses corpos terão suas dimensões medidas ou escaneadas para determinação do volume.

- ♣ Métodos baseados apenas em pesagens, sem necessidade de determinação de volumes

O mais tradicional desse tipo de métodos é o MMTU – Método do Máximo Teor de Umidade. Esse método pressupõe que o corpo de prova deva estar completamente saturado em água, que toda sua porosidade seja preenchida por água. Dessa maneira, a peça de madeira saturada e

no seu máximo teor de umidade só terá dois componentes principais ocupando o seu volume todo: água e "substância madeira".

A partir daí se derivam fórmulas que permitem o cálculo da densidade básica com bastante precisão.

- ♣ Métodos baseados em princípios físico-químicos e radiológicos

São em geral espectrômetros ou sistemas de radiação que são calibrados e se geram equações para medir absorbâncias e refletâncias, conforme se incidem ondas ou radiações sobre o corpo de prova. Os principais métodos em uso com esses princípios são: espectrômetro de Infra-Vermelho Próximo (NIR), espectrômetro de Infra-Vermelho Médio (MIR) e métodos nucleares baseados em radiações gama e raios X.

- ♣ Métodos baseados em ondas acústicas

Associam a passagem de ondas acústicas através da madeira e se derivam valores para densidade do corpo de prova em função da maior ou menor facilidade dessas ondas se movimentarem na peça de madeira.

- ♣ Métodos baseados na dureza ou resistência da madeira

Esses métodos se fundamentam no fato de que as madeiras mais densas são mais duras e mais difíceis de serem penetradas, permitindo o estabelecimento de equações relacionando densidade com essas resistências. Exemplos desses métodos: Pilodyn, Resistógrafos, Torsiômetros, etc.

Existe também a possibilidade de se terem métodos aplicáveis para corpos de prova com dimensões muito diferentes.

Ω Métodos para amostras de pequenas dimensões

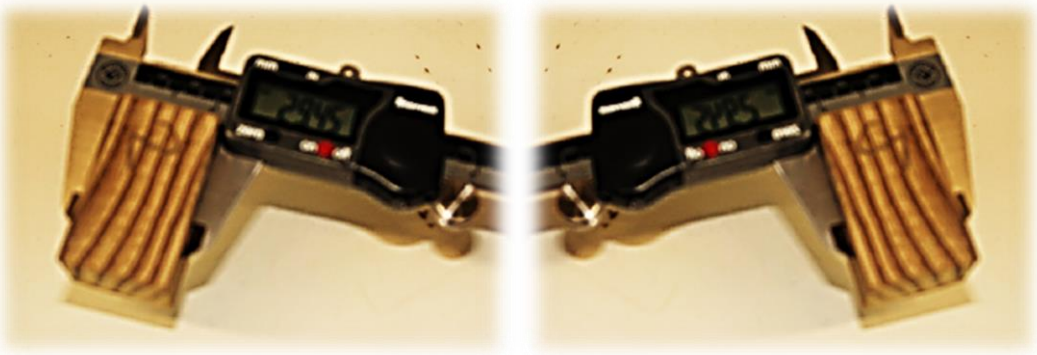
Utilizam baguetas entre 5 a 15 mm de diâmetro; cavacos entre 20 a 30 mm de comprimento/largura e 2 a 4 mm de espessura, fitas com espessuras de 2 a 3 mm, ou até mesmo serragem.

Ω Métodos para toras ou peças serradas (tábuas, dormentes postes, etc.)

São mais apropriados para medições da densidade aparente tal qual ou densidade aparente anidra. Baseiam-se em deslocamento de líquido (água) pelo princípo de Arquimedes ou em medições diretas de peso e dimensões.

Ω Métodos para cavacos

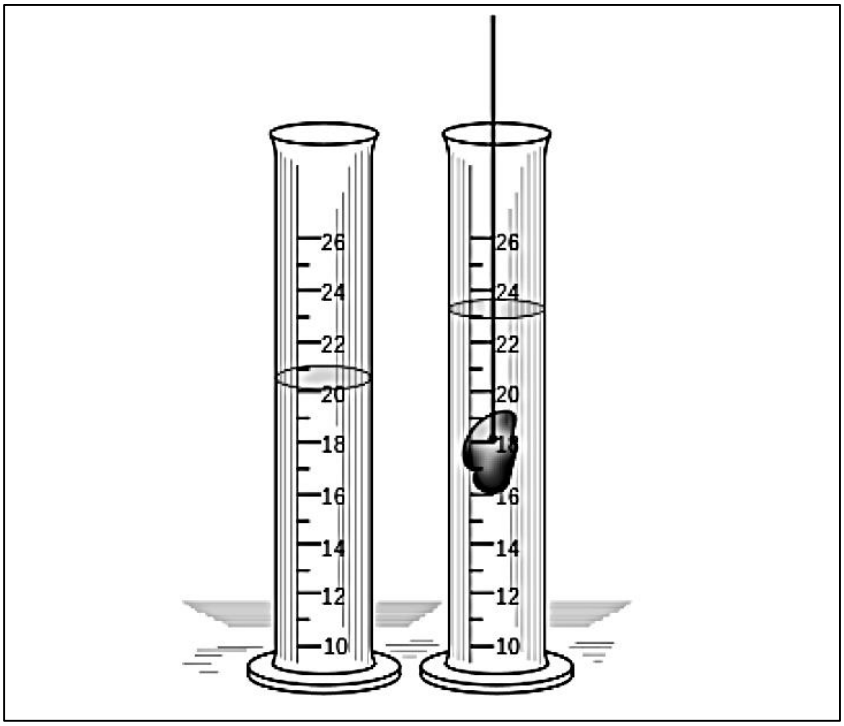
São métodos para se determinar ou a densidade aparente base anidra (densidade a granel ou "bulk density") ou a densidade básica da madeira dos cavacos de madeira



Medindo volumes de peças uniformes de madeira saturada
Fonte: Adaptado de Almeida e colaboradores, (2014)
http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/GJqhOS2OjOZ3IRW_2014-4-16-16-31-23.pdf

==========

MÉTODOS VOLUMÉTRICOS BASEADOS EM IMERSÃO EM ÁGUA PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA E DENSIDADE APARENTE DA MADEIRA



Princípio de Arquimedes e Lei da Impenetrabilidade da Matéria

Dentre os inúmeros métodos disponíveis para determinação da densidade básica ou da densidade aparente da madeira, os mais usuais são os procedimentos baseados no "Princípio de Arquimedes" e na "Lei da Impenetrabilidade da Matéria".

Princípio de Arquimedes:

Todo corpo ao ser mergulhado em um líquido desloca um volume desse líquido. O peso do líquido deslocado gera uma força que empurra o corpo mergulhado para cima, em oposição ao seu peso. Essa força é denominada de Empuxo (E). Quando esse líquido onde se mergulha um corpo de prova for a água, o Empuxo corresponderá ao volume de água

deslocado, ou melhor, ao volume do corpo imerso, pois a densidade da água pode ser considerada praticamente igual a 1 t/m³ ou 1 g/cm³.

Lei da Impenetrabilidade da Matéria

Dois corpos não podem ocupar ao mesmo tempo o mesmo lugar ou o mesmo volume do espaço.

Dessa maneira, ao se mergulhar um corpo de prova na água, ele tenderá a deslocar a água, pois não há como ambos ocuparem o mesmo espaço pelas leis da Física. Com isso, o nível da água subirá no recipiente, ou escapará dele, se o volume do xilômetro for insuficiente para comportar essa elevação.

Princípio de Arquimedes e Lei da Impenetrabilidade da Matéria sendo utilizados pelo Método da Balança Hidrostática com o xilômetro abaixo da balança
Foto: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

Com base nesses dois princípios da Física, diversos métodos foram desenvolvidos para determinação do volume de toras e de peças menores de madeira (cunhas, discos, cavacos, baguetas, etc.). A partir dos volumes obtidos, pode-se perfeitamente determinar tanto a densidade básica como a densidade aparente dos corpos de prova, seja de uma unidade desses corpos de prova ou de conjuntos deles (grupos de cavacos, toras, etc.).

Em seção anterior desse capítulo mostramos as diferenças entre os diversos tipos de densidade da madeira, que se baseiam, conforme o conceito, em padronizações de pesos (absolutamente seco, tal qual, etc.) e volumes (saturado, tal qual, a 12% de umidade base seca, etc.).

Os métodos volumétricos por imersão em água são os mais populares dentre os métodos volumétricos de determinação da densidade da madeira. Eles são considerados seguros, confiáveis, rápidos e de fácil realização. Inclusive, podem ser também utilizados, com a devida cautela, controles e ajustes, para se determinar a densidade aparente anidra de toras e de peças de madeira parcialmente secas.

Dentre todos esses procedimentos por imersão, o método da balança hidrostática é o mais conhecido e estudado. Ele se baseia nesses dois princípios da Física e o volume do corpo de prova é facilmente determinado através da resolução de sistemas simples de forças (no caso, pesos dos materiais).

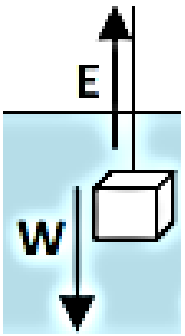
É vital que o corpo de prova afunde na água – ele não pode flutuar, pois todo seu volume deverá estar imerso – se ele flutuar, o seu volume total não poderá ser determinado, apenas parte dele.

Muitas vezes, o corpo de prova tende a flutuar, pois ele não está saturado e sua densidade aparente é menor que a densidade da água. Nesse caso, a força de Empuxo é maior que o peso do corpo – assim ele não é arrastado para baixo e flutua. Nesses casos, pode-se usar uma força (uma garra, ou haste) que empurra o corpo para dentro da água, "mesmo contra sua vontade". Essa força precisa ser calculada (ou anulada) para que o sistema de forças seja resolvido a contento.

Outro fundamento importante é saber que todo material que entrar dentro da água junto com o corpo de prova também vai deslocar água e gerar Empuxos correspondentes aos volumes deles. É o caso da haste, da grua, de recipientes para conter cavacos, baguetas, etc. Até

um simples prego que seja usado para segurar a peça suspensa precisa ser considerado. Esses volumes precisam ser conhecidos e descontados. Se isso não for feito, o volume do corpo de prova será superestimado.

De uma maneira geral, o sistema de forças é muito simples, o que pode ser observado a seguir, quando se mergulha uma peça de madeira na água em uma balança hidrostática:



W = Peso úmido ao ar do corpo de prova com excesso de água superficial removido por enxugamento (madeira úmida saturada sem água superficial livre)

E = Empuxo correspondente ao volume deslocado de água pelo corpo de prova e pela cordinha que o sustenta no líquido

A peça de madeira possui um peso úmido (W), que puxa a mesma para baixo, em função da força de gravidade. O peso úmido é o peso do corpo de prova de madeira que foi previamente saturado com água.

O empuxo (E), ou a força gerada pelo deslocamento da água, tenta elevar o corpo para cima, já que é uma força oposta à força da gravidade. Essa força E, no caso acima, corresponde ao volume de água deslocado pelo corpo de prova e pela cordinha que o sustenta imerso.

A balança hidrostática deve medir a seguir o que se chama de Peso Imerso (P_{imerso}), que é o peso do corpo de prova imerso em água. O valor do peso imerso é inferior ao do peso úmido ou saturado (W ou $P_{úmido}$), pois existe a força de Empuxo (E), que é contrária à força do peso úmido, conforme o sistema de forças já mostrado.

Resolvendo esse sistema de forças, teremos:

$$\mathbf{P_{imerso} = W - E}$$

Ou na prática

$$P_{imerso} = P_{úmido} - E$$

$E = P_{úmido} - P_{imerso}$

Para se medir o peso úmido, o corpo de prova, que estava saturando em água, deve ter removido todo o excesso de água superficial, senão teremos um peso úmido sobre-avaliado. Percebe-se que há água em excesso pelo brilho do corpo de prova, pois a água reflete mais a luz do que a madeira apenas úmida e sem água superficial em excesso.

Cavacos com excesso de água

Cavacos com excesso de água removido

Fotos: Danila Estevam Alves da Cruz (e equipe Eucatex)

O cálculo do empuxo é simples, bastam duas medições de peso como vimos. Porém, para o cálculo do volume do corpo de prova devem ser descontados do valor obtido para **E** todos os volumes extra de acessórios, como redinhas, recipientes, cordões, pregos, percevejos, grampos, etc. Esses materiais acessórios também têm o seu próprio peso (que afetam o chamado peso úmido). Dessa forma, um mais complexo balanço de forças precisa ser construído, envolvendo também os pesos e volumes dos acessórios.

O novo balanço de nosso sistema de forças será:

$$(P_{úmido.madeira} + P_{acessórios}) - (V_{madeira} + V_{acessórios}) = P_{imerso.conjunto}$$

...e

$$V_{conjunto} = (P_{úmido.madeira} + P_{acessórios}) - P_{imerso.conjunto}$$

...e

$$\mathbf{V_{madeira} = (P_{úmido.madeira} + P_{acessórios}) - P_{imerso.conjunto} - V_{acessórios}}$$

Esse sistema pode ser simplificado, pois podemos ter facilmente os pesos e os volumes dos acessórios previamente determinados e eles serem simplesmente anulados e descontados do sistema, simplificando assim esse sistema de forças e os cálculos a serem realizados. Entretanto, toda vez que se mudarem os acessórios, esses valores de peso e volumes de acessórios precisam ser novamente determinados para atualização dos cálculos.

Para evitar o uso de contrapesos, muitos laboratórios preferem trabalhar com recipientes metálicos (cestos metálicos perfurados) ao invés de redinhas plásticas, que tendem a flutuar e exigem contrapesos para afundarem para o cálculo do peso imerso dos acessórios.

A cordinha que sustenta o sistema também é um acessório e deve ser mergulhada sempre até a mesma altura e ter esse volume mergulhado também medido no volume dos acessórios.

A equação do volume, com os descontos dos acessórios poderia ficar a seguinte:

$$\mathbf{V_{madeira} = [(V_{conjunto}) - (V_{acessórios})]}$$

Como a densidade básica é definida como a relação entre o peso absolutamente seco de madeira pelo "volume verde" do corpo de prova saturado em água, para se obter a mesma basta então secar o mesmo corpo de prova em estufa a 105±3ºC até peso constante e se determinar esse peso seco (Pa.s.).

A seguir, dispondo-se de Pa.s. e de Vmadeira, se determina o valor numérico da densidade básica, por uma simples relação matemática:

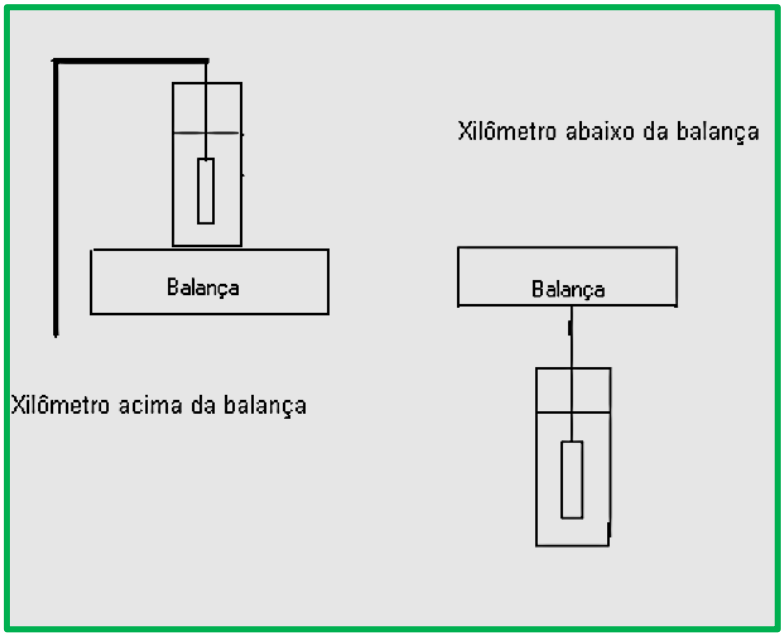
Db = (Pa.s.) : Vmadeira

...e resolvidos os ajustes dos pesos e volumes dos acessórios, a fórmula ficaria:

Db = (Pa.s.) : [(Púmido.madeira) – (Pimerso.madeira)]

As unidades de determinação da densidade básica, como já visto, são comumente as seguintes: g/cm³; t/m³ e kg/m³.

No caso específico dessa metodologia, aqui descrita de forma simplificada, denominamos de "Método da Balança Hidrostática com o Xilômetro Colocado Abaixo da Balança".



Fonte: Padula, 2013
http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Em 1984, o estimado amigo Benedito Rocha Vital trouxe, através de publicação da SIF – Sociedade de Investigações Florestais, um excelente relatório sobre métodos de determinação da densidade básica da madeira, no qual descreveu uma variação do método da balança hidrostática, onde o xilômetro era colocado acima e não abaixo da balança. Esse método do xilômetro colocado acima da balança se converteu em 2003 em um dos métodos padronizados pela ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas para determinação da densidade básica da madeira, conforme a seguir:

ABNT NBR 11941:2003. Madeira – Determinação da densidade básica. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

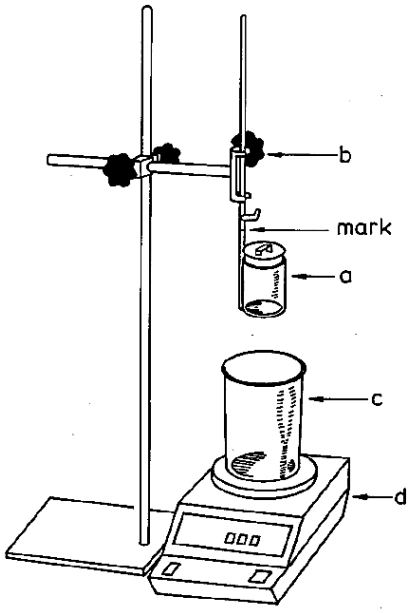
http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002494

e

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Método completo disponível como anexo ao final desse documento referenciado)

O outro método que a ABNT converteu em padrão brasileiro para densidade básica da madeira foi o Método do Máximo Teor de Umidade, que será descrito em detalhes em outra seção desse capítulo

Similarmente, temos também a metodologia SCAN-CM 43-95, que apresenta a mesma metodologia do xilômetro colocado acima da balança, como a seguir:



Fonte: Método SCAN-CM 43:95
http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_43-95.pdf

Onde:

a = recipiente para conter os corpos de prova (cavacos, baguetas, etc.)

b = suporte acessório

c = xilômetro, no caso, um béquer

d = balança de precisão

Por esse procedimento, o corpo de prova fica mergulhado no xilômetro com o auxílio de uma haste, que acaba anulando a resultante do sistema de forças, que seria igual a ($P_{úmido}$ – E). Zera-se a balança antes de se realizar o teste, com o xilômetro colocado sobre ela e cheio de água. Pode-se zerar a balança inclusive com todos os acessórios mergulhados dentro da água do xilômetro, até a altura marcada na haste como a altura padrão a ser mergulhada na água.

A única força que a balança assim medirá será a força negativa do empuxo, que a água exercerá sobre o corpo de prova colocado dentro do xilômetro. De acordo com o princípio de Arquimedes e pelo fato da densidade da água ser igual a 1 g/cm³, o valor medido do Empuxo corresponderá ao volume do corpo de prova (ou corpos) colocados mergulhados no interior da água do xilômetro.

Apesar de se estar medindo apenas o Empuxo, essa medição é também denominada de P_{imerso} pelo método, o que não deixa de ser apropriado, pois se está determinando o peso do material imerso em água. São, portanto, formas diferentes de enxergar o que seja P_{imerso} entre os dois métodos da balança hidrostática (xilômetro abaixo e acima da balança).

Ao zerar a balança com apenas os acessórios todos colocados dentro do xilômetro, até a altura da haste que queremos manter como referencial para os ensaios, teremos apenas o valor do Empuxo ou do Volume da madeira e nada mais.

Se não se dispor de balança que permita zerar os valores (tarar), é necessário que se calculem os volumes dos acessórios, inclusive hastes, cordinhas, cestos, etc. Caso contrário, tudo isso será considerado volume de madeira.

Nesse caso, teremos:

$V_{madeira} = (V_{acessórios+madeira\ úmida}) - (V_{acessórios})$

...ou

$V_{madeira} = (P_{imerso.acessórios+madeira\ úmida}) - (P_{imerso.acessórios})$

E assim:

Dbásica = ($P_{a.s.}$) / (Empuxo líquido descontados valores dos acessórios)

O cuidado mais importante, que se deve ter na realização desse teste, é o de eliminar toda a água superficial excedente, que porventura esteja molhando os acessórios e as peças de madeira antes de se mergulhar o conjunto em água.

Se isso não for feito, o peso dessa água livre e em excesso superficial irá afetar o valor do Empuxo a ser medido, e consequentemente dará um valor errado de volume do corpo de prova.

Quando se introduz água em excesso junto à madeira e acessórios, estaremos aumentando o peso do xilômetro com a água extra que entrou nele. Com isso, esse excesso de água entrará no balanço de forças, reduzindo o empuxo medido na mesma proporção da entrada de excesso de água. Por exemplo, se tivermos um excesso de água de 3 gramas no conjunto e o empuxo correto seria de 45 gramas, com esse excesso de água a balança medirá 42 gramas e não 45. Logo, excesso de água é crítico nesse tipo de método.

Podemos minimizar esse fato de duas formas:

- Sempre zerando a balança com apenas os acessórios colocados dentro do xilômetro a cada teste.

...e ao mesmo tempo

- Sempre removendo o excesso de água superficial dos corpos de prova, enxugando o material com um pano seco ou papel toalha.

O método do xilômetro colocado em cima da balança acabou sendo de fundamental importância para o desenvolvimento de diversos métodos hidrostáticos de medição de volume de toras de madeira no setor de base florestal. Esses métodos hoje são bastante comuns, disponíveis através de desenvolvimentos tecnológicos e até mesmo protegidos por direito de patentes: Dinatex (Eucatex); Pivotex (Pivotex Oy), etc.

No caso de se utilizar esses métodos hidrostáticos para medição de volumes de toras parcialmente secas, sempre se deve ter o cuidado de evitar a penetração de água por absorção para o interior das toras, o que implicaria em redução do volume medido, que seria subestimado. A experiência tem demostrado que os ensaios realizados em até 10 a 15 segundos de imersão praticamente não afetam os resultados de volume. Entretanto, se o tempo de imersão em água se prolongar por alguns minutos, os valores podem ser ligeiramente afetados.

Esse tempo máximo de 10 a 15 segundos é mais do que suficiente para a realização do ensaio, com a estabilização do peso após o ar entre as rachaduras das toras ter sido expulso. O método acaba por resultar em um valor até melhor do que os métodos de medição manual e por scanners, já que tem a capacidade de medir a real madeira e não as rachaduras e fendas que afetam os valores dos diâmetros das toras e que são muito comuns em toras de eucalipto.

Esse tipo de situação de absorção de água pelas peças de madeira não acontece na determinação de densidade básica porque a madeira foi previamente saturada, está bastante umedecida e não receptiva à absorção de água.

Além dos métodos por imersão em água que se baseiam no princípio de Arquimedes, existem outros métodos volumétricos que se fundamentam na Lei da Impenetrabilidade da Matéria. São os métodos que se valem de volumômetros ou xilômetros para medição desde volumes de pequenas peças de madeira até conjunto de toras.

Um volumômetro nada mais é do que um recipiente com água que possui um ladrão para escape do excesso de água. Pode ser um simples recipiente plástico de 1 litro ou um enorme tanque metálico de 30 metros cúbicos. Inicialmente, para a realização do teste, o recipiente é enchido com água até o ponto em que começa a sair água pelo ladrão. Espera-se um certo tempo até que o ladrão deixe de perder água. A seguir, se introduz o corpo de prova com cuidado no recipiente, empurrando o mesmo para mergulho total no interior da água. O

excesso de água que sair pelo ladrão é então medido e corresponderá ao volume do corpo imerso. Deve-se descontar o volume de qualquer acessório que tenha sido utilizado para empurrar a madeira e que permaneça dentro da água durante o ensaio (hastes, garras, gruas, etc.).

Xilômetro laboratorial analítico
Fonte referencial:
http://akeype.com/environmental/201306/28/page_57665.html#.VbKA7GxRFjp

Existem outros tipos de volumômetros baseados em alterações nos níveis de água, o que pode ser observado através do princípio dos vasos comunicantes. Utiliza-se um volumômetro de maior volume acoplado a um tubo mais fino graduado para se medir as alterações de nível da água. Muito simples e com menores consumos de água no ensaio.

Erros mais comuns cometidos na aplicação dos métodos volumétricos que se baseiam na imersão em água

A seguir, lhes ofereço um conjunto de alertas sobre erros usualmente sendo cometidos nas aplicações de métodos de imersão em água para avaliações de densidade básica e aparente das madeiras. Minha intenção é a de cooperar para que muitos deles sejam evitados ou pelo menos, minimizados:

- Secar demasiadamente (antes da realização dos ensaios de densidade básica) os corpos de prova, que são colhidos verdes e quase saturados das árvores nas florestas. Essa secagem intensa, mesmo que realizada em condições de secagem natural, acaba resultando em contrações volumétricas da madeira e dificuldades de reidratação devido ao fenômeno da histerese. Por mais que se tente reidratar uma madeira muito seca, ela dificilmente recuperará sua capacidade de absorver água e de retornar ao volume verde, que tinha quando a árvore foi abatida.

- Manter os materiais (madeira e casca) imersos em água para saturação por longos períodos de tempo, o que gera desenvolvimento paralelo de intensa microbiologia, a qual tende a biodeteriorar componentes do peso desses materiais. Também ocorre solubilização de extrativos em água e acontecem fenômenos de hidrólise de constituintes da madeira e principalmente da casca.

- Tempo de saturação insuficiente para resgatar o volume verde, principalmente para corpos de prova de dimensões maiores (discos espessos e que foram secados em demasia).

- Usar vapor ou ferver o material lenhoso para acelerar a remoção de ar e reduzir o tempo de saturação com água. A fervura ou a aplicação de vapor, mesmo que por pouco tempo, contribuem para a hidrólise de carboidratos (hemiceluloses) e dissolvem açúcares livres presentes nas seivas e nos vacúolos de estocagem das células.

- Remover de forma insuficiente o excesso de água dos corpos de prova antes da medição do peso úmido do material saturado em água.

- Falta de padronização de procedimentos para remoção da água livre superficial.

- Uso de centrifugação muito intensa para remoção de água livre, que pode remover também água do interior da madeira (muito fácil de acontecer, pois a água sai com muita facilidade do interior dos vasos largos das madeiras dos eucaliptos).

- Introdução de ar aderido aos corpos de prova e aos acessórios de teste, já que o ar também desloca água na imersão e têm esse volume medido como empuxo.

- Trabalhar com corpos de prova muito pequenos, o que aumenta a superfície passível de reter água livre e em excesso e também ar. Nessas situações, deve-se ser muito eficiente para remoção da água livre e do ar aderido nos diminutos corpos de prova.

- Esquecimento muito comum de se descontar os volumes dos acessórios usados nos ensaios de imersão e que afetam as medições de volume da madeira (redinhas, cordões, hastes, recipientes, etc.).

- Deixar o material imerso tocar as paredes do xilômetro (nas laterais ou no fundo).

- Falta de calibração dos volumes dos acessórios.

- Falta de calibração e aferição das balanças.

- Uso de água suja no xilômetro, cuja densidade foge do valor 1 g/cm³ e começa a subir pelas contaminações orgânicas dissolvidas e pelos sólidos suspensos presentes.

- Falta de cuidados analíticos na execução dos ensaios: material tocando nas bordas do xilômetro, material não imerso completamente, tempo exagerado de permanência do material no xilômetro, remoção inadequada de água superficial, etc.

- Número insuficiente de medições e repetições.

- Amostra não representativa.

- Uso de testes em temperaturas acima de 35ºC, quando a densidade da água começa a descolar do valor 1 g/cm³ (que é o valor a 4ºC).

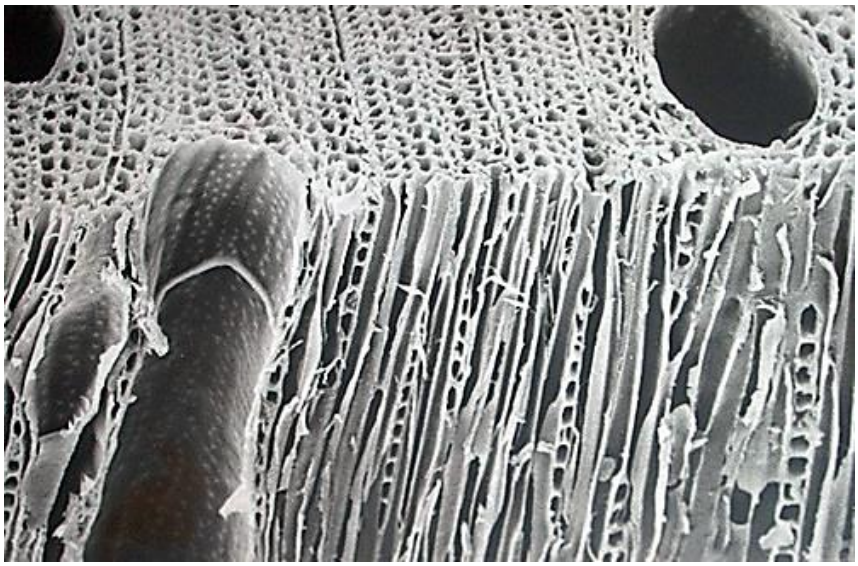
Temperatura (°C)	Densidade (g/cm³)[7]
100	0,9584
80	0,9718
60	0,9832
40	0,9922
30	0,9956502
25	0,9970479
22	0,9977735
20	0,9982071
15	0,9991026
10	0,9997026
4	0,9999720
0	0,9998395
−10	0,998117
−20	0,993547
−30	0,983854

Fonte: Wikipédia
https://pt.wikipedia.org/wiki/Propriedades_f%C3%ADsico-qu%C3%Admicas_da_%C3%A1gua#Densidade_da_.C3.A1gua_e_do_gelo

Os métodos baseados em conceitos hidrostáticos precisam, não apenas de cuidados, mas de conhecimentos das leis físicas que os regem. Raramente vi alguém, que realiza esses tipos de testes, receber um guia técnico ou um artigo para ler algo mais sobre esses conceitos, que precisariam ficar bem claros e explicados. O analista não é apenas um executor de testes – ele precisa conhecer muito bem os fundamentos teóricos do que ele está fazendo – com isso, fará melhor e com maior responsabilidade. Por essas e outras razões decidi escrever esse capítulo, com a expectativa que ele possa ajudar ao maior entendimento sobre as metodologias e os seus significados e embasamentos técnicos.

==========

MMTU
MÉTODO DO MÁXIMO TEOR DE UMIDADE DA MADEIRA



O procedimento de determinação de densidade básica pelo método do máximo teor de umidade é um dos mais utilizados no setor de base florestal. Sua popularização cresceu bastante a partir de trabalhos pioneiros publicados por Diane Smith (1954, 1955 e 1961) e por Foelkel, Mourão Brasil & Barrichelo (1971 e 1972) e depois por Foelkel, Milanez & Busnardo (1983).

A grande vantagem desse método é sua simplicidade, bastando apenas se dispor de uma balança analítica e de um sistema de dessecadores com acoplamento de vácuo para acelerar a saturação dos corpos de prova em água. Entretanto, o método só pode ser aplicado com sucesso se o analista estiver consciente de dispor de formas para levar as amostras de madeira à sua plena saturação. Isso significa que todos os espaços vazios da madeira devem estar preenchidos por água. Ou seja, no corpo de prova só teremos dois constituintes principais: a "substância madeira" das paredes celulares e a água ocupando a porosidade total da madeira, seja a macro como a microporosidade.

No processo de formação da madeira pela árvore, forma-se uma complexa mistura de constituintes químicos, que na prática se denomina de substância madeira ("wood substance"). Caso a madeira fosse totalmente constituída dessa substância, ela seria completamente sólida e sem porosidade alguma (no caso, dada pelos lúmens de células fibrosas, de elementos de vasos, etc.).

Na verdade, a madeira é muito rica em poros, o que significa que ela apresenta muito de seu volume como sendo de espaços vazios, que podem ser ocupados por água ou por gases (ar, gás carbônico, etc.). Por essa razão, eu costumo usar muito de uma analogia em minhas aulas de química da madeira para facilitar aos alunos o entendimento das diferenças em densidade da substância madeira e densidade da madeira em si.

É a seguinte a analogia que costumo apresentar:

Imaginemos que um tijolo de construção totalmente sólido (100% massa argilosa de tijolo) tenha uma densidade de 1,8 g/cm³. Um tijolo com furos, desses que se usam muito hoje em dia, tem na sua parte sólida uma densidade de tijolo sólido (1,8 g/cm³), mas o tijolo em si, por ser poroso, com furações e aberturas de vazios, tem densidade muito mais baixa, talvez 1,1 g/cm³.

A madeira seria assim também. Ela é muito porosa. Por exemplo, a madeira do eucalipto tem porosidades que variam entre 50 a 75% do seu volume total. São espaços vazios dos lúmens das células e até mesmo espaços microscópicos nas paredes (pontuações, microfraturas, etc.).

A "substância madeira" seria a parte totalmente sólida da madeira, 100% paredes celulares. É ela que dá o peso absolutamente seco da madeira.

A densidade básica da madeira é calculada com o peso seco da parte sólida, mas dividido pelo volume úmido contendo a porosidade. Por isso mesmo, a densidade básica da madeira é sempre inferior à densidade da substância madeira. Existem até mesmo relações diretas entre densidade básica e umidade dos corpos de prova, quando essas características são determinadas em condições de completa saturação em água dessas peças de madeira.

Voltando à substância madeira: a forma de se medir a sua densidade é transformando a madeira em pó e pesando o seu peso (ou massa) absolutamente seca (sem umidade alguma). Mas como achar o volume de sólidos, só de paredes, desse peso de substância madeira? Precisamos desse volume para calcular a densidade dessa substância madeira. Para isso, usa-se um picnômetro, que é um vaso de vidro rigorosamente calibrado e com seu volume absolutamente conhecido. Põe-se um dado peso seco de madeira em pó dentro do picnômetro e se completa o volume até o menisco, na completa impregnação do pó com

um líquido que molhe completamente esse pó de madeira, ocupando todos os espaços vazios do mesmo. Pode ser água, mas pode ser também acetona, éter, álcool, etc. Por diferenças de peso ou por leis hidrostáticas (tipo lei da impenetrabilidade ou princípio de Arquimedes) pode-se calcular o volume de paredes celulares desse pó de madeira (que está dentro do picnômetro).

Já fiz isso com madeira e fibras de eucalipto, inclusive em minhas aulas práticas quando lecionava na ESALQ e na UFV. Os estudos mostram que a densidade da substância madeira varia muito pouco de uma madeira para outra, entre 1,51 a 1,55 g/cm³ - preferindo-se usar o valor mais comum que é 1,53 e que se aplica muito bem tanto aos *Pinus*, como aos *Eucalyptus*. Nos estudos que realizamos encontramos valores de densidade da substância madeira para madeiras de eucaliptos entre 1,52 a 1,54 g/cm³, totalmente de acordo com o que se encontra na literatura.

No caso da aplicação do ensaio de medição da densidade básica pelo método do máximo teor de umidade, é óbvio que a saturação dos corpos de prova é feita com água. Para se garantir uma completa saturação das peças de madeira, há a vital necessidade de se trabalhar com corpos de prova de pequenas dimensões.

A maioria dos autores se refere a volumes de corpo de prova que devem ficar entre 150 a 2.500 mm³ para cada fragmento de madeira (fitas, cavacos, bloquetes, tiras e baguetas). Em todos os casos, a espessura é a dimensão mais crítica e ela não deve ser superior a 5 mm.

Um cavaco de madeira de eucalipto produzido em um picador industrial possui dimensões médias de aproximadamente 25 mm de largura, 30 mm de comprimento e 3 mm de espessura, o que corresponde a um volume de 2.250 mm³. Caso existam cavacos maiores que esse, eles podem ser fatiados ao meio (ou na largura ou na espessura). Com isso, melhora-se o processo de impregnação e penetração de água para dentro da madeira, abreviando o tempo para máxima saturação.

Caso os corpos de prova de madeira não estejam na máxima saturação, o que não é muito fácil se determinar apenas pela observação dos mesmos, a densidade da madeira acabará sendo superestimada. Isso devido ao fato de que o peso úmido do material saturado será medido como menor do que deveria ser na realidade.

Isso afetará os resultados de cálculo da densidade básica, que é calculada conforme a seguinte fórmula, que logo a seguir lhes apresentaremos como ela foi criada:

$$Db = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0{,}346}$$

Onde:

Db = Densidade básica da madeira - em gramas/cm³

PU = Peso úmido e saturado ($P_{saturado.MTU}$) – em gramas
PS = Peso absolutamente seco ($P_{a.s.}$) – em gramas

Quando a madeira se encontrar em seu MTU – Máximo Teor de Umidade, toda a sua porosidade estará ocupada por água. Nas peças de madeira (como cavacos ou baguetas) só existirão então: substância madeira e água.

Teremos então duas situações acontecendo ao mesmo tempo para cada peça de madeira em seu MTU:

Peso úmido ou saturado ao MTU = $P_{água}$ + $P_{substância.madeira}$

Volume úmido saturado ao MTU = $V_{água}$ + $V_{substância.madeira}$

A densidade da substância madeira pode, para efeitos demonstrativos e de cálculos expeditos, ser utilizada como sendo igual a 1,53 g/cm³. Por outro lado, a densidade da água poder ser tomada como igual a 1 g/cm³.

Dessa forma, ficamos com:

$$P_{água} = V_{água}$$

Logo:

$$P_{úmido\ ou\ saturado\ ao\ MTU} = P_{água} + P_{substância.madeira}$$

$$V_{úmido\ MTU} = P_{água} + \{(P_{substância.madeira}) : 1{,}53\}$$

Por outo lado, se toda a água for secada, o peso absolutamente seco ($P_{a.s.}$) da peça de madeira passa a ser o peso da substância madeira presente na mesma.

$$P_{a.s.} = P_{substância.madeira}$$

Densidade básica é por definição a relação entre peso absolutamente seco (ou peso de substância madeira) e volume da madeira saturada, que corresponde também ao volume ao máximo teor de umidade.

$$Db = (P_{a.s.}) : \{P_{água} + (P_{substância.madeira}) : 1{,}53\}$$

...ou

$$Db = 1 : \{ (P_{água}) : (P_{substância.madeira}) + 0{,}654\}$$

...ou

$$Db = 1 : \{ (P_{água}) : (P_{a.s.}) + 0{,}654\}$$

A relação ($P_{água}/P_{substância.madeira}$) corresponde ao teor de umidade referenciado base madeira absolutamente seca ($U_{b.s.}$), não em percentual, mas em base unitária.

Para um mesmo volume de madeira, quanto maior for o seu peso absolutamente seco (ou em substância madeira), menor será a quantidade de água (ou umidade) que ela poderá armazenar em sua porosidade (que será consequentemente menor). Logo, existirá sempre uma relação inversa entre densidade básica e o teor de umidade ao máximo teor de umidade. Madeiras mais densas não conseguirão

absorver ou reter tanta água como madeiras mais leves e mais porosas. Isso porque são menos porosas.

Finalmente, uma última relação pode ser utilizada na simplificação da fórmula em desenvolvimento:

$$P_{água} = P_{úmido.MTU} - P_{substância.madeira}$$

Ou ainda, escrevendo de outra maneira a mesma coisa:

$$P_{água} = P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}$$

De onde se conseguem:

$$Db = 1 : \{ (P_{água}) : (P_{a.s.}) + 0{,}654\}$$

$$Db = 1 : \{[(P_{saturado.MTU} - P_{a.s.}) : (P_{a.s.})] + 0{,}654\}$$

$$Db = 1 : \{(P_{saturado.MTU}):(P_{a.s.}) - 1 + 0{,}654\}$$

$$Db = 1 : \{(P_{saturado.MTU}):(P_{a.s.}) - 0{,}346\}$$

Ou então, como já visto:

$$Db = \frac{1}{\frac{PU}{PS} - 0{,}346}$$

Onde:

Db = Densidade básica da madeira - em gramas/cm³

PU = Peso úmido e saturado ($P_{saturado.MTU}$) – em gramas
PS = Peso absolutamente seco ($P_{a.s.}$) – em gramas

Que tem sido a fórmula mais comumente utilizada no emprego do Método do Máximo Teor de Umidade para de determinar a densidade básica da madeira.

Portanto, com apenas duas pesagens, a de peso saturado da madeira ao seu máximo teor de umidade e a do peso absolutamente seco correspondente a essa mesma amostra, pode-se calcular, com excelente confiabilidade, a densidade básica da madeira.

Mas para que os números sejam bons, a madeira precisa realmente estar em seu máximo teor de umidade – ficou claro – se isso não acontecer, estaremos fugindo do conceito básico do teste. É óbvio, portanto, que peças grandes de madeira (como discos ou cunhas espessas e largas), dificilmente conseguirão atingir plena saturação pelas técnicas laboratoriais disponíveis.

Quanto mais densa a madeira, maior será a quantidade de paredes celulares e de substância madeira em um mesmo volume de madeira. Com isso, a porosidade e a capilaridade ficarão menores e isso tem relação direta com a sua capacidade de absorver água. Logo, como já vimos, as madeiras mais densas possuem menor espaço para a entrada de líquidos (menor volume de vazios).

O principal uso de método do máximo teor de umidade é para baguetas ("increment cores") e cavacos de madeira.

Se as baguetas forem muito longas (10 a 15 cm) e por isso mesmo excederem as dimensões recomendadas para os testes de MTU, elas podem ser fragmentadas em pedaços menores para atendimento dos volumes máximos recomendados pelo ensaio.

Existem baguetas com diâmetros que variam entre 5 a 15 m, o que corresponderiam a volumes entre 1.963 a 17.672 mm^3 para baguetas com 10 cm de comprimento. No caso de baguetas de maiores diâmetros, que acabam resultando em corpos de prova de volumes acima do especificado, a solução é fracionar as baguetas compridas em peças de comprimento menor. Sempre tendo como meta não ultrapassar os 2.500 mm^3 por fragmento de madeira a ser saturado com água.

Já vimos que as baguetas coletadas de forma não-destrutiva das árvores são amostras populares, mas elas não são amostragens ideais de madeira, por privilegiarem em proporção maior as partes mais centrais do tronco de onde são removidas.

Por outro lado, as amostras de baguetas são muito interessantes, pois ao serem colhidas estão muito úmidas, quase no máximo teor de umidade. Também são peças pequenas, que ocupam pouco espaço. Como são fáceis de colher – o amostrador pode coletar centenas delas e necessitar de muito pouco espaço para guardar as mesmas em suas idas ao campo para amostrar madeiras.

Basta então armazenar e identificar bem as amostras - até mesmo podem ser guardadas em geladeiras (muito mais simples ficam, portanto, as demandas de recursos laboratoriais). A aplicação de algum tipo de fungicida para conservação do material pode também ser feita de maneira simples, pois as peças são pequenas e podem ser facilmente tratadas.

A maior vantagem é que as baguetas podem ser rapidamente saturadas em água e a densidade básica das mesmas pode ser obtida em pouco tempo e com baixos custos laboratoriais. Para elas, o MMTU é definitivamente o ideal.

Com relação aos testes realizados com cavacos de madeira, é também fundamental que eles tenham dimensões adequadas para facilitar a saturação plena com a água. Quando os cavacos são obtidos de pilhas de cavacos e estão muito secos vão demandar um tempo maior de saturação – que pode ser de 5 ou mais dias, mesmo com a aplicação de vácuo.

Não basta apenas que os cavacos afundem em água. Afundar não é sinônimo de saturação completa, pois eles podem perfeitamente afundar e ainda existir ar dentro da peça de madeira. A completa saturação é atingida, quando o peso úmido saturado se mantiver constante, mesmo se deixando os cavacos mais tempo mergulhados em água e com aplicação de vácuo.

A saturação com água não apenas hidrata os cavacos, como também provoca a inchamento da madeira, que busca restaurar seu volume verde (que corresponderia ao volume dessa peça de madeira, quando ela ainda estivesse na árvore viva).

Apesar de ser difícil se obter a plena saturação de madeiras e cascas secas e resgatar o volume verde desses materiais (em função da histerese), podemos chegar próximo disso ao monitorarmos com atenção esse processo de saturação ao longo do tempo.

Quero agora deixar três recomendações muito importantes aos que vão testar cavacos:

- Fatiem cavacos de maiores dimensões, preferencialmente na espessura dos mesmos;

- Não selecionem os cavacos para serem todos de mesmo tamanho. Os analistas têm o costume de escolher cavacos que eles chamam de "cavacos bons", porém a densidade básica da madeira original costuma ajudar a determinar as dimensões dos cavacos. Os cavacos de maiores dimensões são os originados de regiões mais densas da madeira e os cavacos finos e os palitos são preferencialmente formados das regiões de menor densidade básica. Se o analista fica só selecionando cavacos médios, ele destrói a representatividade da amostra – ficou claro isso?

  Cavacos bons são cavacos íntegros, não esfacelados, sem defeitos e sem casca aderida. Podem ser pequenos, médios e grandes, sendo que os grandes podem ser fatiados em cavacos menores com o uso de uma faca afiada.

- Também precisa ficar bem claro sobre que tipo de material o analista deve concentrar suas amostragens e determinações. Se ele estiver analisando um material de cavacos, que serão utilizados para fabricação de MDF, esses cavacos são ricos em fragmentos de casca. Se o analista eliminar as cascas de sua amostra, ele vai encontrar uma densidade básica apenas da madeira presente nos cavacos e não da matéria-prima que a fábrica estaria realmente consumindo.

  Isso precisa ficar bem claro a quem analisa cavacos de madeira – qual o propósito do ensaio e sobre qual amostra devem ser feitos os testes? Qual então seria a densidade básica que estaria sendo objetivada para que ela seja realmente a que vá ser avaliada?

Erros mais comuns cometidos na aplicação do MMTU – Método do Máximo Teor de Umidade

Existe um grupo de erros mais comuns que são cometidos na aplicação do método do máximo teor de umidade. Tomo a liberdade de alertar sobre os mesmos para que o método possa, pelo menos, ser utilizado nas condições em que deve - e quando o for, que forneça adequados resultados.

Acreditem amigos, muitos desses erros são bastante comuns, pois mesmo em laboratórios trabalhando com sistemas de garantia de qualidade, na grande maioria deles, as instruções não são adequadas e os métodos não são compreendidos em todos os fundamentos para sua perfeita aplicação.

Os erros e enganos mais comuns são os seguintes:

- Amostragens insuficientes e pouco representativas, tanto em quantidade de madeira, como em número de amostras para representar toda a população que se deseja avaliar.

- Poucas repetições nas determinações – em geral se faz uma ou no máximo duas determinações de uma amostra composta e se obtém uma média aritmética. Na maioria das vezes, o analista está apenas obtendo um número e nada mais - número esse sem nenhuma capacidade de representar o todo que se deseja avaliar.

- Tamanho exagerado dos corpos de prova, acima das dimensões recomendadas pelos principais autores que estudaram esse método (150 a 2.500 mm^3). Pasmem, mas já vi esse método MMTU ser usado sem nenhum constrangimento com discos de madeira, que antes haviam sido secados ao ar para perder peso e serem armazenados. Testar em discos já se constitui um grande erro; testar em discos secos, pior ainda.

- Tamanho demasiadamente pequeno dos corpos de prova, como palitos estreitos ou fitas muito finas. Essas dimensões podem até mesmo serem ideais para saturação, mas nesse caso poderemos cometer outro erro sério, que consiste na incapacidade de remoção do excesso de água livre e de ar da enorme superfície

que teremos para o conjunto de peças de madeira que irá compor o total da amostra. Por isso, recomendo se trabalhar com dimensões intermediárias, nem tão pequenas como 150 mm³ e nem acima de 2.500 mm³. É mais fácil e recomendável se fatiar e fracionar os materiais maiores em pedaços menores do que trabalhar com peças muito pequenas.

- Incompleta saturação dos corpos de prova, obtendo-se assim um peso úmido saturado menor do que deveria ser na realidade. Esse erro é frequente em corpos de prova sobre-dimensionados ou em processos muito rápidos e inadequados de saturação (com pouco ou nenhum vácuo, por exemplo).

- Remoção inadequada do excesso de água livre das peças de madeira após a saturação, resultando em obtenção de peso úmido saturado maior do que o real. Como já vimos, acabaremos sub-avaliando a densidade básica em função disso.

  O excesso de água é algo crítico e que exige muita atenção do analista. Ele precisa de muita experiência para saber qual o momento exato de interromper a saturação e depois, de mais experiência ainda, para remover a água livre superficial dos corpos de prova. Em geral, esse excesso de água gera um brilho maior nos corpos de prova – a iluminação do ambiente ajuda a melhor identificar isso. Também a acuidade visual do analista é muito importante.

  Outro problema seria exagerar na retirada de água livre da superfície das peças, eliminando não apenas a água livre superficial, mas retirando também água de dentro dos corpos de prova. Ai, o erro acontecerá em sentido oposto. Isso costuma acontecer, quando se utilizam centrífugas potentes demais para remoção da água superficial. Alguns autores recomendam como viáveis centrífugas com 500 a 1.500 rpm por 1 a 3 minutos, mas é algo que precisa ser testado caso-a-caso.

- Adoção de um valor fixo de 1,53 g/cm³ para a densidade da substância madeira. Esse valor pode mudar quando se mudar o tipo de madeira para um outro tipo muito diverso (por exemplo: madeira muito mais rica em cerne, ou material rico em casca que tem outra densidade de substância parede celular, etc.). É perfeitamente possível se realizar a determinação da densidade da

substância madeira ou "substância casca" por métodos picnométricos, usando a acetona como líquido de impregnação.

Sobre as formas de se determinar a densidade da "substância madeira", encontrem uma boa leitura sobre isso nas páginas 8 e 9 da dissertação de mestrado do engenheiro florestal Rafael Ribeiro Padula, conforme a seguir:

Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira. R.R. Padula. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 76 pp. (2013)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Cavacos plenamente saturados, secos ao ar e absolutamente secos

Em 1997, nosso estimado amigo e ex-colega de curso na ESALQ/USP, o engenheiro agrônomo José Carlos Duarte Pereira, tentou criar uma derivação matemática a partir de duas fórmulas para cálculo da densidade básica da madeira. Ele decidiu combinar os conceitos de balança hidrostática e do MMTU e hibridar isso, na tentativa de poder realizar o ensaio de densidade básica sem necessidade de obter o peso absolutamente seco da amostra de madeira.

A proposição matemática, buscou se fundamentar nos conceitos teóricos dos dois métodos. Procurarei descrever com minhas próprias palavras e escritas o que o José Carlos tentou desenvolver:

- Nas condições do máximo teor de umidade, um bloco saturado de madeira só apresentará água e substância madeira em sua constituição, logo:

$$P_{saturado.MTU} = P_{água} + P_{a.s.}$$

Ou então:

$$P_{saturado.MTU} = V_{água} + P_{a.s.}$$

- Por outro lado, quando esse mesmo bloco for colocado na balança hidrostática com o xilômetro em baixo da balança, pelo princípio de Arquimedes se terá o seguinte sistema de forças em equilíbrio.

$$Empuxo = P_{saturado.MTU} - P_{imerso}$$

Ou:

$$P_{imerso} = P_{saturado.MTU} – Empuxo$$

$$P_{imerso} = P_{saturado.MTU} – (V_{água} + V_{substância.madeira})$$

$$P_{imerso} = (P_{água} + P_{a.s.}) - (V_{água} + V_{substância.madeira})$$

$$P_{imerso} = (V_{água} + P_{a.s.}) - (V_{água} + V_{substância.madeira})$$

$$P_{imerso} = P_{a.s.} - V_{substância.madeira}$$

- Entretanto,

$$V_{substância.madeira} = (P_{a.s.}) : 1,53$$

$$P_{imerso} = P_{a.s.} - (P_{a.s.}) : 1,53$$

Do que se deriva:

$$P_{a.s.} = 2,887 \cdot P_{imerso}$$

- A partir desses dados, pode-se criar uma equação para se determinar densidade básica da madeira sem ter a necessidade de se medir o peso absolutamente seco da mesma, porém se faz necessário o uso da balança hidrostática e as condições do corpo de prova deve ser de máximo teor de umidade (completa saturação).

  Quaiquer erros que se cometerem ou no peso imerso ou no peso saturado ao máximo teor de umidade se estará afetando os resultados. O nível de impacto no erro do P_{imerso} é alto, por causa do multiplicador 2,887.

- Ficar-se-ia com a seguinte equação de cálculo de densidade básica:

$$Db = (2{,}887.\ P_{imerso}) : (P_{úmido.saturado} - P_{imerso})$$

Nosso amigo José Carlos testou esse método alternativo com algumas madeiras e concluiu que ele seria mais viável para as madeiras mais porosas e permeáveis, mais fáceis de serem umedecidas até o máximo teor de umidade. As madeiras de cerne, ricas em tiloses e mais difíceis de serem penetradas pela água não resultaram em adequados valores utilizando esse processo simplificado. Tampouco as madeiras muito densas, pelo mesmo motivo.

O que o José Carlos não notou é que essa formuleta simples que ele derivou permite saber se uma amostra de madeira está ou não próxima de seu máximo teor de umidade. Isso é muito importante, pois temos quase sempre dificuldades em saber se esse estágio de saturação foi ou não atingido na aplicação uso do MMTU.

Quando o corpo de prova estiver em seu máximo teor de umidade, teremos então como válida a seguinte situação:

$$P_{a.s.} = P_{substância.madeira} = 2{,}887\ P_{imerso}$$

Podemos então checar no cálculo da densidade básica pelo método do MTU se essa relação foi ou não atendida. Basta se realizar a determinação de peso imerso do bloco de madeira antes de se secá-lo para obter o peso absolutamente seco.

Após se obterem ambos os dados $P_{a.s.}$ e P_{imerso}, é possível se verificar se o valor da relação $(P_{a.s.})/(P_{imerso})$ se aproxima ou não de 2,887. Quanto mais próximo for esse valor obtido, maior a garantia de que a madeira se encontra na máxima saturação.

MÉTODOS RÁPIDOS PARA RESULTADOS DE CURTO PRAZO

Existe muito interesse por parte dos que avaliam densidade básica da madeira em se terem métodos rápidos para obtenção de resultados confiáveis em curtos espaços de tempo. Para inúmeras utilizações da madeira, os processos demandam por resultados quase que imediatos para se possibilitarem ajustes e controles mais efetivos.

Quando as cargas de madeira chegam às fábricas e quando as pilhas de cavacos estão prontas para alimentação dos reatores e digestores, os técnicos operacionais ficariam sem dúvidas muito agradecidos se pudessem dispor de dados imediatos de densidade básica e de outros parâmetros de qualidade dessas madeiras.

Também os melhoristas florestais e os técnicos que pretendem estabelecer os planos de colheita florestal apreciariam muito terem dados de qualidade da madeira em curtos espaços de tempo.

Não são apenas esses os interesses das empresas e dos institutos de pesquisa, que não se limitam apenas com relação à aceleração dos testes. Há também a problemática dos ensaios tomarem muitos recursos laboratoriais em função de necessidade de pessoal, áreas para armazenamento, estufas, xilômetros, etc., etc. Quase

sempre existe uma acumulação de testes a serem realizados e os clientes se manifestam com constantes reclamos e desejos de mais testes em menos tempo.

Os testes tradicionais baseados em saturação das amostras de madeira e em ensaios de imersão em água são demorados, mesmo se valendo de equipamentos para aceleração da saturação, balanças analíticas modernas, estufas com circulação de ar, etc.

Em resumo: enquanto quase todos gostariam de ter resultados em minutos ou no máximo em horas, os ensaios clássicos demoram dias.

Existem atualmente dois procedimentos analíticos de relativo sucesso e há tendências de que eles cresçam ainda mais em utilização em virtude de permitirem resultados a curto prazo.

São eles:

- Teste com o Pilodyn

- Teste com espectrômetro de infra-vermelho próximo, mais conhecido como NIR ou NIRS ("Near Infra Red Spectrometer")

Apesar de algumas limitações em ambos os casos, esses dois testes têm crescido em utilização pelos interessados em medições mais rápidas e mais baratas de densidade básica.

As dúvidas se os resultados de um ou do outro teste são bons ou se servem para tomadas de decisões importantes são frequentes. Em geral, existe um consenso de que os resultados não são exatamente equivalentes aos obtidos com os testes tradicionais, mas quem os usa costumam assumir o risco – em muitos casos preferem o risco da simplificação do que não terem resultados em tempo hábil e na frequência maior que gostariam.

Acaba então prevalecendo o provérbio "a pressa é o inimigo da perfeição", pois os técnicos preferem ter algo para apoiar suas decisões preliminares do que não ter nada.

A título de avaliações preliminares e de baixo impacto econômico isso até que é factível. O risco maior é apoiar decisões estratégicas importantes com base em testes rápidos, que sejam mais

recomendados para avaliações preliminares ou de ranqueamento (“ranking).

Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2007
http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4076/Tese_Erica-de-Alvarenga-Crespo-Rodrigues.pdf?sequence=1

Os principais usos desses dois testes são:

- O Pilodyn tem sido usado para fazer uma espécie de peneiramento ou seleção de materiais clonais de eucalipto em fase inicial do melhoramento florestal.

- O NIR tem sido muito usado para pré-avaliar a qualidade da madeira nos inventários de pré-corte. Isso para permitir um mais adequado planejamento do abastecimento da madeira e da composição do “mix” de clones e de madeiras, que suprirão de matérias-primas muitas unidades industriais no setor de celulose e papel, chapas e painéis de fibras e bioenergia (carvão vegetal e lenha energética).

Os métodos conhecidos como Pilodyn e NIR acabaram assim preenchendo as necessidades de respostas rápidas e baixos custos, seja para a área florestal (Pilodyn) como industrial (NIR).

O Pilodyn ainda oferece a vantagem adicional de não necessitar do abate da árvore, portanto é um método tipicamente não-destrutivo.

Até porque ele só tem valor se for aplicado para madeiras saturadas, justamente aquelas das árvores vivas.

Já o método NIR pode ser aplicado tanto para madeiras de árvores vivas (baguetas) como para materiais obtidos de árvores abatidas como toras, cavacos, serragem, etc.

De qualquer maneira, pode-se aceitar, com cautelas e ressalvas, as medições de ambos para serem utilizadas em alguns tipos de programas de controle ou monitoramento da densidade da madeira. Evidentemente, existem certas condições que os gestores devem entender que devem preencher: aceitação de um erro maior nas determinações (o que é característico dos métodos) e estarem dispostos a aumentar o número de amostras e de repetições dos testes, para que os resultados não fiquem limitados a poucas determinações de muito pouco material. Tanto o Pilodyn como o NIR necessitam muito pouco material para os ensaios e com isso não podem demonstrar um valor médio adequado se não forem feitas muitas medições mais e coletadas muitas amostras.

Ω Metodologia do Pilodyn

Existem centenas de publicações disponibilizadas na literatura mundial sobre a utilização do Pilodyn para ensaios de densidade da madeira. Muitas dessas publicações apresentam resultados bastante contraditórios: algumas enaltecem a vantagem da praticidade e da qualidade dos resultados; outras indicam pouco nível de aderência entre os resultados do Pilodyn e os de métodos clássicos como balança hidrostática ou máximo teor de umidade.

O método Pilodyn é bastante simples, pois o equipamento é fácil de ser transportado para o campo, apresentando também manuseio e aplicação de muita simplicidade.

O princípio em que se baseia a metodologia é igualmente simples, embora nem sempre funcione bem: relaciona a densidade básica da madeira com a sua resistência à penetração de uma haste ou vareta metálica, que é impulsionada em direção da madeira de forma padronizada. Quanto maior for a profundidade de penetração da haste, menos dura é a madeira e, por isso, menor seria a sua densidade básica (no caso do teste ser executado sobre árvores vivas).

A haste não tem uma dimensão muito grande em comprimento e também não é impulsionada com muita força pelo sistema de molas que faz esse serviço. Essa haste penetra infelizmente só na região do alburno e final do cerne no tronco – as profundidades de penetração variam entre 5 a 30 mm. Portanto, toda a variação da densidade das madeiras deve ficar contida nessa faixa de variação – sendo que outro problema é que a região de amostragem deve ser ao alcance do analista (em geral, ao nível do DAP).

A densidade básica da árvore toda acaba tendo que ser obtida por equações que correlacionem a profundidade da penetração da haste no alburno do tronco a uma altura fixa da árvore (nível do DAP). Por essa razão, muitos dos estudos são contraditórios e não mostram correlações boas, pois a representatividade da amostragem é relativamente pobre.

Trata-se de um método relativamente limitado, que não consegue expressar a densidade básica média de uma árvore e nem pode ser adotado para a tomada de decisões de grande impacto.

Esse tipo de ensaio também não deve, de forma alguma, ser adotado para madeiras, que foram abatidas e começaram a secar – isso porque conforme a madeira seca, ela mudará a sua resistência à penetração da haste. Logo, existirá mais um fator gerador de variações, que seria o teor de umidade variável da madeira. Dessa forma, recomendo que o Pilodyn seja usado apenas e tão somente com madeiras de troncos de árvores vivas, na floresta.

Frente às dificuldades de se obterem resultados precisos e absolutamente confiáveis, o Pilodyn pode ser adotado (com ressalvas e cuidados) para testes preliminares de ranqueamento: para descartar ou aceitar materiais para a continuidade dos ensaios com métodos de melhor precisão e confiabilidade.

Também recomendamos mais de um teste por árvore, ou melhor, quantos mais testes puderem ser feitos para uma mesma árvore, melhor seria a decisão que seria tomada sobre ela. Quando se usa o Pilodyn, o analista não tem nenhuma informação sobre o interior da madeira naquela região do tronco - se existe algum resquício de nó mais internamente, se existe alguma região de madeira de tensão, ou um forte espiralamento de grã, etc. Por isso, melhor serem feitas diversas medições, já que o ensaio é simples.

Mesmo a nível de uso para ranqueamentos preliminares, o tomador de decisão deve estar consciente que poderá estar cometendo tanto o Erro tipo I, como o Erro tipo II – isso é inquestionável e ele precisa saber disso para poder explicar os possíveis conflitos de resultados, que vier a encontrar nas fases seguintes do trabalho.

O pior erro que se pode cometer seria aceitar um material como adequado e de boa qualidade, quando ele realmente não é (Erro tipo I). Ou então, indicar um clone para um tipo de aplicação industrial, quando ele não é adequado para tal uso.

Por isso – muita atenção – não decidam coisas importantes sem obter confirmações posteriores com ourtos métodos melhores.

Pilodyn em uso
Fonte: Adaptado de Gonçalves, 2009
http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Dissertação-STELLA.pdf

Pilodyn em uso
Fonte: Adaptado de Rodrigues, 2011
http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/2011I/Lucas_Fernandes.pdf

Além de tudo o que discutimos, o Pilodyn apresenta também algumas limitações que precisam ser conhecidas pelos que utilizam esse procedimento de determinação de densidade da madeira, mesmo para classificações e ranqueamento de materiais:

- Ω O método é pouco preciso para distinguir madeiras com densidades próximas, seja para altas ou para baixas densidades. Por exemplo: ele não consegue mostrar com clareza diferenças entre os materiais se as densidades variarem entre 0,44 a 0,47 ou entre 0,52 a 0,56 g/cm³.

- Ω Entretanto, caso os materiais estejam variando em faixas mais amplas: por exemplo, entre 0,45 a 0,60 g/cm³, a qualidade do ranqueamento melhora bastante.

- Ω Os melhores resultados são alcançados quando se trabalha com árvores onde existam diferenças mais amplas entre as densidades dos indivíduos.

A grande vantagem do método é que é muito rápido. O resultado é imediato, basta abrir uma janela na casca, posicionar o aparelho, apertar o gatilho e medir a profundidade da penetração. Talvez a maior dificuldade seja retirar a haste de dentro da madeira, depois que a medição foi obtida, com todo o cuidado para não se danificar a haste.

Após uma avaliação criteriosa de muitos estudos e mesmo do uso desse método em minha vida profissional, tomo a liberdade de colocar algumas sugestões e ponderações àqueles que querem utilizá-lo:

- Não existe uma equação universal para relacionar a profundidade de penetração da haste com a densidade básica da madeira. São muitas as variáveis envolvidas – por essa razão, as equações precisam ser construídas em função do material e das amplitudes de valores que serão cobertas.

- O método deve ser aplicado somente para madeiras úmidas, com teores de umidade próximos aos da máxima saturação, o que se obtém em árvores vivas.

- O analista deve ser bem treinado, qualificado e muito responsável, pois a colocação e posicionamento do aparelho podem interferir nos resultados.

- O teste deve ser executado após a remoção de um painel de casca da árvore. Não se deve testar árvores com casca, pois a casca pode ter espessuras variáveis entre árvores e nas diversas alturas da árvore. Além disso, a densidade básica da casca é menor do que a densidade básica da madeira e isso vai interferir nos resultados para a madeira. A presença da casca também impede de se observar potenciais defeitos na região do tronco onde se vai proceder ao ensaio.

- O teste deve ser realizado em regiões onde não se notem defeitos na madeira (nós, grã espiralada, caroços e deformações, etc.).

- Como o teste é simples e rápido, devem ser realizadas diversas medições para uma mesma árvore. Recomenda-se apenas que os painéis de casca a remover sejam pequenos e não localizados exatamente na mesma altura, para não se fazer um anel de remoção de casca, o que pode matar a árvore.

- O teste não é recomendado para ranquear árvores com densidades muito próximas, pois a precisão do teste não permite isso. Além disso, qualquer mínimo defeito na madeira vai interferir nas decisões do ranqueamento.

- Os resultados obtidos pelo Pilodyn não devem ser entendidos como definitivos – eles são válidos apenas como ensaios preliminares, que necessitam de confirmações da densidade básica da árvore toda a ser obtida pelos métodos tradicionais para a tomada da decisão final.

Ω Metodologia NIR

A metodologia conhecida como NIR acabou ganhando enorme projeção e utilização no setor de base florestal, principalmente nos últimos dez anos. Inicialmente, descobriu-se que sua aplicação era bastante robusta para indicar diferenças em resultados de composição química da madeira, como teor de extrativos, teor de lignina ou de celulose, etc.

Em pouco tempo, frente às conhecidas correlações significativas entre teor de extrativos e de lignina na madeira com alguns indicadores de desempenho industrial da mesma, foram sendo criadas equações de calibração dos resultados do NIR com alguns parâmetros de desempenho industrial dessas madeiras, principalmente para os eucaliptos.

Isso tem sido muito comum no setor de celulose e papel, que tem desenvolvido equações para os testes do NIR com relação a:

- Rendimento depurado na conversão da madeira a celulose;
- Carga de álcali ativo na polpação kraft;
- Consumo específico de madeira por tonelada de celulose;
- Densidade básica da madeira
- Número kappa de celulose;
- Teor de rejeitos na polpação kraft, etc.

De uma hora para outra, os testes de NIR "*passaram a servir para qualquer coisa*" – uma espécie de *NIRmania* coletiva, até histérica.

As razões para esse sucesso do NIR se devem aos seguintes fatores:

- O método é simples, fácil e barato e pode ser realizado centenas de vezes com pequeno esforço laboratorial.

- A quantidade de amostra necessária é pequena, o que pode simplificar ainda mais todo o procedimento amostral e laboratorial.

- O método pode ser aplicado de maneira não destrutiva, usando amostras como baguetas ou mesmo serragem obtida por seccionamento parcial da árvore ou tora com motosserras especializadas para coletar amostras.

- É possível se construir equações de correlação (calibração) robustas entre os espectros obtidos pelo NIR e os teores de lignina e de extrativos da madeira. Com isso, podem ser obtidos outros tipos de calibrações para parâmetros de desempenho industrial da madeira, que se correlacionam com esses teores de constituintes da madeira.

- O procedimento de ensaio do NIR pode ser utilizado com sucesso como ensaio rotineiro de predição de qualidade da madeira para

os processos de polpação kraft ou de alto rendimento. Praticamente todas as fábricas brasileiras de celulose de mercado e de papéis integradas o adotaram para controle, predição e monitoramento de qualidade da madeira. Entretanto, tenho absoluta certeza que poderiam estar fazendo algo melhor em termos de obtenção de resultados de melhores qualidades.

O ensaio do NIR é um simples teste de espectrometria, valendo-se de um espectrômetro simples, barato e de pequenas dimensões. O teste é extremamente rápido (cerca de 90 segundos), não demanda nem produtos químicos e tampouco vidraria especial. A preparação da amostra para o ensaio é mínima: quase sempre se trata de serragem com granulometria fina, embora existam diversos autores demostrando que o teste dá bons resultados mesmo quando realizado diretamente sobre os cavacos ou corpos de prova de madeira.

A serragem para os ensaios pode ser obtida de amostras de árvores, toras, discos, cunhas, baguetas ou cavacos. Quanto maior for a representatividade da amostra melhor. Entretanto, os analistas do NIR não estão tirando as devidas vantagens disso. Preferem simplificar tudo colhendo uma amostra composta e realizar um teste em duplicata (duas repetições apenas) sobre amostras diminutas de serragem – um reducionismo desnecessário e selvagem, que prejudica a qualidade final dos resultados e das decisões a tomar com base nesses valores.

Baguetas são amostras não-destrutivas bem adequadas para os ensaios NIR

Uma maneira simplificada e muito prática tem acontecido nas áreas florestais. Foram desenvolvidos procedimentos para preparação de amostras de serragem a diferentes alturas das árvores. As árvores são abatidas, anelam-se regiões do tronco pela remoção de anéis de casca nas alturas onde devem ser colhidas as amostras e com uma

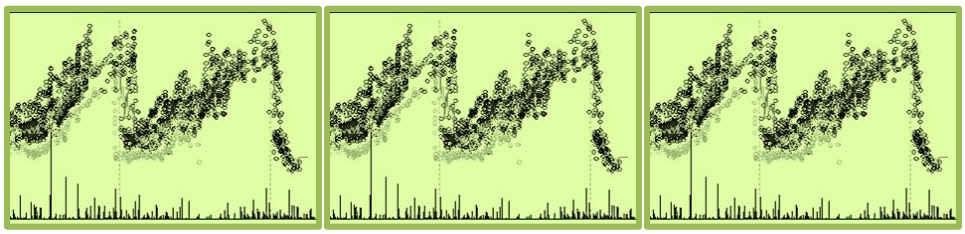
motosserra especial sem óleo se removem as amostras de serragem: simples, fácil, de pequena quantidade de material removido e com boa representatividade. Isso é bom porque pode ajudar a que o setor florestal aumente o tamanho das suas amostragens – ou seja, passe a amostrar mais árvores para melhorar a representatividade da população da floresta.

O método NIR consiste na aplicação de raios infra-vermelhos da região do próximo (800 a 2.500 nm) sobre a amostra de madeira. Conforme a intensidade e a proporção da radiação, que é absorvida ou refletida pela madeira a cada comprimento de onda, constroem-se espectros de absorbância. As mudanças nesses espectros são então correlacionadas com a composição química das madeiras ou de seus indicadores de desempenho. A partir daí se modelam as curvas de calibração e de correlação multivariada.

Na sua mais pura concepção, os resultados dos ensaios são função da composição química dos materiais que estão sendo avaliados. Por isso, as equações de calibração acabam sendo muito boas e significativas para teores de lignina, extrativos, alguns tipos de hemiceluloses e até mesmo de celulose. *Tudo o que se correlacionar bem com esses constituintes químicos acaba podendo ser predito pelos espectros do NIR* – "esse é então o conceito em que se baseia a NIRmania".

Por exemplo: nas coníferas, a constituição química das madeiras se relaciona muito bem com a relação entre os lenhos iniciais e tardios. Também existe uma boa correlação entre a relação entre esses lenhos e a densidade básica da madeira. Isso é muito bem notado em madeiras de *Pinus*. Os adeptos do NIR viram então a possibilidade de associar um método de ensaio, que é tipicamente físico (densidade da madeira) e não químico, com os espectros de NIR. Foram desenvolvidas curvas de calibração para o NIR para predição da densidade básica da madeira de coníferas sem a realização da medição de volumes dessas madeiras.

Não demorou muito para que logo esse tipo de conhecimento e de correlação fosse também apropriado para as madeiras de eucaliptos. Mesmo sem se visualizar as regiões de lenho inicial e lenho tardio nas madeiras de eucalipto, sabe-se que elas existem. Basta de observarem as radiografias da variabilidade da madeira no sentido radial feitas pelos métodos nucleares (raios gama ou raios X).



Apesar das curvas de calibração para densidade básica da madeira do eucalipto não serem as ideais em termos de significância, elas têm sido melhoradas e utilizadas para predição de valores de densidade básica de madeiras pelo setor – em geral, para programações de colheitas florestais e de abastecimento de "mix" de madeiras mais estáveis em relação à densidade básica dos materiais que entram no suprimento das fábricas.

É evidente que essas correlações não podem ser muito fortes, pois não são tão claras e evidentes as relações entre densidade básica e teores dos constituintes químicos da parede celular. Se isso acontecesse, essas correlações poderiam ser muito melhores, já que é a quantidade de substância madeira das paredes celulares por volume de madeira, que acaba resultando na densidade da madeira.

Por essa razão, entendo que se deve manter alguma cautela na utilização do NIR para predições de densidade básica das madeiras. Se isso estiver acontecendo, os analistas devem constantemente monitorar os desvios entre os valores reportados pelo NIR e os valores de densidade básica medidos pelo método da balança hidrostática ou pelo método do máximo teor de umidade. Isso para observar a fidelidade da calibração para diferentes clones, idades, espécies e ecotipos de materiais sendo avaliados. A partir dessas avaliações, as equações de calibração poderão ser melhoradas em qualidade e em nível de significância.

É importante ainda se lembrar que as equações de calibração são válidas apenas para as amplitudes de valores com base na qual foram construídas. Se uma equação de calibração for construída com base em valores de densidade básica entre 0,47 a 0,54 g/cm³, ela não será válida para predizer densidade básica de materiais, que mostrem valores de densidade acima de 0,54 ou abaixo de 0,47. Também não se pode esquecer que quaisquer que sejam as equações de correlação, os pontos extremos da faixa são sempre os que mostrarão os maiores desvios entre os valores preditos e os valores reais.

Os técnicos das fábricas buscam nos resultados do NIR as explicações que precisam para suas ansiedades e para diminuir os pesadelos que acreditam possam ser devidos à qualidade das madeiras sendo consumidas pelos processos. Por essa razão, existem dezenas de dissertações de mestrado e teses de doutorado estudando essa metodologia e as associando a processos de fabricação de celulose de eucalipto.

Diversos desses trabalhos acadêmicos estão relacionadas nesse nosso capítulo e podem ser baixadas da web para leitura. Muitos desses trabalhos acadêmicos foram realizados por engenheiros de fábricas de celulose e papel, que ao realizarem seus estudos de pós-graduação elegeram esse tema para desenvolvimento de pesquisas a nível universitário como parte de suas obrigações para a obtenção do grau de mestre ou doutor em ciências.

Fica claro da leitura desses estudos publicados que os principais objetivos que as empresas de celulose buscam com os espectros de NIR são os seguintes:

- Melhoria no abastecimento de madeira às fábricas através de melhor qualidade nas predições de qualidade da madeira que deve ser consumida nos processos industriais de polpação kraft, polpações de alto rendimento, etc.;

- Melhor controle do "mix" de madeira, que nada mais é do que a combinação em proporções conhecidas, especificadas e controladas de madeiras com qualidades diferentes, principalmente em relação à densidade básica;

- Redução nas variabilidades dos resultados nos processos da linha de fibras (alimentação e nível de cavacos nos digestores, número kappa, rendimento na conversão da madeira a celulose, carga de álcali ativo, consumo de químicos no branqueamento, etc.);

- Otimização do consumo específico do volume de madeira por tonelada de celulose produzida – e por consequência, do principal custo de produção da fábrica de celulose;

- Obtenção de dados frequentes de qualidade de madeira de forma a melhorar o controle automático dos processos e operações.

Madeiras de *Pinus* e de *Eucalyptus* – materiais sendo cada vez mais testados pelas metodologias NIR

Da mesma forma que fiz anteriormente com os demais métodos de avaliação de densidade básica, tomo a liberdade de propor algumas ações simples para tentativa de melhorar a aplicação do NIR pelo setor de base florestal. Alguns desses alertas já foram relatados anteriormente nesse capítulo, por isso, não me estenderei demais sobre isso:

- Como o teste é simples, rápido e barato, realizar maior número de medições, tanto aumentando o número de amostras como aumentando o número de repetições por amostra. Isso pode colaborar para melhorar a representatividade das amostras e a qualidade dos resultados médios obtidos. Certamente, melhorará a qualidade das predições de qualidade da madeira.

- Monitorar a qualidade das curvas de calibração, pois as madeiras estão sempre sendo alteradas em termos de locais de origem, clones, idades, etc.

- Agir com prudência na extrapolação de ensaios realizados com exagero de empirismo e de simplificações. Muitas vezes, o exagero na busca de rapidez de obtenção resultados não conduz a resultados – apenas a números que não servem para nada.

Amigos, entre sonhos e realidades os procedimentos NIR vão ganhando espaço e seguidores no setor de base florestal – eles podem ser úteis não apenas no setor de celulose e papel, mas nos de bioenergia a partir da biomassa florestal, de chapas e painéis de madeira, etc. Em uma seção mais adiante desse capítulo, procurarei complementar esse tema, pois o NIR não é um método apenas para

avaliação de densidade básica, mas sim um procedimento multifuncional muito promissor.

==========

OUTROS MÉTODOS MENOS TRADICIONAIS

Além das metodologias mais populares e amplamente utilizadas para determinações de densidade básica das madeiras, como os métodos de imersão em água, máximo teor de umidade, espectrometria no infra-vermelho próximo e Pilodyn, existe um outro conjunto de métodos que são relativamente conhecidos, embora não tão aplicados na prática.

Alguns desses métodos são procedimentos não-destrutivos que alguns autores tentam desenvolver bravamente com as expectativas que venham a se popularizar. Em muitos casos, o abate das árvores pode condenar a planta à morte, pois há espécies que não emitem

brotações depois que o vegetal se torna adulto e tem o tronco cortado na base.

Felizmente, esse não é o caso da maioria dos eucaliptos, que brotam muito bem, principalmente se o corte do tronco for feito na base, nas proximidades do lignotúber das espécies e clones que o possuem. O lignotúber é uma região basal presente em algumas espécies e clones de eucaliptos e que é muito rica em gemas axilares e em substâncias de reserva. É uma espécie de órgão, que algumas plantas desenvolvem para suportar condições climáticas extremadas, incêndios florestais, herbivoria, etc.

Existem espécies que não conseguem mais brotar depois que o tronco é abatido, sendo o caso dos *Pinus, Cupressus, Araucaria*, etc. Nesse caso, amostragens não-destrutivas são bastante indicadas, quando se quiser preservar o indivíduo do qual se deseja coletar amostras de madeira.

O método de amostragem não-destrutiva mais comum é a remoção de baguetas de madeira ao nível do DAP. Esse pequeno cilindro de madeira coletado da árvore possui entre 4 a 15 mm de diâmetro e comprimento variável em função do diâmetro da árvore a amostrar e do tipo de sonda amostradora.

A bagueta serve de corpo de prova para ensaios de densidade básica através da aplicação de métodos tais como: máximo teor de umidade, balança hidrostática, nucleação com radiação gama ou raios X, espectrômetro de infra-vermelho próximo, etc.

Dentre os métodos não-destrutivos mais comuns para avaliação de densidade básica estão os seguintes:

- Método do Pilodyn (já descrito)
- Método do Espectrômetro NIR (já descrito)
- Método do Resistógrafo ou de resistência da madeira à perfuração
- Método do Torsiômetro
- Método do Esclerômetro ou da resistência da madeira ao impacto
- Método do Extensômetro

- Método do Ultrassom ou da propagação de ondas sonoras
- Método do Densitômetro de Imagem (SilviScan)
- Método do Espectrômetro Raman com Transformação Fourier
- Métodos Nucleares por Atenuação de Radiação Gama ou de Radiografia de Raios X

A maioria desses métodos está descrita em diversos dos artigos e teses que disponibilizamos na seção de Referências da Literatura, ao final desse capítulo. Entretanto, conforme o objetivo desse texto, ofereceremos a seguir uma breve descrição de cada um desses métodos, a fim de despertar o interesse pela leitura dessas referências por aqueles que não conhecem muito sobre esses procedimentos e metodologias.

- **Método do Pilodyn**

É um método que relaciona a densidade básica da madeira com sua dureza ou resistência à penetração de uma haste ou vareta metálica, que é impulsionada por uma mola. O valor, em milímetros da penetração da vareta, permitirá obter o valor da densidade básica, através de equações prévias de correlação.

- **Método do Espectrômetro NIR**

O método permite a construção de equações de calibração que procuram correlacionar os espectros obtidos no espectrômetro de infra-vermelho próximo com a densidade básica da amostra sendo testada.

- **Método do Resistógrafo ou de resistência da madeira à perfuração**

O resistógrafo é um aparelho similar a uma broca que possui um medidor de torque ou de energia associado a ela. O teste procura

correlacionar o esforço para perfurar a madeira com a sua densidade. Da mesma forma que a maioria desses testes, desenvolvem-se equações ou gráficos para relacionar as medições de esforço despendido com a densidade básica.

- **Método do Torsiômetro**

O método mede a força requerida para que uma sonda remova uma bagueta de madeira do tronco de uma árvore. Em geral, trata-se de um equipamento similar a uma sonda para coletar amostras de baguetas e que possui um medir de energia integrado. Os resultados com esse método não são entusiasmantes, porém, como esse equipamento pode ser utilizado para coletar baguetas para testes de densidade básica, podemos ter centenas de dados para a geração de equações de correlação. O que muitos autores se esquecem é que quando temos centenas de pares de dados para gerar equações de correlação, os valores estatísticos de coeficientes de correlação não precisam ser muito altos para serem significativos a níveis como 95% e 99% de probabilidades.

- **Método do Esclerômetro ou da resistência da madeira ao impacto**

Esse também é um método associado à dureza da madeira. Vale-se de um martelo, que através de uma mola, impulsiona uma haste contra a madeira. Essa haste tem uma ponta esférica. Parte da energia do impacto é utilizada na deformação permanente da região atingida e parte é conservada elasticamente, possibilitando o retorno do martelo.

Quanto maior for a dureza da madeira, menor será a parcela de energia que estará sendo usada para deformar permanentemente a mesma.

Trata-se de uma metodologia bastante usada para tábuas, dormentes, postes, vigas, estruturas de madeira, etc. Pode ser utilizado como um método não-destrutivo para medir densidade das peças de madeira, mais uma vez com criação de equações de correlação.

- **Método do Extensômetro**

Esse método procura relacionar a densidade básica da madeira com as tensões longitudinais de crescimento e presentes nas árvores vivas. O aparelho nada mais é do que uma espécie de relógio que é fixado no tronco da árvore na direção da grã por dois pinos, distantes 45 mm. Em seguida, faz-se um orifício de 20 mm na posição mediana entre os dois pinos. Nesse momento, a madeira da árvore tende a liberar tensões, que serão registradas no relógio ou mostrador.

A densidade básica é determinada com base em equações que buscam correlacionar os valores de densidade com os valores das tensões libertadas.

- **Método do Ultrassom ou da propagação de ondas sonoras**

O método se baseia na introdução de uma onda acústica na madeira, através de um martelo eletromecânico. A velocidade de propagação dessa onda pode ser medida e registrada por um acelerômetro ou velocímetro. Ondas se propagam melhor em meios mais uniformes e, portanto, com menor porosidade – isso significa que as velocidades de propagação das ondas acústicas serão maiores em madeiras mais densas. Nos meios porosos de madeiras de baixa densidade ou agredidas por cupins, as velocidades de propagação das ondas são mais lentas.

- **Método do Densitômetro de Imagem (SilviScan)**

O equipamento avalia a percentagem da área de uma seção micrográfica de madeira que é ocupada por paredes celulares em uma imagem de corte transversal de madeira. A partir dessa informação de percentual de paredes celulares e da densidade da substância madeira pode-se calcular a densidade da madeira. Se o seccionamento da madeira for feito em madeira úmida e saturada em água, o valor calculado para densidade corresponderá à densidade básica.

- **Método do Espectrômetro Raman com Transformação Fourier**

Trata-se de mais um método com características *milagrosas* como o NIR, do qual é *parente* direto. Seus admiradores acreditam que o método permite predizer inúmeras características de qualidade das madeiras, tais como: teores de lignina, holocelulose, alfacelulose, extrativos, relação Siringila/Guaiacila, proporção de fibras, espessura da parede celular, densidade básica, etc. Tudo se consegue pela espectroscopia associada a técnicas de estatística multivariada.

Essa metodologia ainda não se popularizou, mas existem muitos pesquisadores trabalhando em seu desenvolvimento.

- **Métodos Nucleares por Atenuação de Radiação Gama ou por Radiografia de Raios X**

Esses métodos são bastante estudados e aplicados para mensurar a variabilidade radial da madeira ao longo do diâmetro de seções retiradas do tronco da árvore, podendo ser baguetas, fitas, fatias ou ripas.

A aplicação de métodos nucleares é antiga, pois há muito tempo se sabe que a madeira absorve radiações e que quanto mais densa a madeira, maior é sua absorção. Ao se submeter uma amostra de madeira à exposição de um certo tipo de radiação, parte dessa radiação é absorvida e parte não. Pode-se fazer uma radiografia da fração que não é absorvida, ou da fração absorvida, a exemplo do que se faz em radiografias de corpos humanos com raios X.

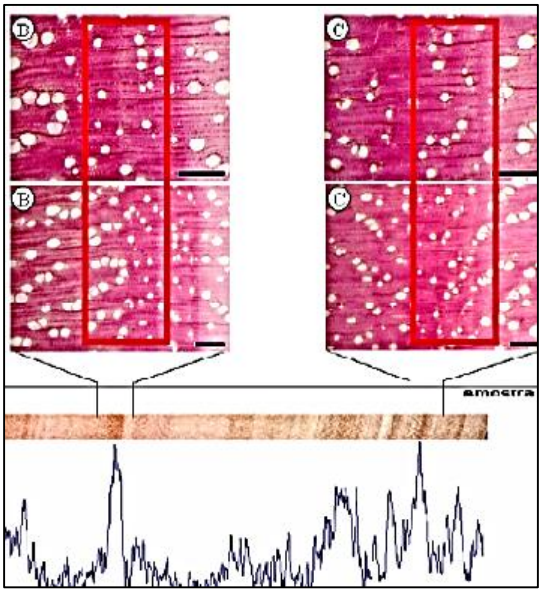
Quando se faz uma radiografia da variabilidade da madeira na seção radial, podem-se notar picos e vales de absorção de radiação. Isso permite se correlacionar esses valores de absorção de radiação aos valores medidos de densidade básica nessas posições. As regiões de picos nas radiografias correspondem às regiões mais densas da madeira e as de vale às de menores valores de densidade básica.

Os métodos radiológicos são também denominados de métodos de atenuação de radiação gama ou de raios X. Quando o feixe da radiação atravessa o meio absorvedor de radiação, que é a madeira, existe uma atenuação desse feixe. Essa atenuação é proporcional à capacidade de absorção de radiação exercida pela madeira. Por isso, as

regiões de maior densidade absorvem mais radiação (picos, pois atenuam mais) e as de baixa densidade correspondem aos vales, pois atenuam menos.

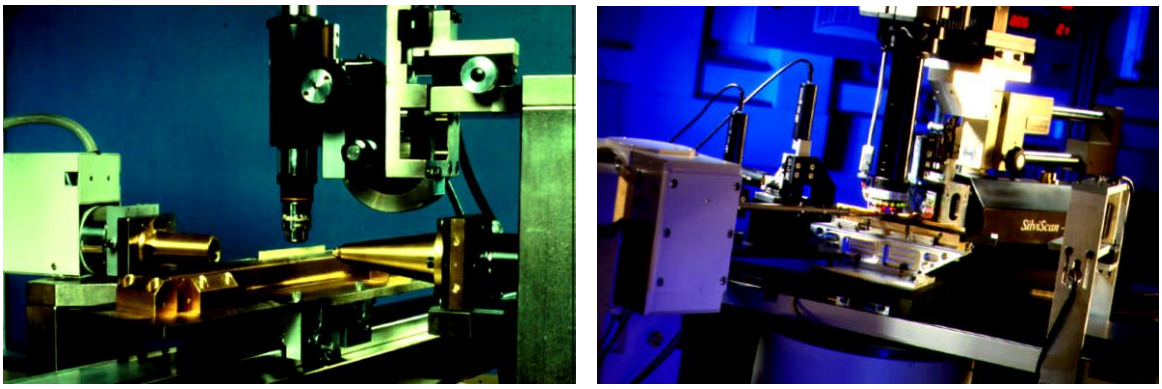
Os métodos nucleares não podem ser aplicados em madeiras muito úmidas. Em geral, trabalha-se com madeiras com teores de umidade entre 8 a 12%. Depois, saturam-se os corpos de prova em água e se determinam as densidades básicas nas regiões dos picos e vales para ajustar as equações de correlações entre valores nucleares e valores de densidade básica.

Uma das vantagens desses métodos é a possibilidade de associar práticas silviculturais e condições climáticas de estresse à qualidade da madeira. Por exemplo: práticas como fertilizações, irrigações, desbastes, desramas, incidência de frio e geadas, incidência de secas, etc. acabam por alterar a densidade da madeira e esses valores vão aparecer nas radiografias. Por isso, esses métodos são muito úteis para explicar o metabolismo das árvores e a formação da madeira a partir do câmbio meristemático.

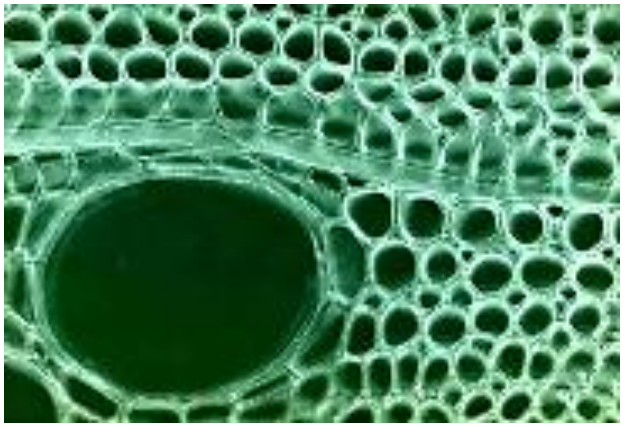


Efeito da fertirrigação na qualidade da madeira do eucalipto
Foto adaptada de Tomazello Filho, 2009
http://cmq.esalq.usp.br/~lcer/BFSC2009/index_arquivos/BFSC2009Tomazello.pdf

EQUIPAMENTOS MULTIFUNCIONAIS PARA AVALIAÇÕES DE QUALIDADE DA MADEIRA



SilviScan 1 e SilviScan 2
Foto: Evans, 2001
http://mwp.org/symposium/symposium-2001/



Os principais e mais utilizados equipamentos multifuncionais para determinação de diversas características da madeira de forma rápida, não destrutiva e simultânea são: o SilviScan™ e o NIR – Espectrômetro de Infra-Vermelho Próximo

O conhecido e consagrado SilviScan™ é um desenvolvimento do Dr. Robert Evans, do CSIRO – Commonwealth Scientific Industrial Research Organization - Forest and Products – Australia, atuando com a colaboração de outros técnicos do CSIRO (Geoff Downes e Jujo Ilic), do New Zealand Forest Research Institute (Paul Kibblewhite) e de outros colaboradores globais (Murray Hughes e Sven-Olof Lundqvist). Todos estiveram fortemente envolvidos em desenvolver um equipamento para

obtenção de resultados rápidos para algumas das propriedades chaves das madeiras e de suas fibras.

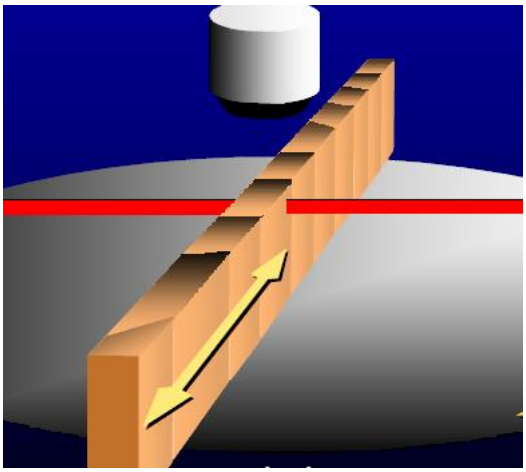
A partir do final dos anos 90’s, intensa ênfase foi colocado pelo CSIRO para que um equipamento versátil, robusto e de fácil operação pudesse ser criado para determinar algumas das mais requeridas características das madeiras e das fibras, fossem elas de eucaliptos, pinus e outras madeiras de uso industrial - principalmente onde se fizessem necessárias muitas avaliações.

O foco das análises foi colocado sobre: dimensões das fibras (comprimento, largura e espessura da parede celular), ângulo fibrilar na parede celular, densidade básica da madeira, densidade da parede celular, relação lenho inicial/lenho tardio, área superficial específica, "coarseness” das fibras, rigidez da madeira, bem como potenciais outros parâmetros de qualidade da madeira, como constituição química.

A partir daí, surgiram os diversos modelos, sempre em escala de aperfeiçoamento e de aumento de produtividade e de escopo de análises. Por essa razão temos os modelos SilviScan1, SilviScan 2 e SilviScan 3 – até o momento.

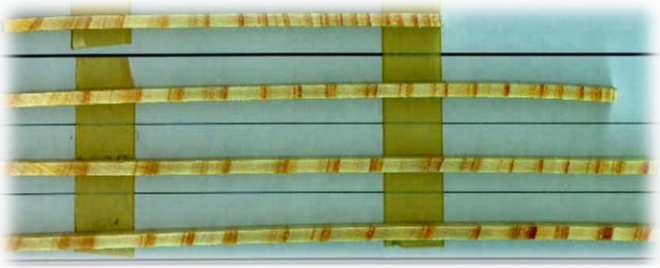
O equipamento atual se baseia em um conjunto de diversos elementos de medição de alta precisão e qualidade analítica que são os seguintes:

- Microscópio ótico ou eletrônico;
- Densitômetro de raios X para medição da densidade da madeira, com base na proporção de paredes celulares presentes no corpo de prova por um determinado volume;
- Difratômetro de raios X para mensuração da estrutura da parede celular, ângulo fibrilar, etc.;
- Analisador de imagens para medir relações e dimensões de fibras;
- Scanner de imagens acoplado a um espectrômetro de varredura para obtenção de dados de composição química da madeira (em processo de desenvolvimento e aperfeiçoamentos).



Amostras de fitas ou ripas de madeira são testadas no SilviScan
Fonte: Evans, 2001

O equipamento pode usar diversos corpos de prova: cortes histológicos de madeira, baguetas ("increment cores"), fitas ou pequenas ripas de madeira com dimensões bem definidas. Em geral, as amostras são espécies de pequenas tiras de madeira retiradas na seção radial dos troncos – da medula até o câmbio (ou até a casca). Essas fatias de madeira possuem 2 mm de espessura (na seção transversal), 7 mm de altura (na seção longitudinal) e até 30 mm de comprimento (no sentido medula/casca).



Amostras de baguetas para SilviScan
Fonte: Evans, 2001

As principais vantagens do SilviScan são: pode ser utilizado para ensaios não-destrutivos (pois pode aceitar baguetas e outras amostras pequenas de madeira), os resultados são rápidos e diversos e apresentam excelente confiabilidade. Mede não apenas as madeiras, mas seus constituintes anatômicos e químicos.

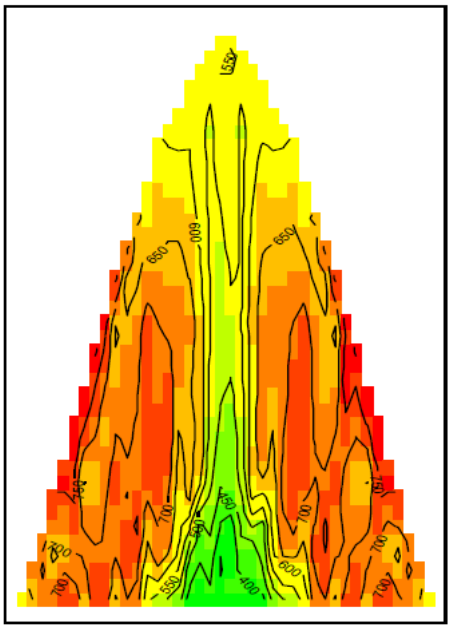
O desenvolvimento do SilviScan foi considerado uma inovação tão importante para o setor florestal, que em 2001, o Dr. Robert Evans

foi agraciado com o Prêmio Marcus Wallenberg, o "Oscar" da pesquisa florestal mundial

Existem diversos equipamentos como esse em instituições de pesquisa como CSIRO, Innventia e FPInnovations, dentre outros em empresas e universidades atuantes no setor de base florestal.

Uma vez que com o SilviScan se consegue monitorar uma série de propriedades importantes das madeiras e das suas fibras, o equipamento permite estudos e uma ampla abrangência de propósitos, tais como:

- Inventários florestais;
- Crescimento das árvores e formação da madeira no tronco;
- Modelagem do crescimento das árvores;
- Rápida classificação e ranqueamento de clones, famílias e ecotipos florestais;
- Efeito da idade das árvores sobre a qualidade da madeira;
- Efeito de tratamentos silviculturais e do manejo florestal sobre a variabilidade da madeira;
- Efeito de pragas e doenças sobre a qualidade da madeira;
- Predição da qualidade da madeira em função de cenários de idade das florestas, tipos de manejo, condições climáticas, etc.;
- Correlações entre a qualidade da madeira e dos produtos que serão produzidos a partir dela (celulose e papel, chapas de madeira, produtos de madeira serrada, etc.);
- Projeção da disposição de tipos de qualidade da madeira ao longo do tronco das árvores.
- Mapeamento de árvores e suas madeiras.



Projeções de qualidade da madeira ao longo do tronco da árvore
Fonte: Drew, 2013
http://www.fwpa.com.au/images/webinars/eCambium_Webinar-David-Drew.pdf

Para maiores níveis de informações, recomendamos as seguintes leituras acerca do equipamento SilviScan:

SilviScan™ rapid wood analysis. CSIROpedia. Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation. Acesso em 18.07.2015:

http://www.csiropedia.csiro.au/pages/viewpage.action?pageId=426334 (em Inglês)

Predicting wood quality to improve sawlog value in radiata pine. D. Drew. Forest Wood Products Australia. Apresentação em PowerPoint: 37 slides. (2013)

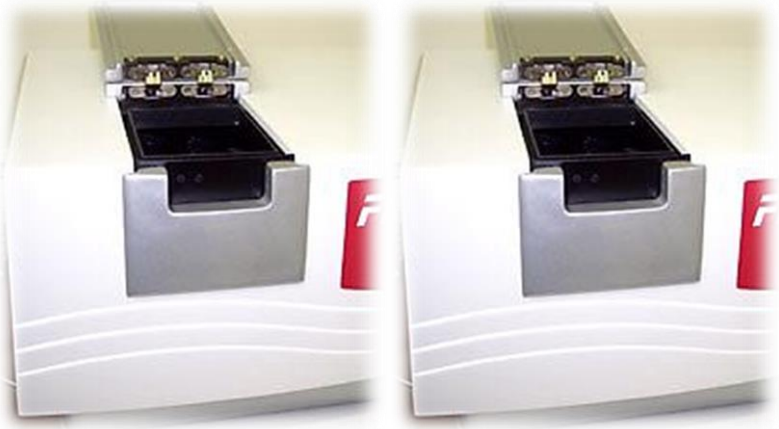
http://www.fwpa.com.au/images/webinars/eCambium_Webinar-David-Drew.pdf (em Inglês)

From forest to products: new solutions for rapid, comprehensive wood and fibre analysis. G.E. Sherson; K. Woo; H.F. Jang; S. Huntley; J. Drummond; V. Lawrence; F.G. Silva Jr. III ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 32 slides. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/431Sherson.ppt.pdf (em Inglês)

A tool for the rapid assessment of wood and wood fibre quality. R. Evans. Marcus Wallenberg Prize Symposium. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2001)

http://mwp.org/symposium/symposium-2001/ (em Inglês)



Equipamento espectrômetro NIR- Fonte da foto: Ortega, 2009

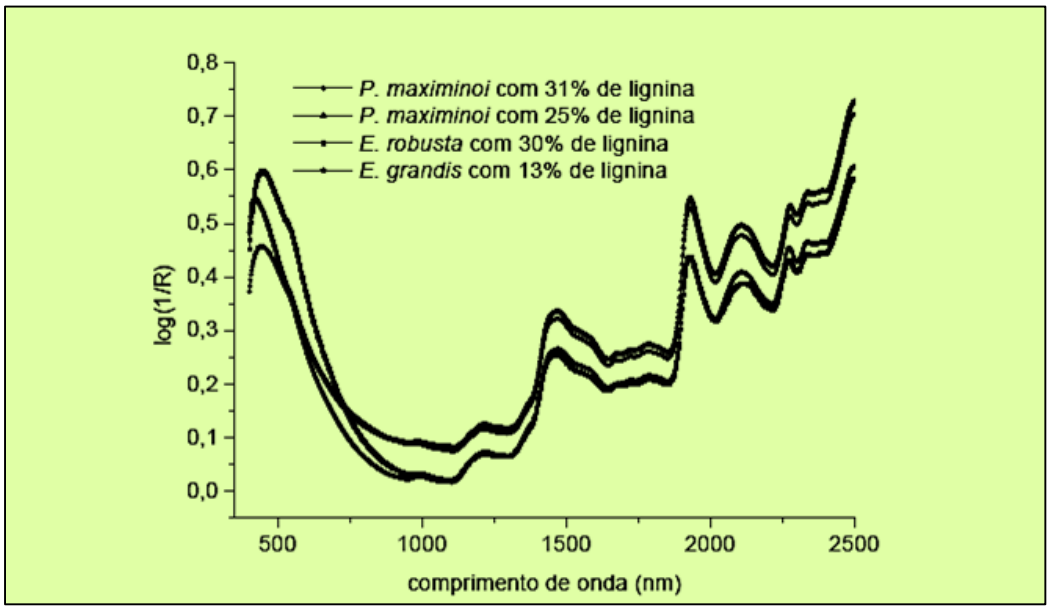
http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/engenharia-florestal/raios-que-medem/

O equipamento conhecido vulgarmente por NIR consiste em um espectrômetro que se baseia na emissão de raios infra-vermelhos na região do próximo (logo acima da faixa de comprimento de ondas do visível), portanto, com comprimentos de onda entre 800 a 2.500 nm.

O teste consiste de forma simplificada em direcionar raios infra-vermelhos sobre uma amostra de madeira e analisar o que se chama de absorbância pela amostra – proporção que o corpo absorve da radiação incidente e direcionada sobre ele. Os corpos de prova podem ser: serragem de madeira finamente dividida, cavacos, baguetas, toras serradas, etc.

O teste pode permitir obtenção de espectros ao longo dos diversos comprimentos de onda da faixa do infra-vermelho. Conseguiu-se descobrir por inúmeras pesquisas com a madeira, que a constituição

química dessa madeira e a disposição dos constituintes no corpo de prova permitem correlacionar os espectros de absorbância com algumas características da madeira e também de seu desempenho industrial. A meta então é sempre a obtenção de centenas de espectros de diferentes amostras e a partir de aí se fazer a calibração de equações que relacionem os espectros obtidos com os dados dos ensaios tradicionalmente realizados com a madeira. A calibração é, portanto, vital e crítica. Costumam-se descartar valores que sejam discrepantes para permitir melhor qualidade das equações.



Espectros NIR para madeiras de *Pinus* com diferentes teores de lignina
Fonte: Magalhães e colaboradores, 2003
http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60221/1/SP4707.pdf

Atualmente o NIR é um dos equipamentos mais utilizados para avaliações de qualidade de madeira no Brasil, principalmente nos setores de celulose e papel e de bioenergia (carvão vegetal e biomassa energética). Trata-se de um ensaio simples, barato, rápido e com razoável capacidade de predição de algumas características da madeira.

As principais determinações que vêm sendo realizadas com o equipamento NIR são as seguintes:

- Teor de lignina total;
- Teor de extrativos totais;

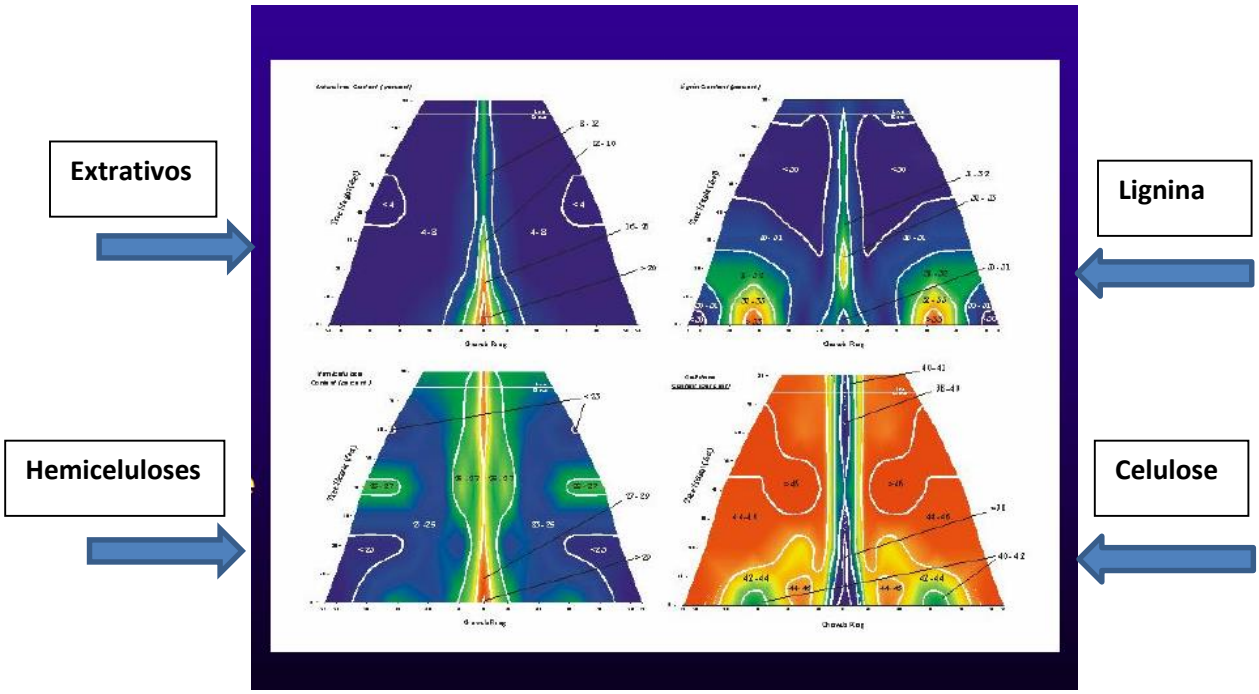
- Densidade básica da madeira;
- Ângulo fibrilar;
- Rendimento da polpação kraft;
- Carga de Álcali Ativo na polpação kraft;
- Consumo específico de madeira;
- Poder calorífico da madeira;
- Densidade energética da madeira; etc.

Para se conseguir sucesso nesse tipo de avaliações rápidas há que se ter:

- Excepcional qualidade de ensaios para a calibração e desenvolvimento das equações de correlação/regressão;
- Preparo da amostra;
- Constante monitoramento da qualidade dos resultados, comparando frequentemente os valores obtidos pelo NIR com resultados dos ensaios tradicionais para as mesmas amostras.

Os resultados obtidos pelo NIR são mais de caráter preditivo e para ensaios de ranqueamento de matérias-primas, de clones, etc. Não se pode e não se deve aceitar que seus resultados sejam tidos como de extrema precisão e confiabilidade.

Como a quantidade de amostra é pequena, um grande problema para os resultados do NIR se deve à qualidade da amostragem. Por isso, tendo em vista que o teste é fácil e rápido, sugere-se que sejam realizadas diversas amostragens e diversas determinações sobre esses materiais amostrados para melhorar a qualidade dos resultados. Com isso, pode-se aumentar o tamanho da amostragem (mais amostras) e os valores de cada amostra (pelo maior número de repetições).



Distribuições espaciais de teores de constituintes químicos em árvores realizadas por NIR
Fonte: Schimleck e colaboradores, 2005
http://www.swst.org/meetings/AM05/schimleck.pdf

Recomendamos as seguintes leituras para melhor entendimento das potencialidades, limitações e oportunidades para as avaliações de madeira através da espectroscopia do NIR:

Workshop on Commercial Application of IR Spectroscopies to Solid Wood. P.J. Harris; C.M. Altaner. School of Biological Sciences. The University of Auckland**.** 70 pp. (2013)

http://www.fore.canterbury.ac.nz/docs/WTRC_IR_Spectro.pdf (em Inglês)

Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeiras de *Eucalyptus* spp. L.C. Sousa; J.L. Gomide; F.R. Milagres; D.P. Almeida. Ciência Florestal 21(3): 591 – 599. (2011)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/3817/2226

NIR spectroscopy to estimate *Eucalyptus* spp wood kraft pulping parameters. H. Fantuzzi Neto; J.L. Gomide; F.R. Milagres; A.S.

Magaton. 5th ICEP - International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_NIR_Spectroscopy.pdf (em Inglês)

Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR. F.R. Milagres. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 142 pp. (2009)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2009-07-09T080031Z-1792/Publico/texto%20completo.pdf

Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição de características da madeira para produção de celulose. L.C. Sousa. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 100 pp. (2008)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3194

Utilização de cavacos para análises por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). R.B. Santos; L.C. Sousa; J.L. Gomide. O Papel (Maio): 84 - 93. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2006_NIR.pdf

NIR spectroscopy for the rapid measurement of wood properties. L. Schimleck; C.-L. So; D. Jones; L. Groom; R. Daniels; A. Clark; G. Peter; T. Shupe. 2005 Annual Meeting. SWST - Society of Wood Science and Technology. Apresentação em PowerPoint: 33 slides. (2005)

http://www.swst.org/meetings/AM05/schimleck.pdf (em Inglês)

Determinação de propriedades de madeira através do infravermelho próximo. W.L.E. Magalhães; J.C.D. Pereira; G.I. Muniz Bonson; U. Klock; J.R.M. Silva. 8º Congresso Florestal Brasileiro. 09 pp. (2003)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60221/1/SP4707.pdf

==========

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar dos inúmeros e incontestáveis avanços tecnológicos e da prática generalizada da utilização da densidade básica da madeira como um dos mais importantes parâmetros de avaliação da qualidade da mesma para utilizações industriais, ainda existem pontos críticos e vitais para serem melhorados.

Dentre esses pontos a melhorar, não tenho dúvidas que os mais importantes são os seguintes:

- Intensidade ou tamanho da amostragem – ou número de amostras a serem retiradas para representar a população de árvores ou de madeira (toras ou cavacos) que se quer estudar;

- Representatividade da amostra coletada (em função da altura na árvore, posição das toras ou cavacos nas respectivas pilhas, etc.);

- Forma de se manusear e armazenar as amostras até o momento do ensaio;

- Metodologia selecionada para o ensaio de densidade básica e sua correta aplicação;

- Número de repetições da determinação de densidade básica por amostra coletada de madeira;

- Cuidados analíticos nas determinações;

- Manuseio dos números obtidos;

- Cálculo de médias aritméticas e não ponderadas para expressar valores médios de densidade básica, onde apropriadas;

- Utilização indevida de valores obtidos para densidade básica, considerando-os válidos para cálculos de relações peso/volume sólido da madeira recebida nas fábricas após ter sofrido contração volumétrica na secagem natural, perda de peso por deterioração, etc.;

- Esquecimento quase generalizado de que os materiais lenhosos industriais contêm casca em sua composição e que a densidade básica da casca é diferente da densidade básica da madeira – logo a densidade apenas da madeira pode não representar a densidade do material que abastece uma fábrica;

- Utilização de resultados de testes rápidos e de baixa precisão para processos de tomada de decisões de nível estratégico;

- Enorme falta de conhecimento e de interesse por muitos técnicos do setor de base florestal sobre os fundamentos conceituais, significado, embasamentos e formas de amostragem e de avaliação da densidade básica da madeira.

Ao longo das diversas seções desse extenso capítulo do Eucalyptus Online Book procurei colocar reflexões e sugestões fundamentadas por extensa literatura, dando ainda uma oportunidade aos interessados para que procurem os maiores e mais consagrados especialistas brasileiros em qualidade da madeira, aos quais relacionamos na seção inicial desse texto.

Espero sinceramente que esse nosso capítulo possa servir de um alerta e também de uma oportunidade para que somemos mais acertos em nossas avaliações tecnológicas de qualidade da madeira, bem como possamos reduzir alguns de nossos erros, mas que afinal sempre existirão, pois como humanos estamos distantes de sermos infalíveis.

Se porventura isso não vier a acontecer, pelo menos espero que aqueles que navegarem no capítulo e em suas literaturas referenciadas, que se interessem em estudar mais sobre esse tema e que isso possa ser motivo adicional de reflexões e autoquestionamentos.

Deixo, por isso mesmo, mais uma reflexão final em relação ao que cada pessoa do setor possa estar desejando fazer em relação aos dados de densidade básica das madeiras, que ele obtem ou utiliza em seu trabalho diário:

→ Estaria querendo agregar mais valor às suas árvores, madeiras, produtos e negócios?

→ Estaria querendo ter predições melhores sobre a madeira e seu desempenho em processos e produtos com ela fabricados?

→ Estaria querendo fazer uma classificação preliminar de materiais genéticos (clones, espécies, etc.) para uma pré-seleção, que seria continuada por avaliações melhor estruturadas?

→ Estaria querendo definir o valor de seu clone superior ("Tree Value") para que ele possa ser incluído como *material-plus* em seu programa de melhoramento genético?

→ Estaria querendo obter dados para um melhor controle operacional das plantas industriais, por exemplo: para controle de "mix" de madeira; para reduções em consumo específico de madeira; para controlar operações de digestores e desfibradores, etc.?

→ Estaria querendo realizar estudos acadêmicos que possibilitem inovações tecnológicas setoriais?

→ Etc., etc.

Enfim amigos, lembrem-se que cada caso é um caso especial, onde poderemos cometer Acertos e Erros, seja nas amostragens e nas determinações dos valores de densidade básica como de densidade aparente, seja nas decisões e nas estratégias a serem elaboradas.

Dados bons ajudam a tomar boas decisões, porém dados ruins, jamais colaborarão para que isso aconteça – pior ainda, embasarão estratégias e decisões errôneas de muito maior impacto do que se pode imaginar.

Por incrível que possa parecer para muitos, a densidade básica tem impacto muito importante em muitas dessas decisões e estratégias que ajudam na competitividade de uma fábrica, de uma empresa e de um setor. Lembram-se do que já vimos no capítulo 41, quando mostramos como se calculavam índices de produtividade florestal expressos por IMACel, IMACarvão e IMAChapas? Ficou clara então essa importância da densidade da madeira para a competitividade industrial? Caso tenha ficado claro a todos, então vamos trabalhar mais e estudar ainda mais, também.

Para mim, foi um privilégio ter podido escrever e lhes oferecer mais um dos capítulos do **Eucalyptus Online Book**. Esse capítulo foi o segundo de uma série de alguns capítulos com elevado grau de aplicabilidade, onde procurarei apresentar conceitos, conquistas e recomendações sobre a qualidade das madeiras dos eucaliptos.

Na verdade, esse é um tema praticamente inesgotável e em contínua evolução no Brasil e no mundo eucalíptico. Tenho certeza que frente às inúmeras universidades, institutos de pesquisa e empresas industriais estudando e praticando esses conceitos e os aplicando em suas atividades, o tema tenderá a evoluir muito rapidamente – e com agregação de qualidade nos conceitos e nas aplicações práticas.

Mais uma vez, agradeço a leitura de vocês, esperando que o que escrevi nesse capítulo tenha sido de alguma utilidade técnica e prática.

Aguardem novidades sobre esse tema: *minha meta é bastante clara* – quero colocar no ***Eucalyptus Online Book*** um conjunto de capítulos que possam se constituir em *um dos maiores bancos de conhecimentos sobre a qualidade da madeira dos eucaliptos* para ser compartilhado com a sociedade.

==========

REFERÊNCIAS DA LITERATURA E SUGESTÕES PARA LEITURA

A literatura mundial e em especial a brasileira são riquíssimas em estudos sobre qualidade da madeira, sendo a grande maioria das publicações brasileiras dedicada a estudos sobre as madeiras dos eucaliptos. Essa tendência de se estudar a madeira se intensificou a partir dos anos 1970's, quando o eucalipto passou a ser a principal matéria-prima para inúmeras utilizações industriais, tais como: celulose e papel, madeira tratada, madeira serrada, painéis e chapas de madeira, carvão vegetal, lenha e bioenergia, etc.

Muitas dessas informações são disponibilizadas por estudos acadêmicos, em trabalhos de conclusão de cursos, teses, dissertações, artigos em revistas científicas e técnicas, etc. Outros estudos são também realizados por técnicos de processo ou de pesquisa das empresas industriais, que se valem da madeira como principal matéria-prima industrial. Enfim, são milhares de estudos, que podem ser facilmente encontrados na web – dessa forma, sugere-se que sejam feitas seleções criteriosas através de pacienciosa navegação.

Para esse capítulo em específico, fizemos uma seleção mais relacionada às metodologias e possíveis equívocos no uso das mesmas para se determinar a densidade básica. Também selecionamos diversas

referências relacionadas às amostragens de árvores e madeiras, coisas que acreditamos que o setor de base florestal, que tanto se vale de técnicas estatísticas em suas avaliações florestais, possa estar incorrendo em alguns tipos de erros em diversas situações, tanto para coleta de amostras de madeira, quanto no número de ensaios, que são executados para obter um dado médio para servir de base para tomadas de decisões.

Apesar de termos certas limitações nesses tipos de trabalhos técnicos e científicos, tivemos o cuidado de resgatar alguns artigos históricos e outros estudos bastante práticos e aplicados sobre a densidade básica da madeira, o que vai permitir que todos os interessados em estudar densidade da madeira possam encontrar elementos valiosos para fundamentações e embasamentos técnicos e científicos, antes de saírem afoitamente colhendo amostras e as analisando sem os cuidados requeridos para máxima confiabilidade dos resultados encontrados.

Espero sinceramente que vocês apreciem essa seleção de mais de 120 referências aqui colocadas para uso público, com links a dezenas de excelentes artigos e publicações. Aguardem próximos capítulos sobre o tema ***"Qualidade da Madeira do Eucalipto",*** pois traremos muito mais para que vocês possam se interessar cada vez mais acerca desse assunto.

É muito importante que vocês naveguem logo e façam os devidos *downloading's* dos materiais de seu interesse das nossas referências. Muitas vezes, as instituições disponibilizam esses valiosos materiais por curto espaço de tempo; outras vezes, alteram o endereço de referência em seu website. De qualquer maneira, toda vez que ao tentarem acessar um link referenciado e ele não funcionar, sugiro que copiem o título do artigo ou evento e o coloquem entre aspas, para procurar o mesmo em um buscador de qualidade como Google, Bing, Yahoo, etc. Às vezes, a entidade que abriga a referência remodela seu website e os endereços de URL são modificados. Outras vezes, o material é retirado do website referenciado, mas pode eventualmente ser localizado em algum outro endereço, desde que buscado de forma correta.

Espero que se divirtam navegando e aprendendo com essa seleção de textos e websites.

SilviScan™ rapid wood analysis. CSIROpedia. Commonwealth Scientific Industrial Research Organisation. Acesso em 20.07.2015:

http://www.csiropedia.csiro.au/pages/viewpage.action?pageId=426334 (em Inglês)

e

http://www.csiropedia.csiro.au/pages/viewpage.action?pageId=426329 (Publicações acerca do SilviScan – em Inglês)

e

https://publications.csiro.au/rpr/search?q=silviscan (Publicações sobre o SilviScan no repositório do CSIRO – em Inglês)

Espectroscopia do Infra Vermelho Próximo – NIRS. Metrohn. Acesso em 19.07.2015:

http://www.metrohm.com.br/Produtos/Laboratorio/nir/index.html

e

http://www.metrohm.com.br/Produtos/Laboratorio/nir/espectrofotometro-XDS.html

SilviScan – efficient instrument for detailed characterization of wood and fibre properties. Trees4Future. Acesso em 19.07.2015:

http://www.trees4future.eu/transnational-accesses/silviscan/silviscan-techinfo.html (em Inglês)

***Eucalyptus* wood evaluation for pulp production: the choice of key indicators and the knowledge of the variables role on the process as a tool for raising the productivity.** L.S. Caux; L.C. Dalvi; J.L. Colodette. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 08 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Wood_evaluation.pdf (em Inglês)

Impact of qualitative management of feeding wood mix in the process and pulp quality. P.N. Pignaton; F. Costa Neto. 7th International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 07 pp. (2015)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2015_Mix_management.pdf (em Inglês)

Perfil de densidade do lenho utilizando métodos radiográficos. P.G. Surdi; G. Bortoletto Júnior; V.R. Castro; N.F. Almeida; R.F. Mendes; G. Chaix; M. Tomazello Filho. Scientia Forestalis 42(102): 229 – 236. (2014)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr102/cap07.pdf

On the importance of raw material assessment and selection for low cost eucalypt kraft pulp production. J.L. Colodette; F.J.B. Gomes. 13th European Workshop on Lignocellulosics and Pulp. 05 pp. (2014)

http://www.researchgate.net/profile/Fernando_Borges_Gomes/publication/263556881_3th_European_Workshop_on_Lignocellulosics_and_Pulp_ON_THE_IMPORTANCE_OF_RAW_MATERIAL_ASSESSMENT_AND_SELECTION_FOR_LOW_COST_EUCALYPT_KRAFT_PULP_PRODUCTION/links/0c96053b3f0f3d3f9a000000.pdf?ev=pub_ext_doc_dl&origin=publication_list&inViewer=true (em Inglês)

Estimación indirecta de la densidad de la madera mediante el uso de Pilodyn en la selección de clones de *Eucalyptus pellita* F. Muell. D.L. Giraldo Charria; V.M. Nieto Rodríguez; M. Sarmiento; N. Borralho. Colombia Forestal 17(2): 181 – 192. (2014)

http://www.scielo.org.co/pdf/cofo/v17n2/v17n2a05.pdf (em Espanhol)

Inferência da densidade da madeira estimada por esclerometria. N.S. Veiga. Dissertação de Mestrado. UNICAMP – Universidade Estadual de Campinas. 82 pp. (2014)

http://www.bibliotecadigital.unicamp.br/document/?code=000930832

Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthammi* e *Eucalyptus pellita*. M. Lazzarotto; W.L.E. Magalhães. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 334. 06 pp. (2014)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/113491/1/CT-0334.pdf

Determinação do teor de umidade e densidade básica para espécies de *Pinus* e eucalipto. D.H. Almeida; J.C. Molina; T.H. Almeida; C. Calil Júnior; A.C.L. Alves. FAIT – Revistas Científicas Eletrônicas – Engenharia Florestal. 4ª Edição. (2014)

http://fait.revista.inf.br/imagens_arquivos/arquivos_destaque/GJqhOS2OjOZ3IRW_2014-4-16-16-31-23.pdf

Uso do Pilodyn como alternativa para estimativa da densidade básica da madeira de *Eucalyptus benthamii* Maiden et Cambage. R.A.P. Damásio; R.A. Estopa; A.C. Oliveira; B.L.C. Pereira; M.B.

Gonçalves Sobrinho. Anais do Congresso Brasileiro de Ciência e Tecnologia da Madeira. 01 pp. (2013)

http://proceedings.galoa.com.br/cbcm-2013/trabalhos/uso_do_pilodyn_como_alternativa_para_estimativa_da_densidade_basica_da_madeira_de_eucalyptus

Workshop on Commercial Application of IR Spectroscopies to Solid Wood. P.J. Harris; C.M. Altaner. School of Biological Sciences. The University of Auckland**.** 70 pp. (2013)

http://www.fore.canterbury.ac.nz/docs/WTRC_IR_Spectro.pdf (em Inglês)

Predicting wood quality to improve sawlog value in radiata pine. D. Drew. Forest Wood Products Australia. Apresentação em PowerPoint: 37 slides. (2013)

http://www.fwpa.com.au/images/webinars/eCambium_Webinar-David-Drew.pdf (em Inglês)

Variação da umidade e densidade básica em *Eucalyptus* sp em Dueré - TO. V.D. Melo; E.E.P. Baraúna; R.S. Vieira; T.C. Monteiro. 9º Seminário de Iniciação Científica. UFT – Universidade Federal do Tocantins. 05 pp. (2013)

http://eventos.uft.edu.br/index.php/sic/IX/paper/download/786/274

Estudo comparativo de métodos para determinação da densidade básica de cavacos e discos de madeira. R.R. Padula. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 76 pp. (2013)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y

Aplicação da radiação gama na determinação de parâmetros físicos em madeiras. G. Carvalho. Tese de Doutorado. USP – Universidade de São Paulo. 73 pp. (2013)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/85/85131/tde-10022014-143000/publico/2013CarvalhoAplicacao.pdf

Modeling of basic density of wood from *Eucalyptus* and *Eucalyptus urophylla* using nondestructive methods. A.M. Couto;

P.F. Trugilho; T.A. Neves; T.P. Protásio; V.A. Sá. Cerne 19(1): 27 – 34. (2013)

http://www.scielo.br/pdf/cerne/v19n1/04.pdf (em Inglês)

Métodos de determinação da densidade básica e aparente da madeira de *Eucalyptus* sp. E.M. Bruder. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 113 pp. (2012)

http://www.pg.fca.unesp.br/Teses/PDFs/Arq0863.pdf

Nondestructive testing and evaluation of wood—50 years of Research International Nondestructive Testing and Evaluation of Wood Symposium Series. R.J. Ross; X. Wang. Report FPL-GTR-213. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. 09 pp. (2012)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fpl_gtr213.pdf (em Inglês)

Qualificação dos ensaios não destrutivos para estimar as características físico-mecânicas da madeira. R.C. Alves. Projeto de Curso de Mestrado. UFMG – Universidade Federal de Minas Gerais. 87 pp. (2012)

http://www.bibliotecadigital.ufmg.br/dspace/bitstream/handle/1843/BUOS-95XGPF/254.pdf?sequence=1

Avaliação da qualidade da madeira de espécies de *Pinus* tropicais por meio de métodos convencionais e não destrutivos. R. Trianoski. Tese de Doutorado. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 554 pp. (2012)

http://www.floresta.ufpr.br/pos-graduacao/defesas/pdf_dr/2012/t315_0415-D.pdf

Efeito da idade e posição de amostragem na densidade e características anatômicas da madeira de *Eucalyptus grandis*. C.R. Sette Jr.; I.R. Oliveira; M. Tomazello Filho; F.M. Yamaji; J.P. Laclau. Revista Árvore 36(6): 1183 – 1190. (2012)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v36n6/19.pdf

Amostragens longitudinais alternativas para a determinação da densidade básica em clones de *Eucalyptus* sp. A.M. Couto; T.P.

Protásio; A.A. Reis; P.F. Trugilho. Flor@am – Floresta e Ambiente 19(2): 184 – 193. (2012)

http://www.floram.org/files/v19n2/v19n2a10.pdf

Amostragem não destrutiva e qualidade da madeira em clones de *Eucalyptus spp*. A.C. Oliveira. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 92 pp. (2011)

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/ADALBERTO-CALDAS-OLIVEIRA.pdf

Eficiência do Pilodyn para a seleção de materiais genéticos de eucalipto para fins energéticos. L.F. Rodrigues. Monografia de Conclusão de Curso. UFRRJ – Universidade Federal Rural do Rio de Janeiro. 30 pp. (2011)

http://www.if.ufrrj.br/inst/monografia/2011I/Lucas_Fernandes.pdf

Determinação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus* por diferentes métodos não destrutivos. A.F.G. Gouvêa; P.F. Trugilho; J.L. Gomide; J.R.M. Silva; C.R. Andrade; I.C.N. Alves. Revista Árvore 35(2): 349 – 358. (2011)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v35n2/a19v35n2.pdf

Aplicação de métodos não destrutivos na avaliação das propriedades físicas do lenho de árvores de *Pinus caribaea var. hondurensis* Barr. et Golfari e *Tectona grandis*. V.R. Castro. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. 106 pp. (2011)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11150/tde-13092011-112235/publico/Vinicius_Resende_de_Castro_versao_revisada.pdf

NIR spectroscopy to estimate *Eucalyptus* spp wood kraft pulping parameters. H. Fantuzzi Neto; J.L. Gomide; F.R. Milagres; A.S. Magaton. 5th ICEP - International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2011_NIR_Spectroscopy.pdf (em Inglês)

Desenvolvimento de modelos de calibração NIRS para minimização das análises de madeiras de *Eucalyptus* spp. L.C.

Sousa; J.L. Gomide; F.R. Milagres; D.P. Almeida. Ciência Florestal 21(3): 591 – 599. (2011)

http://cascavel.ufsm.br/revistas/ojs-2.2.2/index.php/cienciaflorestal/article/download/3817/2226

Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de eucalipto. W.P. Demuner. Monografia de Conclusão de Curso. UFES – Universidade Federal do Espírito Santo. 33 pp. (2011)

http://www.florestaemadeira.ufes.br/sites/www.florestaemadeira.ufes.br/files/TCC_Wendel%20Pianca%20Demuner.pdf

Predição do impacto da madeira em fábrica kraft de eucalipto. W.P. Demuner; O. Mambrim Filho; F. Costa Neto; J.I.M. Abad. 44º Congresso Internacional. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. Apresentação em PowerPoint: 25 slides. (2011)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2011_Predicao_impacto_madeira.pdf

Wood handbook. Wood as an engineering material. FPL – Forest Products Laboratory. General Technical Report FPL-GTR-190. Madison, WI: U.S. Department of Agriculture. Forest Service. 508 pp. (2010)

http://www.fpl.fs.fed.us/products/publications/pubs_specified_topic.php?sort_criteria=year&groupings_id=106&unit_id=&employee_id (Todos os capítulos - em Inglês)

e

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplgtr/fplgtr190/chapter_04.pdf (Wood handbook, Chapter 04: Moisture relations and physical properties of wood, por S.V. Glass; S.L. Zelinka – 20 pp. – em Inglês)

Investigação do tempo de secagem no teor de umidade e nas características físicas e químicas da madeira para produção de celulose. F.P. Leite; F.J.B. Gomes; E. Souza; J.L. Colodette; A.M. Rosado; L.S. Amaral. 43º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2010)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2010_Investigacao_tempo_secagem_madeira.pdf

Measuring wood specific gravity...Correctly. G.B. Williamson; M.C. Wiemann. American Journal of Botany 97(3): 519 - 524. (2010)

http://www.amjbot.org/content/97/3/519.full (em Inglês)

Amostragem para avaliação da densidade básica da madeira de um híbrido de *Eucalyptus grandis* W. Hill ex Maiden e *Eucalyptus urophylla* S.T. Blake. F.A. Pádua. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 99 pp. (2009)

http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4193/Tese_Franciane-Andrade-de-Padua.pdf?sequence=1&isAllowed=y

e

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2937/1/TESE_Amostragem%20para%20avalia%c3%a7%c3%a3o%20da%20densidade%20b%c3%a1sica%20da%20madeira%20de%20um%20h%c3%adbrido%20de%20Eucalyptus%20grandis%20W.Hill%20ex%20Maiden%20x%20Eucalyptus%20urophylla%20S.%20T.%20Blake.pdf

Predição de qualidade da madeira e da polpa celulósica por técnica de espectroscopia de infravermelho próximo (NIRS). R.B. Santos; J.L. Gomide; L.C. Sousa. Revista Árvore 33(4): 759 – 767. (2009)

http://www.scielo.br/pdf/rarv/v33n4/v33n4a19.pdf

e

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_NIR_qualidade_madeira.pdf

Ferramentas para a avaliação das propriedades da madeira em árvores vivas de *Toona ciliata* (Roemer) e aplicações no melhoramento genético. S.V.B. Gonçalves. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 74 pp. (2009)

http://www.prpg.ufla.br/ct-madeira/wp-content/uploads/2012/07/Dissertação-STELLA.pdf

Avaliação da madeira de híbridos de *Eucalyptus globulus* com *E. grandis* e *E. urophylla*, para produção de celulose, utilizando espectroscopia NIR. F.R. Milagres. Dissertação de Mestrado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 142 pp. (2009)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_arquivos/4/TDE-2009-07-09T080031Z-1792/Publico/texto%20completo.pdf

Raios que medem. Análise de madeira com uso de luz infravermelha permite rápida obtenção de dados. R. Ortega. Ciência Hoje. (2009)

http://cienciahoje.uol.com.br/noticias/engenharia-florestal/raios-que-medem/

Propriedades papeleiras das árvores, madeiras e fibras celulósicas dos eucaliptos. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 111 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/PT14_PropPapeleiras.pdf

Papermaking properties of *Eucalyptus* trees, woods, and pulp fibers. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo 14. 110 pp. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaliptos/ENG14.pdf (em Inglês)

Fast grown wood from planted and natural forests – wood anatomy, quality and different utilizations by the industry. M. Tomazello Filho. 2009 Brazilian Summer Course. Forestry Production and Production Capacity of Forest Plantations. Apresentação em PowerPoint: 59 slides. (2009)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2009_Wood_quality_fast_grown_planted_forests.pdf (em Inglês)

e

http://cmq.esalq.usp.br/~lcer/BFSC2009/index_arquivos/BFSC2009Tomazello.pdf (em Inglês)

Characterization of the cellulosic cell wall. D.D. Stokke; L.H. Groom. John Wiley & Sons. 274 pp. (2008)

https://books.google.com.br/books?id=dww50MJ87FoC&dq=silviscan+evans&hl=pt-BR&source=gbs_navlinks_s (em Inglês)

A produção de florestas plantadas de eucalipto sob a ótica da ecoeficácia, ecoeficiência e da produção mais limpa. C. Foelkel. Eucalyptus Online Book. Capítulo nº 11. 113 pp. (2008)

http://www.eucalyptus.com.br/capitulos/PT11_P%2BL_florestal.pdf

Espectroscopia na região do infravermelho próximo para predição de características da madeira para produção de celulose. L.C. Sousa. Tese de Doutorado. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 100 pp. (2008)

http://www.tede.ufv.br/tedesimplificado/tde_busca/arquivo.php?codArquivo=3194

Avaliação não destrutiva da madeira versus a produção de celulose kraft. F.J.B. Gomes; P.F. Trugilho; J.L. Colodette; A.F. Gomes; P.H.D. Morais. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 09 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/03_Gomes_Trugilho_Colodette_Gomes_Morais.pdf

NIR on-line: an innovation in the VCP wood yard. A.F. Caldeira; A.P. Rocha; C.V.C. Santos; C. Almeida; J.E. Patelli; P.S.P. Calvosa; V. Sacon. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. 04 pp. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/240Caldeira.text.pdf

NIR on-line: Inovação no pátio de madeira da VCP. A.F. Caldeira; A.P. Rocha; C.V.C. Santos; C. Almeida; J.E. Patelli; P.S. P. Calvosa; V. Sacon. 3rd ICEP – International Colloquium of *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 22 slides. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/241Caldeira.ppt.pdf

Avaliação das características da madeira e da polpa mediante a aplicação de métodos não destrutivos na árvore viva. A.F. Gomes. Dissertação de Mestrado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 141 pp. (2007)

http://repositorio.ufla.br/bitstream/1/2275/1/DISSERTA%c3%87AO_Avalia%c3%a7%c3%a3o%20das%20caracteristicas%20da%20madeira%20e%20da%20polpa%20de%20Eucalyptus%20mediante%20e%20aplica%c3%a7%c3%a3o%20de%20m%c3%a9todo%20n%c3%a3o%20destrutivo%20na%20%c3%a1rvore%20viva.pdf

e

http://www.sifloresta.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4423/Dissertacao_Adriana%20de%20F%C3%A1tima%20Gomes.pdf?sequence=1&isAllowed=y

From forest to products: new solutions for rapid, comprehensive wood and fibre analysis. G.E. Sherson; K. Woo; H.F. Jang; S. Huntley; J. Drummond; V. Lawrence; F.G. Silva Jr. III ICEP – International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. Apresentação em PowerPoint: 32 slides. (2007)

http://www.eucalyptus.com.br/icep03/431Sherson.ppt.pdf (em Inglês)

From forest to product: new solutions for rapid, comprehensive wood and fibre analyses. G.E. Sherson; K.L. Woo; H.F. Jang; S. Huntley; J. Drummond; V. Lawrence; F.G. Silva Jr. III ICEP - International Colloquium on *Eucalyptus* Pulp. 12 pp. (2007)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/11_Francides_III%20ICEP.pdf (em Inglês)

Amostragem de toras de árvores de *Eucalyptus grandis* selecionadas para finalidades de serraria e energia. P.E.T. Santos; O.J. Lavoranti; L. Salante. PFB - Pesquisa Florestal Brasileira nº 54. 09 pp. (2007)

http://pfb.cnpf.embrapa.br/pfb/index.php/pfb/article/download/130/90

Estimação de parâmetros genéticos, fenotípicos e ambientais para a qualidade da madeira de *Eucalyptus* em árvores vivas. E.A.C. Rodrigues. Tese de Doutorado. UFLA – Universidade Federal de Lavras. 102 pp. (2007)

http://www.bibliotecaflorestal.ufv.br/bitstream/handle/123456789/4076/Tese_Erica-de-Alvarenga-Crespo-Rodrigues.pdf?sequence=1

Wood density and anatomical properties in supressed-growth trees: comparison of two methods. D.W. Vahey; J.Y. Zhu; C.T. Scott. U.S.D.A. Forest Products. Forest Products Laboratory. 10 pp. (2006)

http://pubag.nal.usda.gov/pubag/downloadPDF.xhtml?id=3150&content=PDF (em Inglês)

Utilização de cavacos para análises por espectroscopia de infravermelho próximo (NIR). R.B. Santos; L.C. Sousa; J.L. Gomide. O Papel (Maio): 84 - 93. (2006)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2006_NIR.pdf

Sistema para análise da madeira utilizando método de propagação de ondas sonoras. R.A. Silva. Monografia de Conclusão de Curso. Centro Universitário Positivo. 70 pp. (2006)

http://www.teatropositivo.com.br/painelgpa/uploads/imagens/files/EngComputacao/Projetos%20Finais/2006/SISTEMA%20PARA%20AN%C3%81LISE%20DA%20MADEIRA%20UTILIZANDO%20M%C3%89TODO%20DE%20PROPAGA%C3%87%C3%83O%20DE%20ONDAS%20SONORAS.pdf

Uso da espectroscopia no infravermelho próximo (NIR) para predição não-destrutiva de densidade básica da madeira de *Pinus taeda.* W.L.E. Magalhães; F. Zangiski; C.H. Klein; A.R. Higa. Embrapa Florestas. Comunicado Técnico nº 159. 04 pp. (2006)

http://www.researchgate.net/profile/Marcelo_Lazzarotto/publication/267391648_Uso_da_Espectroscopia_no_Infravermelho_Prximo_%28NIR%29_para_Predio_No-Destrutiva_de_Densidade_Bsica_da_Madeira_de_Eucaliptus_benthammi_e_Eucaliptus_pellita/links/544e4c150cf2bca5ce905bbc.pdf?origin=publication_detail

Propriedades da madeira. J.C. Moreschi. UFPR – Universidade Federal do Paraná. 208 pp. (2005)

http://www.madeira.ufpr.br/disciplinasmoreschi/PROPRIEDADES%20DA%20MADEIRA.pdf

Instruções para coleta de amostras de madeira destinadas a processos de análises químicas laboratoriais. L.E.G. Barrichelo; J.O. Brito; F.G. Silva Júnior. IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (2005)

http://www.ipef.br/tecprodutos/coleta.asp

Caracterização da qualidade da madeira por Espectroscopia no Infravermelho Próximo. A experiência da UFV no Projeto Genolyptus. L.C. Sousa; J.L. Gomide; J.L. Colodette. 38º Congresso e Exposição Internacional de Celulose e Papel. ABTCP - Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 06 pp. (2005)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/2005_NIR_Genolyptus.pdf

NIR spectroscopy for the rapid measurement of wood properties. L. Schimleck; C.-L. So; D. Jones; L. Groom; R. Daniels; A. Clark; G. Peter; T. Shupe. 2005 Annual Meeting. SWST - Society of Wood Science and Technology. Apresentação em PowerPoint: 33 slides. (2005)

http://www.swst.org/meetings/AM05/schimleck.pdf (em Inglês)

Determinação de propriedades de madeira através do infravermelho próximo. W.L.E. Magalhães; J.C.D. Pereira; G.I. Muniz Bonson; U. Klock; J.R.M. Silva. 8º Congresso Florestal Brasileiro. 09 pp. (2003)

http://ainfo.cnptia.embrapa.br/digital/bitstream/item/60221/1/SP4707.pdf

A rapid quantitative method to assess *Eucalyptus* wood properties for kraft pulp production by FT – Raman spectroscopy. T. Ona; T. Sonoda; J. Ohshima; S. Yokota; N. Yoshizawa. Journal of Pulp and Paper Science 29(1): 06 - 10. (2003)

https://www.researchgate.net/profile/Toshihiro_Ona/publication/228859578_A_rapid_quantitative_method_to_assess_Eucalyptus_wood_properties_for_Kraft_pulp_production_by_FT-Raman_spectroscopy/links/00b495260e0ee7414c000000.pdf (em Inglês)

Avaliação técnica do tempo de estocagem da madeira. F.R. Stein. Monografia de Conclusão de Curso. UFV – Universidade Federal de Viçosa. 36 pp. (2003)

http://engmadeira.yolasite.com/resources/Monografia%20-%20Estocagem%20de%20madeira.pdf

ABNT NBR 11941:2003. Madeira – Determinação da densidade básica. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002494

e

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/99772/000758434.pdf?sequence=1&isAllowed=y (Método completo disponível como anexo ao final desse documento referenciado)

ABNT NBR 14984:2003. Madeira - Determinação da densidade aparente de cavacos. ABNT – Associação Brasileira de Normas Técnicas. (2003)

http://www.abntcatalogo.com.br/norma.aspx?ID=002141

Influência do teor de lignina da madeira de *Eucalyptus globulus* na produção e na qualidade da celulose kraft. C.A.B. Rosa. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 150 pp. (2003)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/UFSM_TESE_Claudia.pdf

Otimização do cozimento kraft para produção de celulose a partir de madeiras de *Eucalyptus globulus* com diferentes teores de lignina. G.V. Cardoso. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 147 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/UFSM_TESE_Gabriel.pdf

Comparação entre três critérios de amostragem para a avaliação da densidade básica da madeira de florestas implantadas de eucaliptos. C.A. Benjamin. Dissertação de Mestrado. UNESP – Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho". 148 pp. (2002)

http://base.repositorio.unesp.br/bitstream/handle/11449/90648/benjamin_ca_me_botfca.pdf?sequence=1

Variação da densidade a granel de cavacos de *Eucalyptus saligna* em função de suas dimensões e da umidade. M.C.H. Souza; E.R. Reis; K.P. Serafim; C. Pedrazzi; S.M.B. Frizzo; P. Oliveira; C.E.B. Foelkel. 35º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (2002)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202002c.pdf

Genetics of *Eucalyptus* wood properties. C.A. Raymond. Southern Cross University ePublications. 09 pp. (2002)

http://epubs.scu.edu.au/cgi/viewcontent.cgi?article=1583&context=cpcg_pubs (em Inglês)

A tool for the rapid assessment of wood and wood fibre quality. R. Evans. Marcus Wallenberg Prize Symposium. Apresentação em PowerPoint: 44 slides. (2001)

http://mwp.org/symposium/symposium-2001/ (em Inglês)

NIR infrared spectroscopy as an alternative to evaluate eucalypt wood quality at Aracruz. G.D.S.P. Rezende; L. Schimleck; B.J. Demuner. 7th Brazilian Symposium on the Chemistry of Lignins and Other Wood Components. 05 pp. (2001)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/2001_NIR_Aracruz.pdf (em Inglês)

Nondestructive sampling of *Eucalyptus globulus* and *E. nitens* for wood properties I: Basic density. C.A. Raymond; A. Muneri. Wood Science and Technology 35(1-2): 27 - 39. (2001)

http://epubs.scu.edu.au/cpcg_pubs/584/ (em Inglês)

Adequação de metodologia amostral de madeira de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação do teor de cinzas. G.V. Cardoso; C.A.B. Rosa; A.F. Guarienti; C. Pedrazzi; M.C.H. Souza; S.M.B. Frizzo; C.E.B. Foelkel. 34º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 08 pp. (2001)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202001a.pdf

Variation of microfibril angle, density and fibre orientation in twenty-nine *Eucalyptus nitens* trees. R. Evans; S. Stringer; P. Kibblewhite. Appita Jornal 53(5): 450 – 457. (2000**)**

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/File%2010.pdf (em Inglês)

A densidade aparente como estimador de propriedades de resistência e rigidez da madeira. F.M. Dias. Dissertação de Mestrado. USP – Universidade de São Paulo. (2000)

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-24072009-145333/publico/Dissertacao_capa_sumario_e_resumo.pdf (24 pp.)

e

http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/88/88131/tde-24072009-145333/publico/Dissertacao_total.pdf (146 pp.)

Amostragem de madeiras de *Eucalyptus saligna* e *Eucalyptus globulus* para determinação de lignina Klason e extrativos totais. A. Guarienti; C.A.B. Rosa; C. Pedrazzi; G.V. Cardoso; M.C.H. Souza; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 11 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000a.pdf

Considerações acerca do tamanho da amostra e número de repetições para avaliação de dados dendrométricos em povoamento clonal de *Eucalyptus saligna*. D.M.M. Flores; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo; G.V. Cardoso; C.A.B. Rosa. 33º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 15 pp. (2000)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%202000c.pdf

Métodos não-normatizados para determinação de celulose como parâmetro de seleção de árvores matrizes visando à produção de

polpa kraft-AQ. C.R. Santos; C.A. Sansígolo. I CIADICYP – Congreso Ibero-Americano de Investigación en Celulosa y Papel. 14 pp. (2000)

http://www.riadicyp.org/index.php/ciadicyp-2000/pulpa-y-pulpados/send/54-pulpa-y-pulpados/688-metodos-nao-normatizados-para-determinacao-de-celulose-como-parametro-de-selecao-de-arvores-matrizes-visando-a-producao-de-polpa-kraft-aq

Amostragem de árvores para estudos tecnológicos da madeira para produção de celulose: tamanho da amostra, número mínimo de repetições e variabilidade das propriedades para um clone de *Eucalyptus saligna* Smith. D.M.M. Flores; G.V. Cardoso; C.E.B. Foelkel; S.M.B. Frizzo. 32º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 18 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/abtcp.%20para%20site%201999a.pdf

Variação das características dendrométricas, da qualidade da madeira e da celulose entre árvores de um clone de *Eucalyptus saligna*. D.M.M. Flores. Dissertação de Mestrado. UFSM – Universidade Federal de Santa Maria. 111 pp. (1999)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ufsm/UFSM%20%20Dorot%E9ia%20Flores.pdf

Um método alternativo para a determinação do peso seco de amostras de madeira. J.C.D. Pereira. Boletim de Pesquisa Florestal 35: 39 – 65. (1997)

http://www.alice.cnptia.embrapa.br/alice/bitstream/doc/282176/1/pereira.pdf

Sampling plantation eucalypts for wood and fibre properties. G.M. Downes; I.L. Hudson; C.A. Raymond; G.H. Dean; A.J. Michell; L.R. Schimleck; R. Evans; A. Muneri. CSIRO Publishing. 144 pp. (1997)

https://books.google.com.br/books?id=tezX2UlnUhcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

e

https://books.google.com.br/books?id=tezX2UlnUhcC&printsec=frontcover&hl=pt-BR&source=gbs_atb#v=onepage&q&f=false (em Inglês)

Basic density. Wood chips for pulp production. SCAN Method CM 43-95. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. 04 pp. (1995)

http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_43-95.pdf (em Inglês)

Erros na determinação da densidade básica da madeira. M.A.M. Brasil; R.A.A. Veiga; J.L. Timoni. Revista Cerne 1(1): 55 – 57. (1994)

http://www.dcf.ufla.br/cerne/administracao/publicacoes/m525v1n1o8.pdf

Métodos não destrutivos para determinação da densidade básica da madeira de árvores em pé. FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo. (1993)

http://www.bv.fapesp.br/pt/auxilios/10763/metodos-nao-destrutivos-para-determinacao-da-densidade-basica-da-madeira-de-arvores-em-pe/

Bulk density. Wood chips for pulp production. SCAN Method CM 46-92. Scandinavian Pulp, Paper and Board Testing Committee. 04 pp. (1992)

http://www.pfi.no/Documents/Scan_test_methods/C_CM_M/CM_46-92.pdf (em Inglês)

Comparação de métodos de determinação da densidade básica em madeira. P.F. Trugilho; D.A. Silva; F.J.L. Frasão; J.L.M. Matos. Acta Amazonica 20: 307 – 319. (1990)

https://acta.inpa.gov.br/fasciculos/20-4/PDF/v20n4a22.pdf

Determining the basic density of wood chips. R. Grundelius. TAPPI Journal (Abril): 183 – 189. (1990)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1990_Grundelius.pdf

Retratilidade volumétrica e densidade aparente da madeira em função da umidade. M.A. Rezende; J.F. Escobedo; E.S.B. Ferraz. IPEF 39: 33 – 40. (1988)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr39/cap04.pdf

Amostragem destrutiva e não destrutiva para avaliação da densidade básica da madeira de *Eucalyptus spp*. S.C.S. Rosado; J.T. Lima; A.D. Oliveira. 21º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 07 pp. (1988)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1988_Amostragens_madeira.pdf

New methods of measuring wood and fiber properties in small samples. Forest Biology Subcommittee No. 2 of the Research and Development Division. TAPPI Press. (1987)

http://books.google.com.br/books/about/New_Methods_of_Measuring_Wood_and_Fiber.html?id=DmyTAAAACAAJ&redir_esc=y (em Inglês)

e

http://gigadrive.co/download.html?e=New_Methods_of_Measuring_Wood_and_Fiber_Properties.pdf (em Inglês)

e

http://catalogue.nla.gov.au/Record/133683 (em Inglês)

Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. IV – Altura ideal de amostragem para avaliação da densidade média para árvores de *Eucalyptus grandis*. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; C.E.B. Foelkel; S. Menochelli. 20º Congresso Anual. ABTCP – Associação Brasileira Técnica de Celulose e Papel. 17 pp. (1987)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1987.%20Em%20busca%20qualidade%20ideal%20madeira%20IV.pdf

A busca da qualidade da madeira do eucalipto para celulose através da arvore projetada pelo homem. C.E.B. Foelkel. Simpósio sobre Tendências do Desenvolvimento Florestal Brasileiro. ESALQ – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz". IPEF – Instituto de Pesquisas e Estudos Florestais. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Engenheirando_qualidade_madeira.pdf

Avaliação de seis espécies de eucalipto e apreciação da amostra extraída a altura do peito. E.B. Guth. O Papel (Fevereiro): 33 – 38. (1985)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1985_Amostragem_DAP.pdf

Métodos de determinação de qualidade de madeira. B.R. Vital. Boletim Técnico nº 01. SIF – Sociedade de Investigações Florestais. 23 pp. (1984)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1984_Metodos_determinacao_densidade.pdf

Método do máximo teor de umidade aplicado à determinação de densidade básica da madeira do eucalipto. C.E.B. Foelkel; A.F. Milanez; C.A. Busnardo. 4º Congresso Florestal Brasileiro. Silvicultura 28: 792 – 796. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/outros/1983_Metodo_Maximo_Teor_Umidade.pdf

Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. II – Inter-relações entre propriedades das árvores e de suas madeiras. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; C.E.B. Foelkel; J.B.V. Vesz. II Congresso Latino Americano de Celulose e Papel. 23 pp. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1983.%20Em%20busca%20qualidade%20ideal%20madeira%20II.pdf

Em busca da qualidade ideal da madeira de eucalipto para produção de celulose. III – A importância da altura de amostragem para avaliação da densidade básica média da árvore. C.A. Busnardo; J.V. Gonzaga; C.E.B. Foelkel; C. Dias; S. Menochelli. II Congresso Latino Americano de Celulose e Papel. 23 pp. (1983)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/ABTCP/1983.%20Em%20busca%20qualidade%20ideal%20madeira%20III.pdf

Avaliação da densidade da madeira de árvores em pé. S.C.S. Rosado; A. Brune; L.M. Oliveira. Revista Árvore 7(2): 147 - 153. (1983)

https://books.google.com.br/books?id=IkWaAAAAIAAJ&pg=PA148&dq=avalia%C3%A7%C3%A3o+da+densidade+b%C3%A1sica+da+madeira+de+%C3%A1rvores+em+p%C3%A9&hl=pt-BR&sa=X&ei=by1GVbb5G_PlsASu6oDYCQ&ved=0CB0Q6AEwAA#v=onepage&q=avalia%C3%A7%C3%A3o%20da%20densidade%20b%C3%A1sica%20da%20madeira%20de%20%C3%A1rvores%20em%20p%C3%A9&f=false

Contração volumétrica da madeira roliça de *Eucalyptus saligna* Smith em estoque. P.S. Fernandes; J.C. Saraiva Filho; M.C. Ferreira. Silvicultura 28: 774 – 775. (1983)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/Contracao_volumetrica_E_saligna.pdf

A note on the estimation of basic density of fresh wood chips. D.J. Cown. New Zealand Journal of Forestry Science 10(3):502 – 503. (1980)

http://www.researchgate.net/profile/David_Cown/publication/257409802_A_note_on_the_estimation_of_basic_density_of_fresh_wood_chips/links/0c96052537e331c09d000000.pdf (em Inglês)

Comparison of the Pilodyn and torsiometer methods for the rapid assessment of wood density in living trees. D.J. Cown. New Zealand Journal of Forestry Science 8(3): 384 – 391. (1978)

http://www.researchgate.net/profile/David_Cown/publication/257408721_COMPARISON_OF_THE_PILODYN_AND_TORSIOMETER_METHODS_FOR_THE_RAPID_ASSESSMENT_OF_WOOD_DENSITY_IN_LIVING_TREES/links/0c96052532aecdb08b000000.pdf (em Inglês)

O uso de métodos nucleares no estudo da qualidade da madeira. E.S.B. Ferraz; M. Tomazello Filho. III Congresso Florestal Brasileiro. Volume II. SBS - Sociedade Brasileira de Silvicultura. 11 pp. (1978)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/1978_Metodos_nucleares.pdf

Comparison of various methods of volume determination on small wood samples. D. E. Steinmann; H. F. Vermaas. Holzforschung 32(5). (1978)

http://www.degruyter.com/view/j/hfsg.1978.32.issue-5/hfsg.1978.32.5.178/hfsg.1978.32.5.178.xml (em Inglês)

Métodos de avaliação da densidade básica da madeira de populações de pinheiros tropicais. A.C. Amaral; M. Ferreira; H.T.Z. Couto. IPEF 15: 47 – 67. (1977)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr15/cap03.pdf

Determinação da densidade de madeiras por atenuação de radiação gama de baixa energia. E.S.B. Ferraz. IPEF 12: 61 – 68. (1976)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr12/cap02.pdf

Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. C.E.B. Foelkel; M.A.M. Brasil; L.E.G. Barrichelo. O Papel (Agosto): 57 - 61. (1972)

http://www.eucalyptus.com.br/artigos/outros/1972_Metodos_OPapel.pdf

Métodos de determinação da densidade básica de cavacos para coníferas e folhosas. C.E.B. Foelkel; M.A.M. Brasil; L.E.G. Barrichelo. IPEF (2/3): 65 – 74. (1971)

http://www.ipef.br/publicacoes/scientia/nr02-03/cap04.pdf

Existing methods of value for small sample measurement of wood and fiber properties. TAPPI - Technical Association of the Pulp and Paper Industry. Forest Biology Subcommittee No. 2. (1963)

http://books.google.com.br/books/about/Existing_Methods_of_Value_for_Small_Samp.html?id=x-3MtgAACAAJ&redir_esc=y (em Inglês)

O eucalipto. E.N. Andrade. 2ª Edição (revisão por Armando Navarro Sampaio e equipe técnica da Cia. Paulista de Estradas de Ferro). Cia. Paulista de Estradas de Ferro. (1961)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos_outros12.html

A concept of intrinsic wood quality, and nondestructive methods for determining quality in standing timber. H.L. Mitchell. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report 2233. 25 pp. (1961)

http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/2718/FPL_2233_ocr.pdf?sequence=1 (em Inglês)

e

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplr/fplr2233.pdf (em Inglês)

Methods of determining specific gravity of wood chips. D.M. Smith. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report 2209. 09pp. (1961)

http://www.fpl.fs.fed.us/documnts/fplr/fplr2209.pdf (em Inglês)

A comparison of two methods for determining the specific gravity of small samples of second - growth Douglas-fir. D.M. Smith. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report nº 2033. 22 pp. (1955)

https://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/2491/FPL_2033ocr.pdf?sequence=1 (em Inglês)

Maximum moisture content method for determining specific gravity of small wood samples. D.M. Smith. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. 10 pp. (1954)

http://ir.library.oregonstate.edu/xmlui/bitstream/handle/1957/2445/FPL_2014ocr.pdf?sequence=1 (em Inglês)

The flotation method of determining the specific gravity of wood. B.H. Paul. U.S.D.A. Forest Products Laboratory. Report nº 1398. 08 pp. (1946)

http://ufdc.ufl.edu/AA00020574/00001/1j (em Inglês)

Integração Floresta/Madeira/Produtos/Clientes: Uma realidade ou uma ficção? C. Foelkel. Website Grau Celsius. Apresentação em PowerPoint: 77 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/Integrando%20Floresta.Madeira.Produtos.pdf

Fibra Longa: Integração Floresta/Madeira/Produtos/Clientes: Uma realidade ou uma ficção? C. Foelkel. Website Grau Celsius. Apresentação em PowerPoint: 63 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.celso-foelkel.com.br/artigos/Palestras/FibraLonga_Integrando%20Floresta%20Madeira%20Produtos.pdf

Uso do Pilodyn para a estimativa da densidade da madeira de *Eucalyptus nitens.* J.L. Louzada; M.J. Gaspar; E.M. Bento. UTAD – Universidade de Trás-os-Montes e Alto Douro. 06 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.cifap.utad.pt/Pilodyn_Dens_Euc_nitens.pdf

Pilodyn para avaliação de madeira *in situ*. Terrages - Novas Tecnologias para a Gestão Agro-Florestal e Ambiente. 02 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.terrages.pt/pdf/TerraGes-Pilodyn.pdf

Use of the Pilodyn for assessing wood properties in standing trees of *Eucalyptus* clones. W. Shijun; X. Jianmin; L. Guangyou; R. Vuokko; L. Zhaohua; L. Baoqi; W. Wei. InTech Open Science Open Minds. Intochopen. 09 pp. (SD: Sem referência de data)

http://cdn.intechopen.com/pdfs-wm/35550.pdf (em Inglês)

Densidade da madeira. Disciplina "Tecnologia de Produtos Florestais". ISA – Instituto Superior de Agronomia. UTL – Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. Apresentação em PowerPoint: 18 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/TPF_2_Densidade.pdf

Variabilidade da madeira. Disciplina "Tecnologia de Produtos Florestais". ISA – Instituto Superior de Agronomia. UTL – Universidade Técnica de Lisboa. Portugal. Apresentação em PowerPoint: 20 slides. (SD: Sem referência de data)

http://www.isa.utl.pt/def/files/files.2007/File/disciplinas/tpf/TPF_5_Variabilidade.pdf

Densidade aparente de cavacos, modelo DAC/Q. Normas Técnicas: ABNT NBR 14984 | SCAN – CM 46:92. QualityLabor. 02 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.qualitylabor.com.br/produtos/celulose/densidade-aparente-de-cavacos?format=pdf

Classificação da densidade básica da madeira de eucaliptos. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta nº 1037. 03 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/1037_Classificacao%20madeiras%20eucalipto%20pela%20densidade.pdf

Densidade básica em baguetas. C. Foelkel. Pergunte ao Euca Expert. Pergunta nº 84. 03 pp. (SD: Sem referência de data)

http://www.eucalyptus.com.br/eucaexpert/Pergunta%2084.doc

==========