

Estratégia

Otimização da matéria-prima “árvore” deve ser prioridade

José Nivaldo Garcia e Geraldo Bortoletto Júnior *



Mesa Pérola Grandis, fabricada nos Laboratórios de Tecnologia da Madeira, do Departamento de Ciências Florestais, USP ESALQ

Além de desempenhar papel reconhecidamente fundamental na manutenção da qualidade do ambiente e da vida humana, a floresta é fonte de vários produtos de valor para a sociedade. Daí a importância de conhecermos os volumes dos produtos nela estocados, em um dado período e ao longo do tempo. O monitoramento da produção florestal já é possível,

graças a técnicas avançadas de mensuração e de inventário florestal. Especialmente no caso da madeira, as prognoses já estão eficientemente informatizadas e suficientemente precisas.

O negócio florestal era, há bem pouco tempo, baseado no indicador “metros cúbicos de madeira roliça estocados em um hectare de determinada floresta”.

Hoje, pratica-se o uso do indicador de produtividade expresso em “metros cúbicos de madeira serrada, ou metros quadrados de painéis, ou ainda toneladas de celulose por hectare”. Já não satisfaz mais saber que, em uma floresta de *Eucalyptus* de 7 anos de idade, existem 280 m³ de madeira roliça/ha, produzidos a uma taxa média de 40 m³/ha.ano. Prefere-se dizer que existem nessa floresta US\$ 5.600,00 estocados na forma de árvores, que continuam em crescimento, com agregação de US\$ 800,00 por ano, o que caracteriza uma rentabilidade superior a qualquer aplicação financeira. Vislumbra-se portanto que formar floresta é um bom negócio, inclusive do ponto de vista econômico, porque essas cifras básicas podem ser aumentadas com a agregação de valor ao produto, possibilitada pelo emprego de tecnologias adequadas.

A evolução tecnológica do manejo e do melhoramento de florestas possibilitou o crescimento da silvicultura, favorecendo também a evolução tecnológica da indústria da madeira, que agora, por sua vez, passa a exigir mais florestas para seu suprimento. Torna-se necessário então planejar essa interação floresta/indústria, no sentido de se conseguir a sustentabilidade, ou seja, que a indústria consuma somente o volume ou o número de árvores que a floresta, responsável por seu suprimento, pode produzir.

J.N. GARCIA / USP ESALQ

FIGURA 1 | TORAS DE GRANDE DIÂMETRO, PREVENIENTES DE FLORESTAS NATURAIS



FIGURA 2 | TORAS DE PEQUENOS DIÂMETROS, ORIUNDAS DE REFLORESTAMENTOS JOVENS



Não há dados estatísticos precisos, mas não é difícil aceitar o fato de que, nesse último século, o porte da tora processada pela indústria madeireira passou de grandes diâmetros (Figura 1) para toras de pequenos diâmetros, oriundas de reflorestamentos jovens (Figura 2), concomitantemente com a redução dos ciclos de rotação, de 80 para 7 anos, no Brasil.

Nos últimos 50 anos, a indústria madeireira passou de um *layout* simples em termos de maquinário (caso de uma serra de quadro, Figura 3), para máquinas acionadas por comandos numéricos emitidos por sensores (*scanners*, câmera, infravermelho, laser etc.) que avaliam as características da tora ou peça, antes de sua entrada na máquina ou linha de produção. A Figura 4 mostra uma serraria de grande porte, composta de serras de fita. A demanda por madeira cresceu e continua crescendo significativamente durante esse processo de passagem de um antigo estágio de processamento rudimentar para o informatizado,

dada à altíssima velocidade de processamento possibilitada pelas modernas máquinas madeireiras. A velocidade de avanço da tora, que era de 0,3 m/min, passou para 50 m/min nas serras principais – como as de fita ou circular, usada no desdobro (há uma máquina em teste, no Canadá, com velocidade de até 200 m/min) –, e cerca de 300 nas máquinas de processamento secundário – como as plainas moldureiras, de muitos eixos, nas quais os mandris são fixados de forma hidrostática, garantindo maior rapidez de colocação e perfeita centragem.

Isso significa que, no caso de toras de 3 m de comprimento, uma serraria, do porte acima descrito, pode processar cerca de 8.640.000 unidades por ano. Uma fábrica de Medium Density Fiberboard (MDF), utilizando o moderno sistema de prensagem contínua, tem capacidade para produzir cerca de 245.000 m³ de chapas por ano. Para atender a essa produção – considerando-se toras de 7 a 15 cm de diâmetro e comprimento de 2,40 m –, a indústria processa 21.483.725 unidades, nesse mesmo período de tempo. Uma fábrica de aglomerados, utilizando o mesmo sistema de prensagem citado para o MDF ou matérias-primas com características semelhantes, tem capacidade para produzir cerca de 560.000 m³ de chapas por ano, demandando, para tanto, 39.298.246 toras por ano. Diante de cifras dessa magnitude, surge inevitavelmente a pergunta: Que área de floresta é necessária para suprir indústrias dessas grandezas?

Evidentemente, a resposta vai depender da qualidade da floresta. De qualquer maneira, já é possível fazer esse cálculo, utilizando-se *softwares* amigáveis e disponíveis para grandes empresas florestais e para pequenos proprietários rurais. Uma característica marcante das indústrias de altíssima produtividade é que somente fabricam produtos *standard*, ocasionando enormes perdas na adaptação da dimensão produzida com a demandada pelo consumidor. Caso

o consumidor precise, por exemplo, de uma tábua de 2,10 m de comprimento, terá de comprar uma tábua de 2,5 m ou de até 3 m de comprimento. Dessa forma, o produto fica encarecido e a indústria tem de abaixar o preço, passando a trabalhar com uma estreita margem de lucro, a ser compensada na produtividade, ou seja, na economia de escala.

Indústrias de grande capacidade de processamento precisam investir elevada quantidade de recursos na logística de transporte de sua matéria-prima e de seus produtos, o que também lhes exige gigantesca infra-estrutura, contribuindo para o aumento dos custos. Grandes lucros advêm de imensas quantidades produzidas, embora o desperdício possa prejudicar o próprio planeta (o chamado prejuízo global), em detrimento do ganho local. Por esse motivo, a Suécia iniciou, desde 1995, a difusão da idéia da redução do tamanho das indústrias, passando da produção *standard* para a produção de madeira nas dimensões impostas pelo consumidor, a chamada *small scale sawmill*. Nessas condições, sem muito aumento nos preços ao consumidor, pode haver um incremento significativo nos lucros da indústria, e ainda uma economia significativa para a

FIGURA 3 | SERRARIA RUDIMENTAR E DE PEQUENA PRODUTIVIDADE



floresta, concorrendo para o chamado “ganho global”, sem prejuízo do “ganho local”.

Este artigo objetiva incentivar a indústria madeireira de pequena escala, no Brasil, que trabalha próxima do consumidor e pode otimizar o uso dessa escassa matéria-prima, que é a árvore. A própria escassez, entretanto, tem forçado uma interessante integração entre empresas, possibilitando que grandes quantidades de resíduos gerados por algumas delas possam ser utilizados como matéria-prima por outras. As “costaneiras” produzidas por uma serraria, por exemplo, são usadas em uma fábrica de celulose ou de MDF, assim como sua serragem resulta em uma matéria-prima para planta de aglomerado. Trata-se de uma forma de integração importante, porque esses resíduos representam cerca de 40% do volume de toras processado.

O desenvolvimento da indústria da madeira foi impulsionado pelas pesquisas, que mostraram ser possível o aumento da rigidez da madeira ou do produto dela fabricado. A rigidez (EI) é expressa pelo produto do módulo de elasticidade (E) – que é uma propriedade do material – pelo momento de inércia (I) – que é uma característica da seção transversal da peça. O aumento do módulo de elasticidade foi buscado na própria floresta, por meio do melhoramento florestal, seja pela seleção de espécies mais aptas a uma determinada aplicação, seja

pelo melhoramento específico dessa importante propriedade mecânica. O aumento do módulo de elasticidade através do melhoramento genético é muito lento, comparado com o aumento do momento de inércia (o que foi surpreendente, por causa do estágio incipiente em que se encontrava há bem pouco tempo), mas deve ser sempre buscado.

Laboratórios modernos, que combinam densitometria de raio X, difratometria ondulatória, análise do infravermelho próximo e análise de imagens, podem medir cerca de 1.000 vezes mais rapidamente as propriedades que os laboratórios tradicionais. Podem ainda ser medidas propriedades importantes, impossíveis de ser medidas há pouco tempo. Igualmente, verdadeiros laboratórios de campo foram montados para avaliar as propriedades da árvore *in loco*. A Figura 5 mostra testes de campo, em árvore em pé, para seleção de indivíduos superiores, que serão utilizados na produção de sementes ou tecidos, em programas de melhoramento.

Schacht et al. (1998), Garcia (2003), Santos et al. (2003), Adorno e Garcia (2003), Scanavaca Jr. e Garcia (2004) e Santos et al. (2004) mostram que não é difícil a obtenção de ganhos de até 18%, em uma geração de cerca de 7 anos [h^2 (herdabilidade) = 0,4 a 0,8], para essa e outras propriedades da madeira. Mas também não é difícil ganhar-se cerca de 500% na engenharia do momento de inércia. O domínio do momento de inércia forçou o avanço das conexões, seja na construção de estruturas, seja na fabricação de produtos à base de madeira – principalmente os compósitos, que deram origem aos chamados produtos engenheirados de madeira. A evolução ocorreu, sem dúvida alguma, com o avanço da capacidade de se executarem ligações entre peças, sejam elas tradicionais peças sólidas ou lâminas, em que a espessura é muitas vezes menor do que qualquer uma das outras duas dimensões. Isso é válido também para as

FIGURA 5 | DETECÇÃO DAS PROPRIEDADES E DEFEITOS INTERNOS DA MADEIRA: (A) ÁRVORE INSTRUMENTALIZADA, (B) ENSAIO MECÂNICO, (C) AUSCULTAÇÃO POR TOMOGRAFIA



(A)



(B)



(C)

FIGURA 4 | SERRARIA DE GRANDE PORTE COM SERRAS DE FITA



FIGURA 6 | (A) VIGA LAMINADA COLADA (VLC); (B) VIGA I, COM MESA MACIÇA E ALMA DE *BLOCBOARD*; (C) PAINEL RECORTADO COM LÂMINA FAQUEADA DE EUCALIPTO



(A)

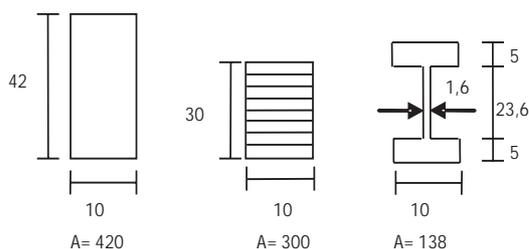


(B)



(C)

FIGURA 7 | (A) VIGA RETANGULAR MACIÇA, (B) LAMINADA COLADA E (C) *I JOIST*, SENDO TODAS DE MESMO MOMENTO DE INÉRCIA



ligações laterais e, principalmente, para as ligações entre camadas.

A Figura 6(A) mostra um exemplo de uma viga laminada colada (VLC), inventada para produzirem-se vigas de grande altura arrojadas e de grande responsabilidade, a partir de árvores finas. A Figura 6(B) mostra que as mesas de uma viga chamada *I joist* estão afastadas do eixo horizontal, que passa pelo centro de gravidade da seção composta. A Figura 6(C),

por sua vez, mostra um painel com face de fino acabamento. A alma é de painel fabricado com sarrafos, de pequenas dimensões, colados de topo e lateralmente – *edge glued panel* (EGP).

O aumento do momento de inércia nos produtos engenheirados de madeira passou a ser significativo com o desenvolvimento de adesivos de alta qualidade, capazes de curarem sem perda de eficiência, a quente ou a frio, na umidade de

equilíbrio da madeira com o ambiente (até 15%). Isso resultou no aumento da produtividade dos secadores, em mais tempo de tolerância na união das partes a serem coladas, em menor consumo de cola (devido a um processo de expansão próprio) e, principalmente, na redução dos empenamentos e das variações dimensionais, já que a colagem é processada na umidade do produto em uso. A planta industrial deve, entretanto, operar sob rigoroso processo de controle, garantindo qualidade ao produto engenheirado.

A Figura 7 mostra três vigas de diferentes seções transversais, mas com a mesma rigidez e, portanto, com a mesma capacidade de carga. A viga mostrada na Figura 7(A), por ser maciça, já é hoje quase impossível de ser produzida; a viga da Figura 7(C) exige uma engenharia eficiente na união alma/mesa, e a viga da Figura 7(B) é a mais utilizada quando se quer, embora com desperdício de material, fugir do problema da flambagem da alma ou do cisalhamento, nos pontos críticos da alma. A área

FIGURA 8 | EMENDA DE TOPO DE PEÇA DE MADEIRA MACIÇA TIPO FINGER JOINT



J. N. GARCIA/ESALQ

da seção transversal decresce de 420 cm², na viga maciça, para 138 cm², na viga I, significando uma redução de 67% no consumo de madeira.

O aumento da altura torna a viga mais eficiente, possibilitando o aumento do vão a ser vencido. Portanto, seu comprimento pode chegar a valores muito maiores que o das peças componentes passíveis de serem produzidas em serra-ria (ou, ainda, do comprimento de peças produzidas com resíduos da indústria da madeira). Surgiu então a ligação por *finger joint* (Figura 8), estudada para emendar peças (inclusive as curtas) oriundas do aproveitamento de rejeitos da indústria da madeira, para a fabricação de vigas de comprimento significativamente superior ao comprimento das peças componentes. Não é raro encontrar-se uma relação de 10:1.

A Figura 9 mostra uma superestrutura treliçada espacial em que se observa a obra de arte nas ligações, possibilitando a construção de uma estrutura de grande porte, a partir de peças curtas. A Figura 10 mostra ligações de peças estruturais por meio de placas dentadas, o que confere boa resistência e grande facilidade de colocação indicada, sobretudo para

estruturas planas. Dessa forma, grandes estruturas de madeira já podem ser construídas sem a tradicional mão-de-obra especializada do carpinteiro, principalmente em estruturas rurais. Necessita-se apenas que os engenheiros florestais e agrônomos saibam controlar, com eficácia e sabedoria, a rigidez da estrutura ou de seus componentes, nos processos de pré-fabricação.

Fechando-se o círculo virtuoso, mais florestas serão necessárias pela maior demanda de madeira que, paulatinamente, vai substituindo outros materiais originários de matéria-prima não-renovável e que, quase sempre, exigem enormes quantidades de energia nas

suas fabricações e aplicações. A madeira é imbatível nesse aspecto, porque demanda pequena energia em sua transformação, e ainda armazena energia de boa qualidade e de liquidez imediata. Muitos produtos engenheirados foram pensados para uso de matérias-primas outrora descartadas – como várias espécies desconhecidas, as toras de baixa qualidade, os resíduos da indústria madeireira (serragem, maravalhas etc.) e até resíduos do agronegócio (como bagaço de cana e colmos fibrosos de culturas). São alternativas estratégicas que se tornam cada vez mais importantes no enfrentamento da escassez, que tende a se agravar, da madeira sólida. 

FIGURA 9 | ESTRUTURA RETICULADA ESPACIAL



FIGURA 10 | PLACAS DENTADAS UNINDO BARRAS DE ESTRUTURAS RETICULADAS



ACERVO CASA BELLA

*José Nivaldo Garcia

(jngarcia@esalq.usp.br) e Geraldo

Bortoletto Júnior (gbortoll@esalq.usp.br)

são professores do Departamento de Ciências Florestais da USP ESALQ.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADORNO, M. F. C.; GARCIA, J. N. Correlações lineares entre as principais características tecnológicas da madeira de clones de *Eucalyptus grandis* e *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 63, p. 44-53, 2003.
- GARCIA, J. N. Gains and losses on sawn wood yield and quality through forest improvement, management and sawing strategies. In: WEI, R. P.; XU, D. (Eds.). *Eucalyptus plantations: research, management and development*. Singapore: World Scientific, 2003. p. 392-403.
- SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimates of genetic parameters of wood traits for sawn timber production in *Eucalyptus grandis*. *Genetics and Molecular Biology*, Ribeirão Preto, v. 27, n. 4, p. 567-573, 2004.
- SANTOS, P. E. T.; GERALDI, I. O.; GARCIA, J. N. Estimativas de parâmetros genéticos de propriedades físicas e mecânicas da madeira em *Eucalyptus grandis*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 63, p. 54-64, 2003.
- SCANAVACA JR. L.; GARCIA, J. N. Determinação das Propriedades físicas e mecânicas da madeira de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 65, p. 120-129, 2004.
- SCHACHT, L.; GARCIA, J. N.; VENKOVSKY, R. Variação genética de indicadores de tensão de crescimento em clones de *Eucalyptus urophylla*. *Scientia Forestalis*, Piracicaba, v. 54, p. 55-68, 1998.