

## O “Estéreo”

*João L. F. Batista*

*Hilton Thadeu Z. do Couto*

### ABSTRACT

#### The “Stere”



Wood trade has traditionally used as measuring unit the volume of stacked wood. This document presents a brief history of the “stere”, a measuring unit of stacked wood, and how it is used in forest mensuration procedures, as well as the several ways of obtaining conversion factors from solid wood to piled wood measurements. The replacement of “stere” by volume and mass measurements is considered.

### APRESENTAÇÃO



A comercialização da madeira tem tradicionalmente utilizado como unidade de medida básica o “estéreo”, uma medida de madeira empilhada. Este documento apresenta um breve histórico dessa unidade de medida, como ela se enquadra no contexto da mensuração da produção de madeira com base em unidades volumétricas, as diversas formas para se converter medidas volumétricas sólidas de madeira em volume empilhado e discute a questão de se substituir o estéreo por medidas de volume sólido e de massa e biomassa.

## 1 Introdução

Tradicionalmente, a comercialização da madeira tem se baseado na medida da madeira empilhada. O uso deste tipo de medida resultou da evolução das práticas florestais e do conhecimento popular desde o início das práticas florestais na Europa durante a Idade Média. Sua aplicação se deve principalmente à sua praticidade e à objetividade com que as medidas podem ser tomadas em campo com um mínimo de tecnologia, pois basta uma trena ou vara graduada para se medir pilhas de madeira. Apesar da sua praticidade, a medida da madeira na forma de pilhas apresenta alguns inconvenientes.

---

METRVM, n.2/outubro/2002

METRVM é uma publicação on-line do Laboratório de Métodos Quantitativos do Depto. de Ciências Florestais, ESALQ, Universidade de São Paulo. Seu objetivo é disponibilizar documentos de carácter técnico produzidos pelo laboratório na área de mensuração, biometria e bioestatística florestal.

METRVM é produzido utilizando sistema T<sub>E</sub>X & L<sup>A</sup>T<sub>E</sub>X sob o sistema operacional Linux.

<http://lmq.esalq.usp.br/METRVM/>

O objetivo do presente documento é apresentar o "estéreo" como medida de madeira, abordando alguns aspectos que devem ser considerados na sua utilização.

## 2 Definição e Histórico do Estéreo

A medida "estéreo" é uma medida de volume que corresponde a um metro cúbico ( $1 m^3$  ou 1 kilolitro) e sua criação data de 1798 no início da implantação do sistema métrico na França. Sua utilização como unidade de medida de volume, entretanto, não foi tão frequente quanto a do litro. Na Europa sua utilização se aplica tradicionalmente a medida de madeira empilhada, em geral para lenha (Rowlett, 1998). O termo "estéreo" deriva do grego "stereos" que significa sólido (Random House Dictionary) e a utilização deste termo é generalizada na Europa no países onde se adotou o sistema métrico: "*stère*" na França, "*stero*" na Itália, "*ster*" na Alemanha e "*estéreo*" na Espanha.

O uso de uma unidade de medida para madeira empilhada não é exclusividade do sistema métrico, existindo unidades análogas no sistema imperial ou britânico. O "*cord*" é utilizado para comercialização de madeira nos Estados Unidos da América, representando uma pilha de madeira com dimensões de 4 pés de largura por 8 pés de comprimento por 4 pés de altura, totalizando 128 pés cúbicos (Husch et al., 1982; Rowlett, 1998).

No Brasil, o estéreo vem sendo utilizado desde os tempos coloniais para a comercialização de lenha, mas ele também foi adotado há mais de 40 anos quando se iniciou a comercialização da madeira de eucalipto para fins industriais. Atualmente, ele é a unidade utilizada para comercialização de quase todo tipo de madeira, desde a lenha que as padarias ou restaurantes comprem em pequenas quantidades, até a madeira para produção industrial comercializada pelas grandes indústrias. Entretanto, o estéreo não faz parte do Sistema Internacional (SI) de unidades e medidas que é um tratado internacional ao qual o Brasil subscreve, consequentemente o estéreo não faz parte do sistema de unidades e medidas oficial e legal do Brasil. Em 1999, o INMETRO (Instituto Nacional de Metrologia, Normatização e Qualidade Industrial) fixou uma norma (Portaria nº 130, de 07/12/1999) definindo que o estéreo poderá ser utilizado até 31 de dezembro de 2009, mas, a partir dessa data, a comercialização da madeira deverá ser realizada utilizando unidades de medida do Sistema Internacional.

Tecnicamente, 1 estéreo é igual ao volume de uma pilha de madeira de um metro cúbico e, portanto, compreende a madeira propriamente dita e os espaços vazios entre as toras. O estéreo não faz nenhuma restrição às dimensões das toras ou da pilha montada, nem ainda ao método de empilhamento e, por isso, é de medição rápida no campo e permite a fácil visualização da produção de madeira após o abate das árvores. Estas foram, provavelmente, as principais razões para o seu estabelecimento como forma tradicional de comercialização de madeira e de pagamento no campo do trabalho de colheita florestal.

### 3 Modos de se Medir a Produção de Madeira

A medida da produção de madeira na forma de pilhas é o método mais prático, mas não é o único. A figura 1 apresenta um esquema das três formas básicas de se medir o volume de madeira de uma floresta:

**Volume Cilíndrico:** é um volume de um cilindro hipotético com diâmetro igual ao diâmetro da árvore a 1,30 m de altura (DAP) e altura igual a altura total da árvore. O volume cilíndrico não tem qualquer sentido prático ou real, sendo utilizado como um passo intermediário da obtenção do volume de árvores em pé a partir de medidas que são fáceis de ser tomadas em campo: o DAP e a altura total da árvore. A unidade de medida utilizada no volume cilíndrico é o metro cúbico ( $m^3$ ) e ele se refere apenas à madeira em pé.

**Volume Sólido:** é o volume de madeira de uma árvore ou conjunto de árvores que pode ser efetivamente comercializado e, portanto, caracteriza a produção de madeira. A unidade de medida do volume sólido é o metro cúbico ( $m^3$ ). O volume sólido de uma floresta depende não só da capacidade produtiva desta floresta, mas também da definição do que se considera comercializável. Os diferentes usos da madeira definem diâmetros mínimos ( $d_{min}$  na figura 1) distintos para sua comercialização. Embora o diâmetro mínimo mude conforme a região ou tipo de consumidor, valores comuns para os principais tipos de uso da madeira são:

| Tipo de produto            | $d_{min}$ |
|----------------------------|-----------|
| Lenha                      | 5cm       |
| Chapas de fibra e Celulose | 7cm       |
| Serraria                   | 15cm      |
| Laminação                  | 30cm      |
| Faquiado                   | 50cm      |

O volume sólido pode se referir tanto à madeira em pé como à madeira cortada, sendo comum se referir ao volume sólido de uma floresta e também ao volume sólido de uma pilha de madeira.

**Volume Empilhado:** é o volume de madeira medido na forma empilhada, seja em pilhas formadas no campo durante a colheita, seja em pilhas em pátios intermediários de armazenamento ou no pátio da fábrica, seja na forma do volume das carrocerias dos caminhões de transporte de madeira. A unidade de medida do volume empilhado é o estéreo (st), sendo um estéreo (1 st) igual a uma pilha com volume de  $1 m^3$ .

O volume empilhado também pode se referir tanto à produção da floresta (madeira em pé) quanto à produção em pilhas de madeira (madeira cortada).

**Massa ou Biomassa:** sendo a madeira um produto sólido, o Sistema Internacional recomenda que a massa seja utilizada como forma de medida, sendo a unidade o quilograma ( $kg$ ) ou a tonelada. A biomassa é muito utilizada em estudos ecológicos como forma de medir a capacidade produtiva de um ecossistema. Mas o termo

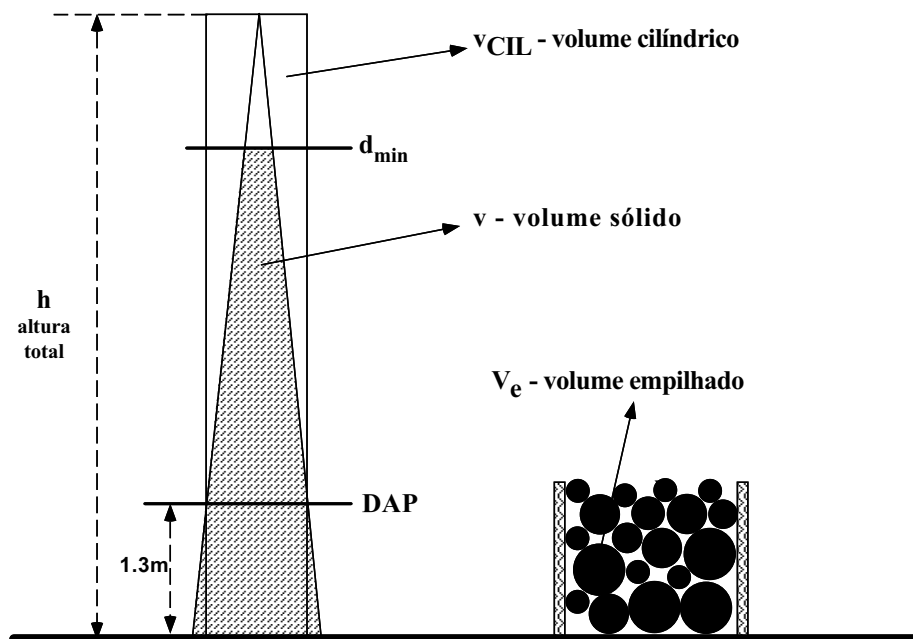


Figura 1: Representação gráfica dos modos de se medir o volume de produção de madeira: volume cilíndrico, volume sólido e volume empilhado. DAP é o diâmetro à altura do peito (1,30m) e  $d_{min}$  é o diâmetro mínimo para comercialização da madeira.

“biomassa” sempre se refere à massa da madeira seca, isto é, sem água ou umidade, e, portanto, diferente da massa diretamente medida com a madeira recém cortada (massa verde).

Enquanto o volume sólido é a produção efetiva de madeira, o volume empilhado é a produção medida da forma mais prática possível em campo. Os inventários e levantamentos florestais apresentam a produção na forma de volume sólido com base em técnicas de amostragem e medidas tomadas nas árvores em pé (antes do abate). Tais resultados, entretanto, não podem ser considerados tecnicamente como medições diretas da produção, pois se tratam de estimativas da produção e implicam num erro amostral. Tal erro amostral em florestas plantadas é, em geral, inferior a 10%.

### 3.1 Fatores de Conversão

A obtenção de um tipo de volume a partir de outro, como por exemplo, volume sólido a partir do volume empilhado é tradicionalmente realizada utilizando fatores de conversão. Os fatores de conversão que envolvem volume sólido e volume empilhado são:

**Fator de Empilhamento ( $F_E$ )** : converte o volume sólido em volume empilhado, sendo utilizado para tornar compatível as estimativas de produção de madeira

obtidas num inventário ou levantamento florestal (apresentadas na forma de volume sólido) com as medidas de produção em campo (obtidas na forma de volume empilhado).

**Fator de Cubicação ( $F_C$ )** : converte o volume empilhado em volume sólido, sendo, portanto o inverso do fator de empilhamento.

## 4 Aspectos que Influenciam os Fatores de Conversão

O uso dos fatores de conversão não seria problemático se a cada negociação os fatores fossem determinados diretamente do material lenhoso sendo comercializado, isto é, se para cada lote de madeira empilhada comercializada fosse determinado o fator de conversão. Esta situação, embora ideal, seria muito pouco prática pois acarretaria em custos de mensuração além da simples medição das pilhas. A prática de comercialização de madeira, portanto, adota fatores de conversão médios que são utilizados nas transações comerciais, independentemente de como as pilhas foram formadas.

O aspecto mais problemático na comercialização da madeira empilhada, usando a unidade de medida "estéreo", está no fato de que uma série de aspectos influenciam o volume sólido de madeira contido numa pilha. Os principais aspectos são:

### Aspectos relativos às árvores sendo empilhadas :

- espécie (Couto e Bastos, 1982; Avery e Burkhardt, 1983),
- região edafo-climática (para uma mesma espécie) (Couto e Bastos, 1982)
- classe de DAP e altura total (para uma mesma espécie e região edafo-climática) (Couto e Bastos, 1982; Paula et al., 1993),
- conicidade ou forma do tronco (Avery e Burkhardt, 1983),
- tortuosidade e defeitos do tronco (Avery e Burkhardt, 1983),
- toras com casca ou sem casca (Husch et al, 1983; Avery e Burkhardt, 1983).

### Aspectos relativos à toragem das árvores e formação das pilhas :

- presença dos tocos dos ramos nas toras (Avery e Burkhardt, 1983),
- diâmetro das toras (Carrillo et al., 1985; Paula et al., 1993),
- comprimento das toras (Torquato, 1983; Avery e Burkhardt),
- tempo de secagem (Resende e Paula, 1991),
- método de empilhamento (mecânico ou manual) (Torquato, 1983; Avery e Burkhardt, 1983),
- tipo de estrada e distância percorrida (no caso de caminhões) (Couto e Bastos, 1982).

Dada a grande quantidade de elementos que influenciam o volume sólido de madeira numa pilha é inevitável que um estéreio de madeira represente quantidades bastantes distintas de madeira sólida e, conseqüentemente, os fatores de conversão médios sempre implicam em erros. A tabela 1 apresenta alguns exemplos extraídos da literatura científica da amplitude de variação dos fatores de empilhamento.

Tabela 1: Variação do fator de empilhamento para pilhas de madeira de espécies do gênero *Eucalyptus* para diferentes situações de toragem, empilhamento e secagem.

| Fonte                 | Situação                     | Fator de Empilhamento | Variação (%) |
|-----------------------|------------------------------|-----------------------|--------------|
| Torquato, 1983        | Toras c/ 1,30 de comprimento | 1,34 a 1,52           | 13           |
|                       | Toras c/ 1,80 de comprimento | 1,47 a 1,61           | 10           |
|                       | Toras c/ 2,20 de comprimento | 1,57 a 1,71           | 9            |
|                       | Empilhamento manual          | 1,57 a 1,71           | 9            |
|                       | Empilhamento mecânico        | 1,68 a 1,86           | 11           |
|                       | Re-empilhamento mecânico     | 1,76 a 2,00           | 14           |
| Rezende e Paula, 1991 | 15 dias após a secagem       | 1,31 a 1,42           | 8            |
|                       | 30 dias após a secagem       | 1,31 a 1,45           | 11           |
| Couto e Bastos, 1982  | Madeira p/ energia           | 1,19 a 1,62           | 36*          |
|                       | Madeira p/ celulose          | 1,16 a 1,32           | 14*          |

\* Engloba florestas de *E. grandis* e *E. saligna* em primeira e segunda rotação, com diferentes idades, de diferentes regiões edafo-climáticas e de várias classes de DAP.

## 5 Determinação dos Fatores de Empilhamento

O fator de empilhamento pode ser determinado por diferentes métodos.

### 5.1 Método Direto de Determinação do Fator de Empilhamento

Neste método, utiliza-se uma amostra de pilhas de madeira onde se mede o volume empilhado e o volume sólido da madeira nas pilhas. O fator é obtido pela razão desses volumes, segundo a fórmula:

$$F_e = \frac{\text{Volume Empilhado}}{\text{Volume Sólido}}$$

O volume sólido das pilhas é determinado através da cubagem de cada uma das toras nas pilhas, o que pode ser realizado através das fórmulas de volume <sup>1</sup> de toras ou

<sup>1</sup> As fórmula de volume para toras de madeira produzem aproximações para o volume de uma tora assumindo que a tora pode ser razoavelmente representada por um sólido de revolução. As principais fórmulas utilizadas são a fórmula de Smalian e a fórmula de Huber, que produzem o volume de um parabolóide truncado, e a fórmula de Newton, que é uma aproximação generalizada para o volume de parabolóides, cones e nelóides truncados.

utilizando um xilômetro <sup>2</sup>.

O método direto produz bons resultados, mas é extremamente trabalhoso e, portanto, é utilizado apenas em estudos dendrométricos detalhados onde a exatidão dos resultados é fundamental. É impraticável a utilização deste método como forma corriqueira na determinação da produção de madeira em transações comerciais.

## 5.2 Método Fotográfico

O método fotográfico estima o fator de cubicação diretamente, sem a necessidade de determinar os volumes sólidos e empilhados. O método consiste em fotografias horizontais tomadas perpendicularmente às faces das pilhas. A fotografia é tomada instalando-se ou mantendo-se uma câmara fotográfica a uma distância conveniente da pilha e com o eixo óptico da lente perpendicular a uma das suas faces. Uma vez que a fotografia é revelada, aplica-se sobre ela um reticulado de pontos e conta-se quantos pontos do reticulado não estão posicionados sobre os topos das toras, isto é, são pontos no ar. O fator de cubicação é computado como

$$F_C = 1 - \frac{\text{número de pontos no ar}}{\text{número total de pontos}}$$

Segundo Mountain (1949), Keepers (1945) e Rubio (1982) esse método é rápido, seguro e preciso.

Em 1970, o Laboratório de Produtos Florestais do Canadá desenvolveu um método que emprega um circuito interno de televisão com um software que “interpreta” a imagem, apresentando coloração branca nos pontos onde encontra o material lenhoso e coloração escura quando encontra espaços vazios. Segundo Loetsch (1973) a precisão desse método está em torno de 20%. Em 1972, foi introduzido no mercado um sistema denominado LOGMETER desenvolvido no Chile, para medição automática do volume sólido de madeira empilhada, usando câmeras de vídeo localizadas na entrada da indústria. Esse sistema assumia que a madeira era empilhada transversalmente nas carrocerias dos caminhões e o sistema coletava informação em apenas um lado da pilha. A aplicação do sistema é limitada com a colheita da madeira em toras longas, pois as toras são empilhadas longitudinalmente nas carrocerias e o comprimento das toras pode variar em até 2 m (figura 2). Por outro lado, a coleta de informação em apenas um lado da carga possibilita que os espaços vazios sejam propositadamente menores no lado que será observado, dificultando uma determinação justa do volume sólido.

## 5.3 Método da Enumeração Angular

O método da enumeração angular também determina o fator de cubicação diretamente, utilizando o princípio da enumeração angular ou princípio de Bitterlich, bastante conhecido na Engenharia Florestal. O método consiste em “girar” um ângulo a partir de

---

<sup>2</sup> O xilômetro é um recipiente com água onde as toras são mergulhadas. O volume das toras é determinado pelo volume de água deslocado.

um ponto em um dos lados da pilha (onde aparecem os topos das toras) e contar todos os topos de tora que não são totalmente sobrepostos pelo ângulo até uma distância pre-determinada do ponto central. A construção do ângulo e do raio define uma constante de proporcionalidade entre o número de topo de toras contada e a razão da superfície dos topos das toras e a área do círculo formado ao rodar o ângulo. Assim o fator de cubicação é determinado pela fórmula:

$$F_C = k \text{ (número de topos de toras enumeradas)}$$

onde  $k$  é a constante de proporcionalidade.

Bitterlich (1984) sugere a constante de proporcionalidade de  $k = 1/100$ . Para construir um instrumento que gere essa constante, basta construir um ângulo cujo raio é 5 vezes a abertura do ângulo ao final do raio. A figura 3 apresenta um esquema de como esse ângulo poderia ser construído utilizando-se uma placa de plástico translúcido.

O ângulo é aplicado em vários pontos da pilha de madeira realizando-se um giro de  $360^\circ$  e contando-se todas as toras cujos topos não são totalmente sobrepostos pelo ângulo. A figura 4 mostra uma pilha onde foram amostrados três pontos. O número médio de toras enumeradas nos três pontos foi:

$$\bar{n} = \frac{75 + 93 + 84}{3} = 84.$$

Aplicando-se a constante de proporcionalidade o fator de cubicação e o fator de empilhamento ficam

$$F_C = \frac{1}{100} 84 = 0,84 \Rightarrow F_E = 1,19$$



Figura 2: Transporte de madeira colhida pelo sistema de toras longas.



A mesma restrição aplicada ao método da fotografia se aplica num grau menor ao método da enumeração angular. Se os topos das toras não estiverem alinhados segundo um plano, a visualização de um topo de tora mais para dentro da pilha poderá ser dificultada. Como o método envolve uma boa dose de julgamento subjetivo, o bom treinamento da mão-de-obra é muito importante.

## 6 Medição do Volume Empilhado

A medição do volume de uma pilha de madeira é relativamente simples e direta. Em geral, o comprimento da tora é fixo o que torna a “largura” da pilha fixa. O “comprimento” da pilha também é de medição direta, sendo a “altura” da pilha mais variável devido às variações na formação da pilha.

A figura 5 apresenta a forma de medir as diferentes dimensões da pilha. Somente no caso da altura são necessárias várias medidas repetidas. Para o cálculo do volume da pilha se utiliza a seguinte fórmula:

$$\text{Volume Empilhado} = L \times l \times \bar{h}$$

onde:

$L$  é o comprimento da pilha;

$l$  é o comprimento das toras, geralmente constante; e

$\bar{h}$  é a média das diferentes alturas tomadas da pilha.

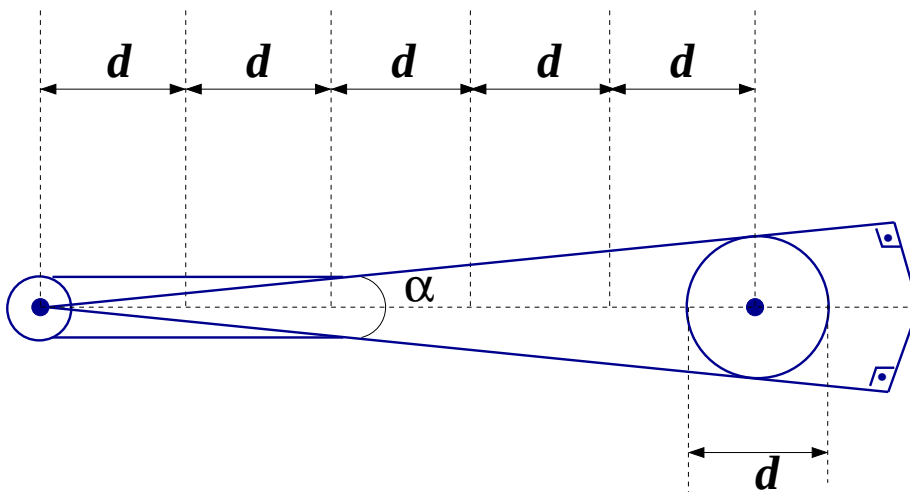


Figura 3: Ângulo para determinação do fator de cubicação pelo método da enumeração angular para uma constante de proporcionalidade de  $k = 1/100$  (adaptado de Bitterlich, 1983).

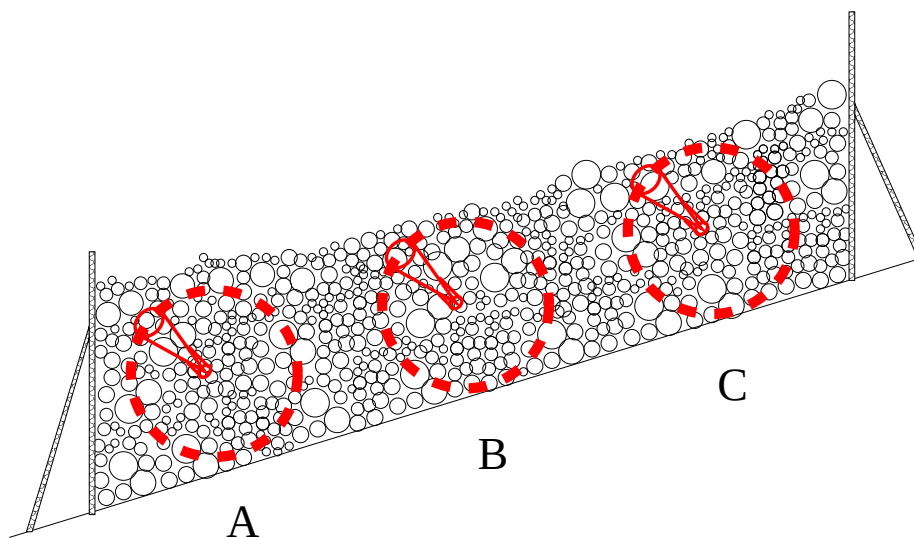


Figura 4: Aplicação do ângulo para enumeração angular numa pilha de madeira. Número de toras enumeradas:  $n_A = 75$ ,  $n_B = 93$  e  $n_C = 84$  (adaptado de Bitterlich, 1983).

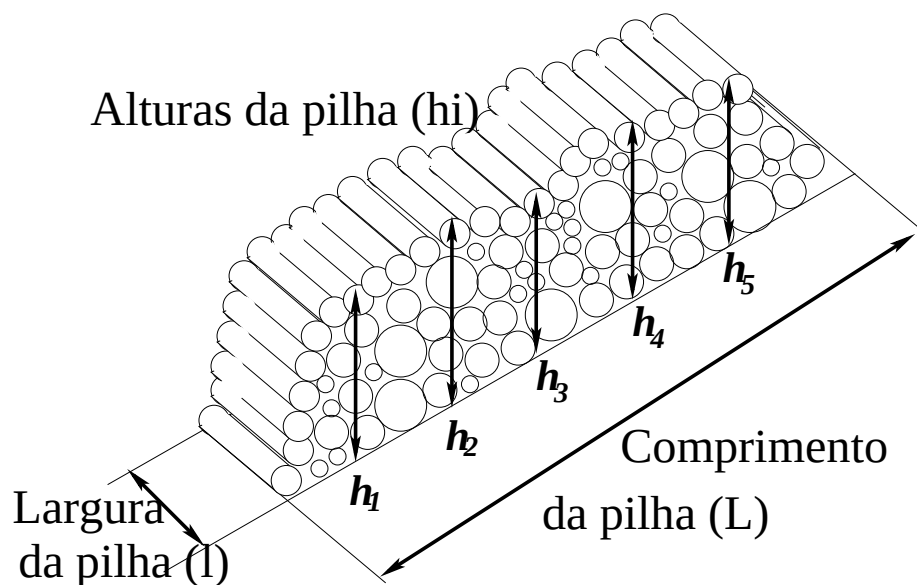


Figura 5: Representação gráfica de uma pilha de madeira e da medição de suas dimensões.

## 7 A “Gaiola” ou o Problema do Mau Empilhamento

Todos os métodos rápidos de determinação do volume sólido de uma pilha de madeira pressupõem que o empilhamento foi razoavelmente bem executado. O uso de fatores de empilhamento médios durante a comercialização de um lote de madeira também pressupõe que as pilhas foram bem construídas e as condições do lote sejam semelhantes às condições sob as quais o fator foi determinado.

Quando uma pilha é construída com “gaiolas”, isto é, ela é mau construída, possuindo uma proporção excessiva de espaços vazios entre as toras, o comprador pode rejeitar a pilha ou aplicar um desconto sobre o fator de empilhamento utilizado. É muito difícil, no entanto, estabelecer um método padrão nesses casos, pois, além das diferentes variáveis que influenciam o fator de empilhamento, existem muitas possibilidades de se construir uma pilha de madeira com excesso de espaços vazios: objetos estranhos no meio da pilha, toras em posição transversal ou oblíqua em relação à pilha, desgalhamento das toras mal conduzido deixando tocos, etc. As figuras 6 a 8 apresentam alguns exemplos de “gaiolas”.



Figura 6: Vista da carroceria de um caminhão com várias “gaiolas” ocasionadas pelo mau empilhamento.

### 7.1 Correção para Problema de Mau Empilhamento

Uma correção objetiva para esse problema pode ser obtida buscando encontrar o número de toras que a pilha deveria conter com base no volume da pilha, no fator de empilhamento e no tamanho médio das toras. Esse número é obtido pela fórmula:

$$\text{Número Esperado de Toras} = \frac{\text{Volume da Pilha}}{\text{Volume Médio das Toras} \times \text{Fator de Empilhamento}}$$



Figura 7: Detalhe de uma “gaiola” ocasionada por uma tora oblíqua ao alinhamento da pilha.



Figura 8: Carga com empilhamento longitudinal com uma “gaiola” em forma de “V”. Propositadamente, as toras foram empilhadas com maior altura nas bordas da carrocera gerando um grande espaço vazio no meio da carga.

O volume médio das toras é de medição trabalhosa, mas pode ser *aproximado* pela fórmula:

$$\text{Volume Médio das Toras} = \left( \frac{\pi}{40000} \right) \times (\bar{d})^2 \times l$$

onde:

$\bar{d}$  é o diâmetro médio das toras na pilha (cm); e

$l$  é o comprimento padrão das toras na pilha (m).

Esse método requer a estimativa do diâmetro médio das toras na pilha, mas um fator de correção objetivo é obtido ao se comparar o número de toras presentes na pilha e o número de toras que se espera na pilha. Por exemplo, uma pilha de toras de comprimento de 2,20 m e volume empilhado de 10 st, têm diâmetro médio de 20 cm. Pela fórmula acima, o volume médio das toras na pilha é:

$$\left( \frac{\pi}{40000} \right) \times (20)^2 \times 2,20 = 0,0691 \text{ m}^3$$

Assumindo um fator de empilhamento de 1,5, espera-se encontrar nessa pilha

$$\frac{10}{0,0691 \times 1,5} = 96,5 \text{ toras}$$

Encontrando-se 75 toras na pilha, o excesso de espaços vazios representaria

$$1 - \frac{96,5 - 75}{96,5} = 0,2227,$$

ou aproximadamente 22%. Assim uma redução de 22% no volume poderia ser aplicada.

## 8 Medindo o Volume Sólido de Pilhas através de Pesagens

Um método para se medir o volume sólido de pilhas de madeira sem a necessidade de recorrer ao fator de cubicação se baseia na pesagem da pilha em duas situações. A pilha é pesada inicialmente em situação normal “ao ar”. Em seguida, ela é mergulhada num tanque com água e pesada rapidamente, geralmente utilizando uma grua com sensor especial. A diferença entre a *massa real* da pilha, obtida na situação normal, e a *massa aparente*, obtida quando a pilha é mergulhada em água, é o volume sólido da pilha. Esse método é semelhante ao método da “balança hidrostática”, utilizado na determinação da densidade básica da madeira em laboratório, e se fundamenta no conceito de “empuxo”.

Quando um objeto é mergulhado num líquido, o peso desse objeto é “aliviado” pela resistência que o líquido exerce quando o objeto afunda. Essa força é chamada de empuxo ( $E$ ) e pode ser calculada pela diferença entre o peso real ( $P_{\text{real}}$ ) e o peso aparente ( $P_{\text{aparente}}$ ) do objeto quando submerso:

$$E = P_{\text{real}} - P_{\text{aparente}}.$$

O empuxo pode ser facilmente calculado a partir da massa de líquido ( $m_L$ ) deslocada pelo objeto ao submergir e a aceleração da gravidade ( $g$ ). Mas, a massa do líquido é igual ao seu volume ( $v_L$ ) multiplicada pela sua densidade ( $\rho_L$ ):

$$E = m_L g = v_L \rho_L g.$$

No caso do líquido ser a água, a densidade é 1 ( $\rho_L = 1$ ), e o empuxo será diretamente proporcional ao volume de água deslocado que, por sua vez, é igual ao volume do próprio objeto, uma vez que esse se encontra totalmente submerso:

$$E = v_L \rho_L g = v_L g = v_{\text{objeto}} g.$$

Se o peso for dividido pela aceleração da gravidade obtemos o volume do objeto em função da diferença das massas:

$$\frac{E}{g} = \frac{P_{\text{real}}}{g} - \frac{P_{\text{aparente}}}{g} \Rightarrow v_{\text{objeto}} = m_{\text{real}} - m_{\text{aparente}}.$$

Existe no mercado um sistema comercializado pelo nome de “PIVOTEX Wood-Measuring System” (<http://www.pivotex.com/wood.html>) que utiliza esse método, sendo muito utilizado nas indústrias de celulose em Portugal e em algumas empresas brasileiras (figura 9).

## 9 A Utilização da Biomassa e da Massa Verde

O problema da utilização da biomassa (massa seca) está no fato de que a madeira enquanto massa de organismos vivos é composta em grande parte por água. Após o abate e toragem de uma árvore a massa da madeira decresce rapidamente em função da perda de água. A madeira verde da maioria das espécies arbóreas possui teores de água superiores a 100% (Avery e Burkhart, 1983), chegando a variar entre 120 e 140% no caso das espécies de Eucalyptus plantadas no Brasil. A velocidade da perda de água e o teor de umidade de estabilização numa pilha de madeira depende de vários fatores, assim como o volume empilhado, sendo os fatores principais a espécie e as condições climáticas vigentes. Fatores de conversão de massa de madeira verde (massa verde) para biomassa de madeira (massa seca) teriam, portanto, os mesmos problemas dos fatores de conversão de volume empilhado para volume sólido.

A determinação do teor de umidade da madeira em campo é problemática pois a amplitude de variação pode ir de mais de 100% (na madeira recém cortada) até 15 a 20% (madeira seca ao ar). A maioria dos instrumentos de campo utilizados se aplica a madeiras com teores de umidade abaixo de 30 a 40%, produzindo resultados sem qualquer confiabilidade para teores superiores a essa faixa. Por outro lado, o método padrão de determinação do teor de madeira requer a colocação de amostras de madeira em estufas a 103 ° por 24 horas, sendo, portanto, inviável para determinação rápida em campo.

É importante lembrar que para alguns usos da madeira, como o uso para energia (lenha e carvão), o teor de umidade da madeira é um aspecto que determina a qualidade da



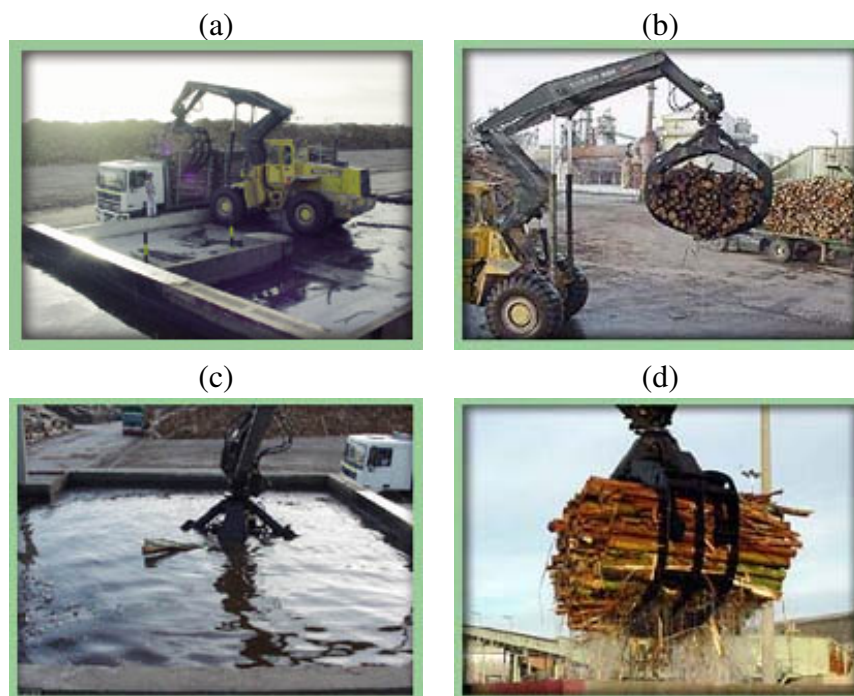


Figura 9: Sistema “PIVOTEX” de determinação do volume sólido de pilhas por pesagem: (a) uma amostra da carga é retirada, (b) pesada “ao ar”, (c) pesada submersa e finalmente (e) retorna ao pátio.

madeira. Nesse caso, o comprador tenderá a encorajar o fornecimento da madeira o mais seca possível, pois o uso da madeira verde é muito desvantajoso.

Nos Estados Unidos da América, no entanto, desde de 1955 um amplo segmento da indústria de celulose e papel adota a pesagem da madeira no recebimento da madeira nos pátios industriais. No caso da indústria Norte Americana e algumas empresas produtoras de celulose e papel no Brasil, a madeira verde é preferida e há incentivos para a entrega da madeira imediatamente após o corte. Do ponto de vista do estoque no pátio de madeira das fábricas, quanto mais verde a madeira, maior o tempo que ela pode ser estocada nos pátios, sem deterioração, o que é importante em regiões úmidas e quentes.

As vantagens do recebimento da madeira por peso, de acordo com Avery e Burkhart (1983), são as seguintes:

1. o método de medição é rápido não necessitando de qualquer manuseio adicional, economizando tempo e diminuindo filas de espera nas portarias das indústrias;
2. encoraja a entrega de madeira recém-cortada (fresca) que pode trazer vantagens no processo industrial de poupação;

3. não deixa dúvidas na medição podendo os controles serem emitidos automaticamente, para o pagamento do frete e da própria madeira recebida;
4. incentiva o transportador a empilhar a madeira adequadamente nos caminhões aumentando o volume transportado;
5. os estoques nos pátios de armazenamento são facilmente determinados através da manutenção de controles;
6. o conhecimento da massa transportada pelos caminhões pode evitar problemas com a “lei da balança” que limita a tonelagem levada pelos veículos nas estradas;
7. facilita o recebimento da madeira em toras longas e de comprimentos irregulares.

Há, entretanto, desvantagens para esse método de recebimento, mas essas podem ser solucionadas através do uso de equipamentos adequados. Algumas desvantagens são:

1. necessidade do uso de balanças de grandes dimensões nos pontos de transação da madeira;
2. uso de equipamentos para determinação da umidade e densidade básica da madeira recebida, que requer pessoal especializado;
3. necessidade de implantação do “Inventário Florestal Gravimétrico” para complementar as informações para o manejo florestal e abastecimento industrial.

Além das balanças, há equipamentos especiais, como fornos de microondas ou infravermelho, que determinam a umidade de amostras de madeira retiradas de caminhões em no máximo 5 minutos, tempo suficiente para a descarga da madeira nos pátios.

## 10 Conclusão

A utilização do estéreo como unidade de medida para comercialização de madeira se deve fundamentalmente à sua praticidade e objetividade em condições de campo. A desvantagem do uso do estéreo se deve à grande variabilidade do volume sólido ou da massa da madeira numa pilha, o que pode gerar grandes erros quando se utilizam fatores de conversão médios.

A portaria nº 130 (07/12/1999) do INMETRO estabelece que o estéreo deva ser substituído por uma unidade do Sistema Internacional. No caso de grandes empresas, onde a madeira é recebida em pátios industriais, existe duas ótimas possibilidades para a substituição do estéreo:

**volume sólido:** utilizando o método de pesagens ou método da “balança hidrostática”;

**massa verde:** utilizando pesagem com balança convencional como forma padrão de comercialização da madeira.



No caso dos pátios industriais, ambas possibilidades possuem grandes vantagens sobre o uso do estéreo, tanto na objetividade em como a madeira é quantificada quanto na forma como a matéria prima é recebida na fábrica.

O uso do volume sólido tem a vantagem adicional de permitir que as diferentes estimativas de produção de madeira geradas numa grande empresa (inventário florestal contínuo, inventário pré-corte, recebimento na portaria da fábrica, e controle do estoque no pátio) possam se tornar totalmente coerentes. Já o uso da massa verde permite, com algumas adaptações, a conversão das estimativas de produção para biomassa, que seria a unidade de medida mais apropriada para a madeira, não só do ponto de vista mensuracional (a madeira é um sólido), como também na perspectiva de diversas disciplinas ligadas ao manejo das florestas:

- ecologia: a biomassa é a melhor medida da produtividade dos ecossistemas florestais;
- fisiologia vegetal: a biomassa é a medida natural do crescimento das plantas, assim como do impacto do estresse sobre o crescimento;
- nutrição mineral: a biomassa é a medida natural para a resposta às deficiências minerais e aumento da fertilidade do solo;

Para a comercialização da madeira para energia, principalmente lenha, o uso da massa verde ou biomassa se torna complicado, pois o teor de umidade da madeira é um dos principais fatores de qualidade para esse uso. Outro aspecto complicador é que, frequentemente, a madeira para energia é comercializada em pequenas quantidades. Nesses casos, o empilhamento no ato de compra é geralmente melhor realizado não havendo problemas de “gaiolas”. Assim, a substituição do volume empilhado, medido em estéreos, pelo volume sólido, medido em metros cúbicos, pode ser realizada sem grandes problemas através do fator de cubicação.

O método da enumeração angular nos parece muito apropriado para esse tipo de situação, apesar de ser raramente utilizado no Brasil. Esse método pode ser utilizado tanto em grandes pilhas (figura 4) como em pilhas pequenas. O método fotográfico também nos parece bastante promissor, pois o grande desenvolvimento da tecnologia digital sugere que não seria complicado o desenvolvimento de um equipamento portátil para implementar esse método.

Por fim, para uma série de outros usos da madeira, como por exemplo madeira serrada, laminação, faquiamento, postes, mourões, etc., o volume sólido ( $m^3$ ) é o método convencional de medição e já vem sendo utilizado tradicionalmente.

## Sobre os Autores

**João L. F. Batista** é pesquisador em Biometria e Mensuração Florestal, sendo professor doutor do Depto. de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de

Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo, em Piracicaba - SP.

**Hilton Thadeu Z. do Couto** é pesquisador em Bioestatística e Inventário Florestal, sendo professor titular do Depto. de Ciências Florestais, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” (ESALQ), Universidade de São Paulo, em Piracicaba - SP.

## Referências Bibliográficas

- Avery, T.H.; Burkhardt, H.E. 1983 **Forest Measurements**. New York: McGraw-Hill, 331p.
- Bitterlich, W. 1983 **The Relascope Idea**. Slough: Commonwealth Agricultural Bureaux, 242p.
- Carrilo, E.G.; Flores Ayala, E.; Leon, T.J.A. 1985 Comparacion de coeficientes de apilamiento para brazuelo determinados en funcion del diametro de las ramas. **Boletin Tecnico INIF**, v.103, p.1-13.
- Couto, H.T.Z.; Bastos, N.L.M. 1988 Fator de empilhamento para plantações de *Eucalyptus* no Estado de São Paulo. **IPEF**, n.38, p.23-27.
- Husch, B.; Miller, C.I.; Beers, T.W. 1983 **Forest Mensuration** (3ª edição). New York: John Wiley & Sons, 402p.
- Keepers, C.H.A. 1945 New method for measuring the actual volume of wood in stacks. **Journal of Forestry**, n.43, p.16-22.
- Mountain, H.S. 1949 Determining the solid volume of four foot pulpwood stacks. **Journal of Forestry**, n.47, p.627-631.
- Paula, F. de; Rezende, A V. 1992 Equações de fatores de empilhamento e tabelas de volumes em metros estere para árvores individuais. **Revista Árvore**, v.16, n.1, p.72-87.
- Rezende, A. V.; Paula, F. de 1991 Estudo do comportamento dos fatores de empilhamento para *Eucalyptus grandis* em função do tempo de secagem dos toros nas pilhas. **Revista Árvore**, v.15, n.3, p.274-284.
- Rowlett, R. 1998 **How Many? A Dictionary of Units of Measurement**. Chapel Hill: University of North Carolina, (<http://www.unc.edu/~rowlett/units/>).
- Rubio, M.E.L. 1982 Comparacion de Diferentes Metodos para el Calculo de Coeficientes de Apilamiento em Brazuelo, Raya y Troza de Madidas Comerciales. **Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Mexico, Boletin Tecnico**, n.82, 64p.
- Torquato, M.C. 1983 Fator de empilhamento - implicações técnicas na medição da madeira empilhada. **Silvicultura**, v.8, n.30, p.230-233.
- Wenger, K.F. (coord.) 1984 **Forestry Handbook**. (2 edição). New York: John Wiley & Sons, 1335p.