UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu

FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
UNESP | BOTUCATU

Rendimento volumétrico máximo de madeira serrada

Prof. Hernando Alfonso Lara Palma

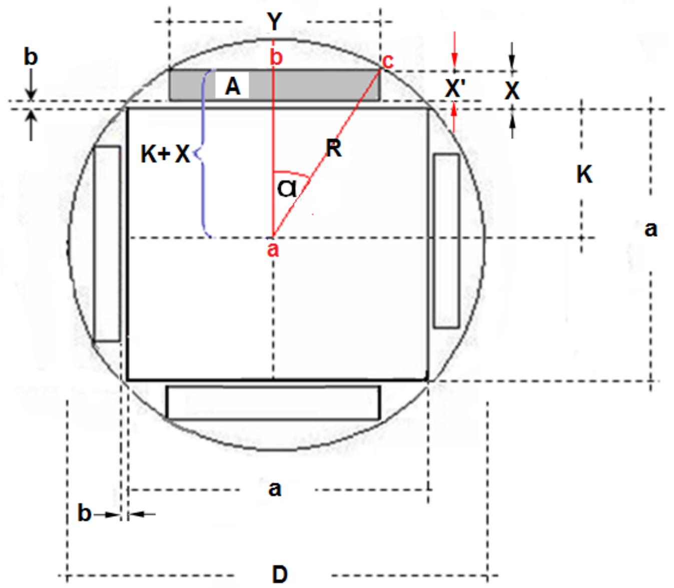
Aula 04

DEPARTAMENTO DE CIÊNCIA FLORESTAL
PROCESSAMENTO MECÂNICO DA MADEIRA

BOTUCATU / SP
2020

1. Cálculo de peças laterais de máximo volume (aproveitamento de costaneiras)

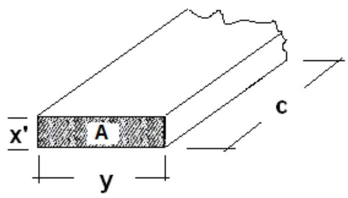
O volume máximo dependerá das dimensões (x;y) das peças laterais, que correspondem aos lados de um retângulo de máxima área inscrito no segmento circular definido pela secção transversal de uma costaneira.



R = raio do circulo
K = a/2
a = D / $\sqrt{2}$
D = diâmetro menor da tora
b = largura de corte da serra
A = área do retângulo inscrito no segmento circular

a) Volume máximo de uma peça lateral ($V_{P.L}$)

$$V_{P.L} = x' \cdot y \cdot c \quad \rightarrow \quad x' = x - b$$



b) Área máxima de uma peça lateral sem considerar "b" no cálculo de A

$$\boldsymbol{A = x' \cdot y}$$

- **Cálculo de x e y**

Δ abc : $\cos\alpha = \dfrac{k + x}{R}$

$\operatorname{sen}\alpha = \dfrac{y/2}{R}$

$x = R \cdot \cos\alpha - k$

$y = 2R \cdot \operatorname{sen}\alpha$

$\longrightarrow$

onde:
A = área do retângulo inscrito no segmento circular
R = rádio do circulo
K = a/2
a = (D / $\sqrt{2}$)
D = diâmetro menor da tora (ponta fina)
α = ?

• **Cálculo de "α"** (derivadas 1ª e 2ª para determinar máximos de uma função)

$$A = x \cdot y \quad = (R \cdot \cos\alpha - K) \cdot (2R \cdot \operatorname{sen}\alpha)$$
$$A' = (R\cos\alpha - K) \cdot (2R\cos\alpha) + [2R\operatorname{sen}\alpha \cdot (-R\operatorname{sen}\alpha)]$$
$$A' = 4R^2\cos^2\alpha - 2KR\cos\alpha - 2R^2$$

fazendo z = cos α:

$$A' = 4R^2z^2 - 2kRz - 2R^2 \quad \longrightarrow \quad A' = \frac{2kR \pm \sqrt{(4k^2 \times R^2) + 32R^4}}{8R^2}$$

$$\therefore \alpha = 25{,}09 \qquad (graus \cdot cte)$$

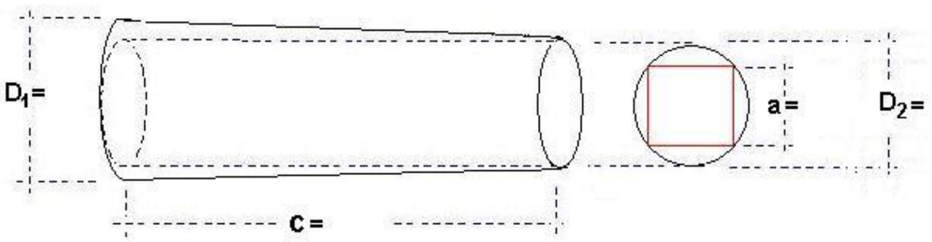
• **Volume das 4 peças laterais (*volume máximo*)**

$$V_{4P \cdot L} = 4 \cdot (x' \cdot y) \cdot c$$

• **Rendimento máximo de madeira serrada obtida de uma tora ($R_{Máx}$)**

$$R_{Máx} = \frac{V_{mad.serrada}}{V_{tora}} \cdot 100 \quad (\%) \quad = \frac{V_{blocomáx} + V_{4P.L}}{V_{tora}} \times 100 \quad (\%)$$

Exemplos 1. Calcular o volume e o rendimento "máximo" de madeira serrada (bloco + peças laterais) que se obtém de uma tora de *Pinus* sem casca com as seguintes dimensões: D_1 = 35 cm; D_2 =30 cm; c = 2,75 m; b =3 mm.



Solução:

- **a** = ($D_2 / \sqrt{2}$) = 0,3/ $\sqrt{2}$ = **0,212130 m**

- **$V_{bloco\ máx.}$** = a^2 x c = $(0{,}212130\ m)^2$ x 2,75 m = **0,123748 m³**

- **Rend = (**$V_{bloco\ máx.}$ / V_{tora}) x 100 = (**0**,123748 m³/0,229484 m³) x 100 = **53,92%**

- **V_{tora}** = [π ($D^2_1 + D^2_2$) / 8]}x c = [π ($0{,}35^2 + 0{,}30^2$) / 8] x 2,75 m = **0,229484 m³**

- **V_{4PL}** = 4 (x'x y) x c → x' = x – b

- **x** = Rcosα – K → R = D_2/2 = 0,30/2 = 0,15 m

→ K = a/2 **=** **(**0,212113) / 2 = 0,10606 m e α = 25,09º

- **x** = (0,15 x cos25,09) – 0,10606 = 0,0298 m = 29,8 mm

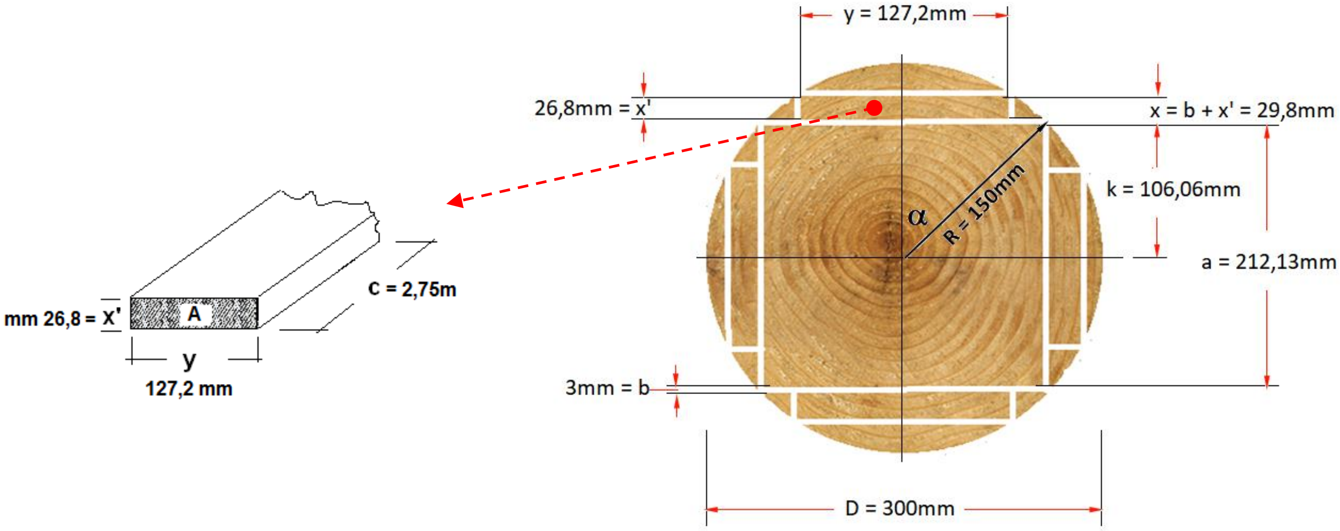
- **x’** = 0,0298 m – 0,003 m = 0,0268 m = **26,8 mm**

- **y** = 2Rsenα = 2 x 0,15 m x sem25,09 = 0,1272 m = **127,2 mm**

- **V_{4PL}** = 4 [(0,0268 m x 0,1272 m) x 2,75 m] = **0,037499 m^3**

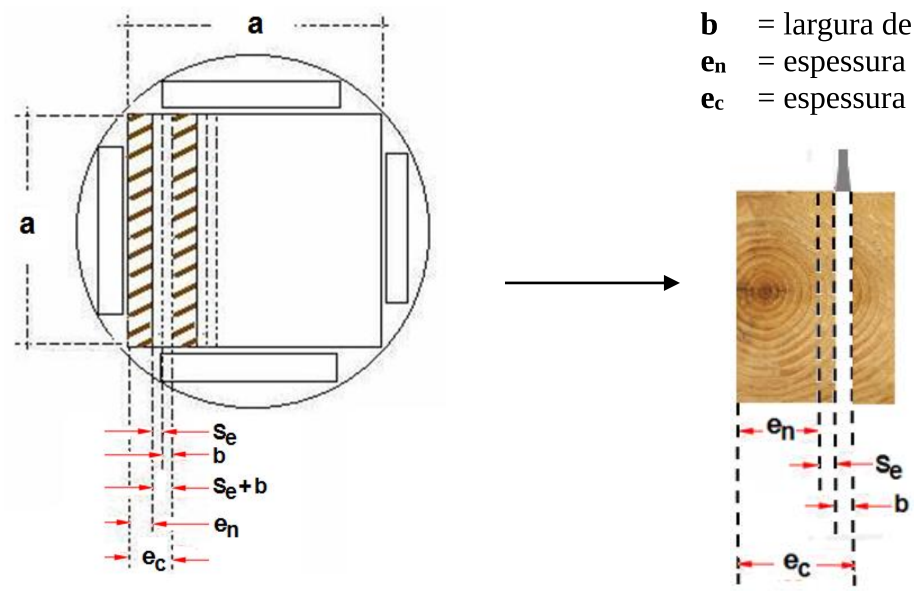
- **Rend $_{máx.}$** = [($V_{bloco\ máx}$+V_{4PL}) / V_{tora}] x100 = [(0,123748 + 0,037499) / 0,229484] x100 =

- **Rend $_{máx.}$** = **70,63%** → rendimento real madeira verde



2. Cálculo da espessura de corte e quantidade de tábuas do bloco

S_e = sobredimensão espessura
b = largura de corte da serra
e_n = espessura nominal
e_c = espessura de corte



• **Espessura de corte (e_c)**

$$e_c = e_n + S_e + b$$

• **Quantidade de tábuas do bloco (ou número de cortes)**

$$N^{O}cortes = \frac{a}{e_c} \qquad \text{ou} \qquad = N^{O}tabuas = \frac{a}{e_c}$$

Exemplo 2. Para o exemplo anterior (Ex. 1) calcular o volume e o rendimento máximo (real) em madeira serrada (tábuas laterais e do bloco) que se pode obter da tora, considerando uma e_n = 25 mm (para as tábuas do bloco). Calcular também o volume e o rendimento máximo em madeira serrada (tábuas) normalizada. Considere S_e = 5 % da em e b = 3 mm.

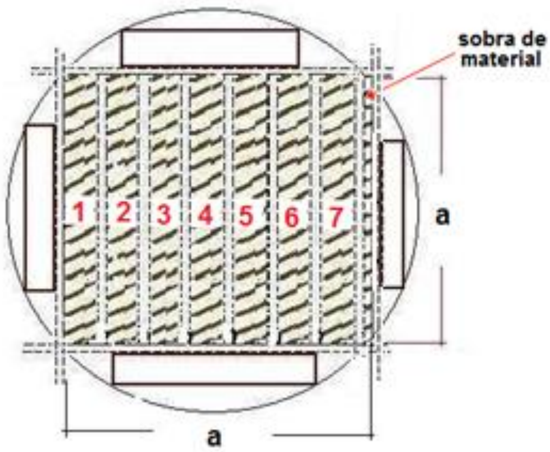
Solução:

a) Volume e rendimento máximo (real)

Quantidade de tábuas:

- **e_c** = 25 mm + (0,05 x 25 mm) + 3 mm = 29,25 mm

- ***Nº$_{tábuas}$*** = a/e_c = 212,13 mm / 29,25 mm = 7,25 → 7 tábuas



- **Rend $_{máx.}$** = [(V_{4PL} + $V_{7\ peças\ bloco}$) / V_{tora}] x 100

- **$V_{7\ peças\ bloco}$** = 7 x (e x l x c) = 7 x (0,026250 m x 0,21213 m x 2,75) = 0,107192 m³

V_{4PL} = 0,037499 m³ (já calculado)

e = 25 + 5% 25 = 26,25 mm = 0,026250 m

l = **a** = 212,13 mm = 0,21213 m

- **Rend $_{máx.}$** = [(0,037499 m³ + 0,107192 m³) / 0,229484 m³] x 100 = **63%**

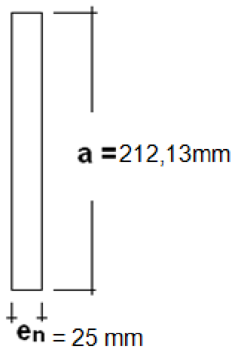
(rendimento real madeira verde)

b) Volume e o rendimento máximo em madeira serrada (tábuas) normalizada

Normalização das tábuas do bloco:

- $\mathbf{e_n}$ = já esta normalizada (dado no exemplo = **25 mm**)

- $\mathbf{l_n}$ = a/25 = (212,13/25) = 8,44 vezes = 8 x 25 mm = 200 mm



→ 200 mm + (5% × 200) = 210 mm < 212,13mm

→ $\mathbf{l_n}$ **= 200mm**

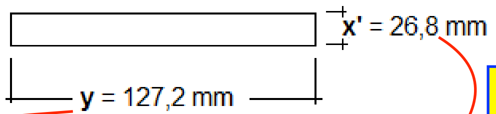
- $\mathbf{c_n}$ **=** 2,75 m / 0,30 m = 9,16 vezes → 9 x 0,30m = 2,70m → 2,70m + 0,05m = 2,75m

2,75 → $\mathbf{c_n}$ **= 2,70 m**

- Volume peças do bloco normalizadas

- $\mathbf{V_{7\ peças\ bloco}}$ = 7 x (0,025 m x 0,20 m x 2,70 m) = **0,095 m³**

Normalização peças laterais:



Aliás, está errado, mas não altera o resultado, então foda-se!!!

- $\mathbf{e_n}$ = 25 mm → 25 + 5% 25 = 26,25 mm < 26,9 mm ∴ $\mathbf{e_n}$ **= 25 mm**

- $\mathbf{l_n}$ = y/25 = 127,2/25 = 5,01 vezes → 5 x 25 mm = 125 mm → 125 + (5% ×125) =

131,25 mm > 127,2 mm → ln inferior = 100 mm → 100 + (5% ×100) = 105 mm

Sobremedida de contratação padrão para coníferas em 5% Apostila 2 - pág. 16

105 mm < 127,2 ∴ **ln = 100 mm**

- $\mathbf{c_n}$ **=** 2,75 m / 0,30 m = 9,16 vezes → 9 x 0,30m = 2,70m → 2,70m + 0,05m = 2,75 m = 2,75 → $\mathbf{c_n}$ **= 2,70 m**

- $\mathbf{V_{4PL}}$ = 4 {(0,025 m x 0,10 m) x 2,70 m} = **0,027 m³**

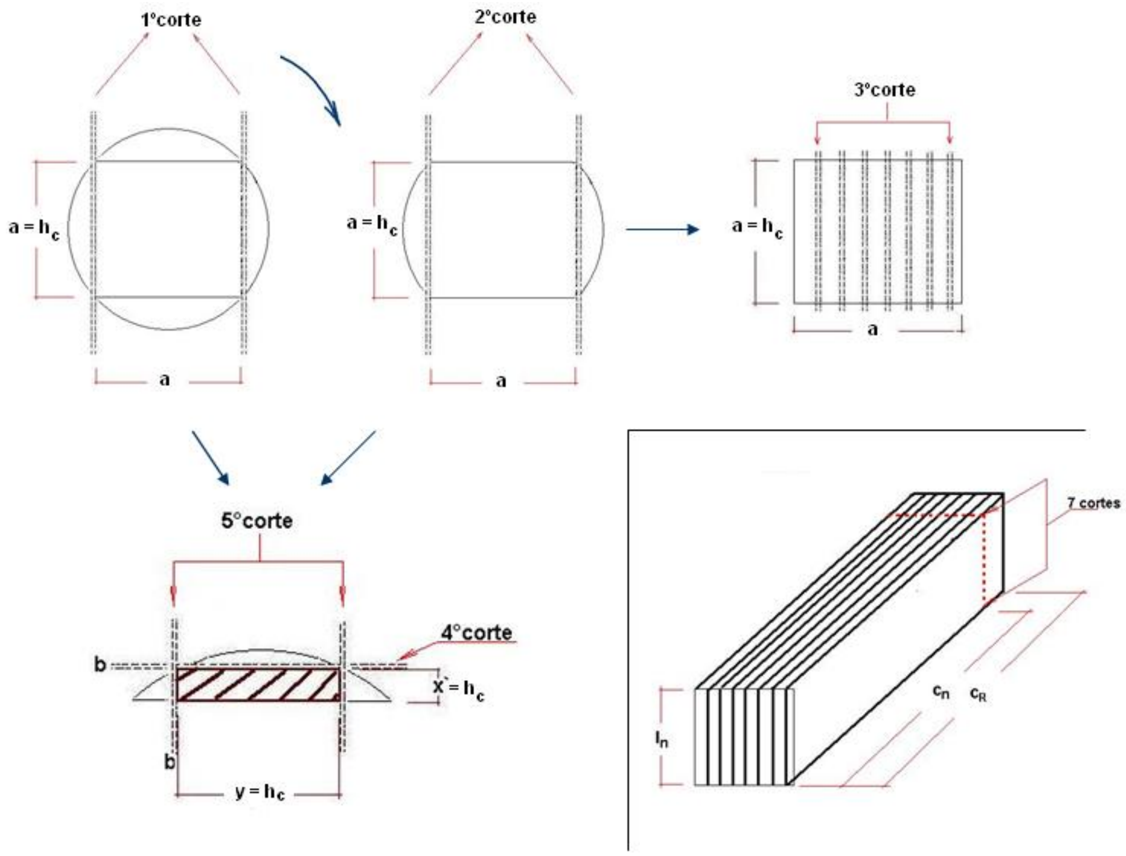
- **Rend** $_{\mathbf{nor}}$ = [(V_{4PLnor} + $V_{7\ peças\ bloco\ nor}$) / V_{tora}] x 100

- **Rend** $_{\mathbf{nor.}}$ = [(0,095 m³ + 0,027 m³) / 0,229484 m³] x 100 = 52,94% ~ **53%**

3. Cálculo da quantidade de serragem produzida – aproximado

Exemplo 3. No exemplo anterior, calcular a quantidade (%) de serragem produzida, no desdobro total da tora (real).

• Seqüência de cortes



Cálculo:

- V$_{\textbf{total serragem}}$ **=** $V_{1^{o}corte} + V_{2^{o}corte} + V_{3^{o}corte} + V_{4^{o}corte} + V_{5^{o}corte}$

- V$_{\textbf{total serragem}}$ = N°cortes x (h_c x b x c)

h_c = altura de corte = a; x'; y; etc)

- $V_{1^{o}corte}$ = 2cortes x (a x b x c) = 2 x (0,21213 m x 0,003 m x 2,75 m) = 0,003500 m^3
- $V_{2^{o}corte}$ = 2cortes x (a x b x c) = 2 x (0,21213 m x 0,003 m x 2,75 m) = 0,003500 m^3
- $V_{3^{o}corte}$ = 7cortes x (a x b x c) = 7 x (0,21213 m x 0,003 m x 2,75 m) = 0,012251 m^3
- $V_{4^{o}corte}$ = 4cortes x (y x b x c) = 4 x (0,12720 m x 0,003 m x 2,75 m) = 0,004198 m^3
- $V_{5^{o}corte}$ = 8cortes x (x'x b x c) = 8 x (0,02680 m x 0,003 m x 2,75 m) = 0,001769m^3

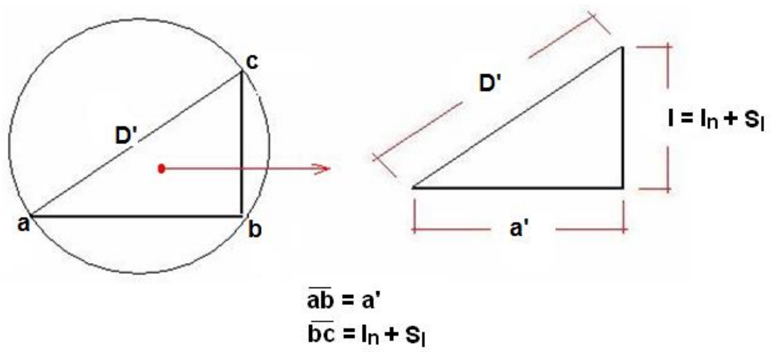
- V$_{\textbf{serragem}}$ **= 0,025218 m**$^{\mathbf{3}}$

- %Perda $_{\textbf{serragem}}$ **=** ($V_{total\ serragem}$ / V_{tora}) x 100 **=** (0,025218 m^3/0,229484 m^3) x 100 =

- %Perda $_{\textbf{serragem}}$ **= 11%**

4. Cálculo do diâmetro exato da tora sem perda de material

Exemplo 4. Calcular o diâmetro necessário para produzir sete tábuas de *Pinus* normalizadas do bloco central de uma tora, sem perda de madeira. Considerar: e_n = 25mm; l_n = 200mm; c_n = 2,70m.



S_e = *sobredimensão na espessura*
S_l = *sobredimensão na largura*
l_n = *largura nominal*
b = *largura de corte da serra*
e_n = *espessura nominal*
e_c = *espessura de corte*
a' = *aresta de corte sem perda*
D' = *diâmetro no*

$$a' = N^o tábuas \cdot (e_n + S_e) + (N^o tábuas - 1) \cdot b$$

$$D'^2 = a'^2 + l^2 \quad \longrightarrow \quad D' = \sqrt{a'^2 + l^2}$$

Cálculo:

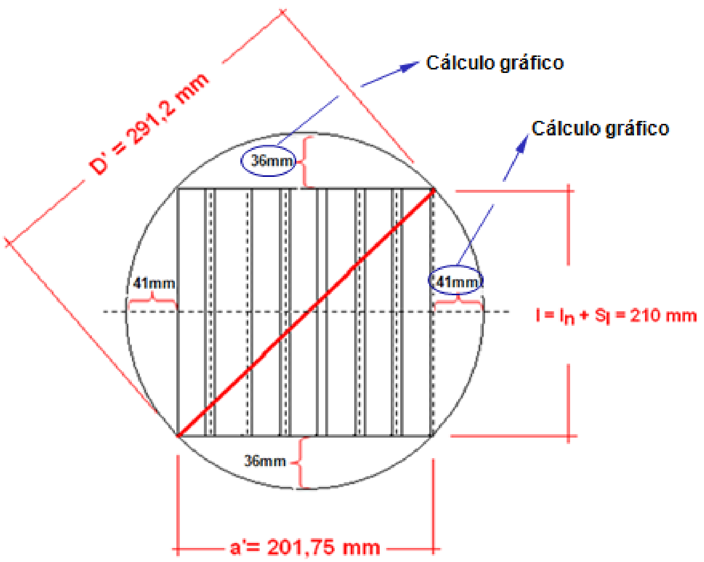
- a' = $N^o tábuas \cdot (e_n + S_e) + (N^o tábuas - 1) \cdot b$

- a' = 7 x (25 mm + 5% × 25 mm) + (7 – 1) × 3 mm = **201,75 mm**

- l = l_n + 5% l_n = 200 + (5% × 200) = **210 mm**

- $D' = \sqrt{20{,}175^2 + 21^2} = 29{,}12 \cdot cm$ ~ **30 cm**

- Calcular geometricamente as dimensões das peças laterais



Exemplo 5. Calcular o diâmetro das toras para produzir 4 pranchas de *Pinus* normalizadas do bloco central, com as seguintes características: e_n = 50 mm; l_n = 150 mm; b = 5 mm.

Solução:

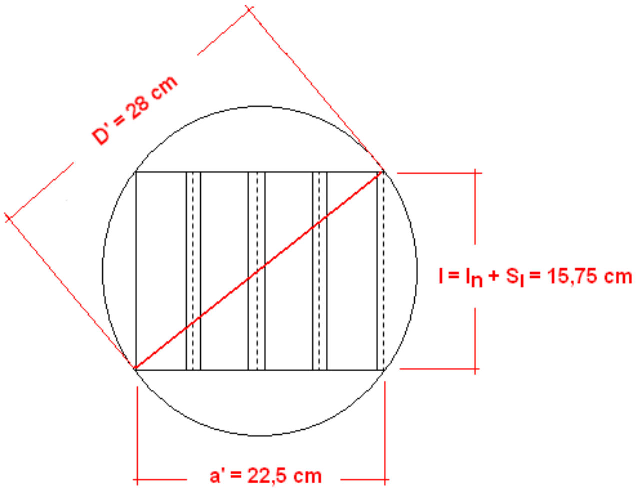
- $a' = N^o tábuas \cdot (e_n + S_e) + (N^o tábuas - 1) \cdot b$

S_e = 5% x 50 mm = 2,5 mm

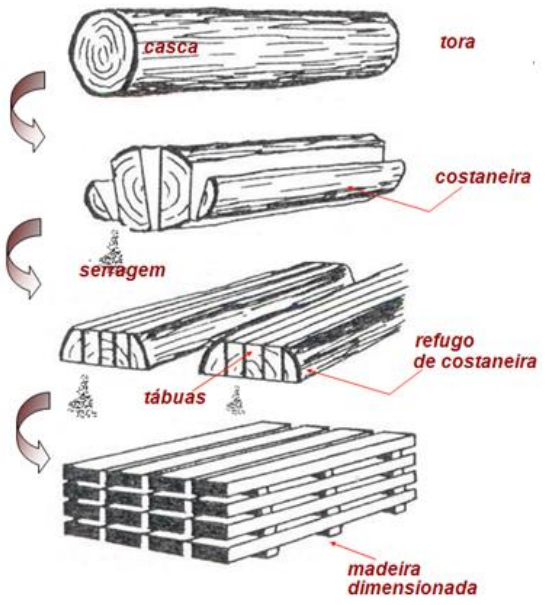
l = ln + 5% × 150 mm = 150 + 7,5 mm = **157,5 mm = 15,75 cm**

$a' = 4 \cdot (50 + 2{,}5) + (4 - 1) \cdot 5 =$ **225 mm = 22,5 cm**

- $D' = \sqrt{22{,}5^2 + 15{,}75^2}$ = **27,46 cm ~ 28 cm**



5. Rendimento da madeira serrada (R)



$$R = \frac{V_{mad \cdot serrada}}{V_{tora}} \times 100 \qquad (\%)$$

R = rendimento em (%)

$V_{mad.\ serrada}$ = volume de madeira serrada, em m^3 (V_{real} ou $V_{nominal}$)

V_{tora} = volume da tora, em m^3 (com ou sem casca)

5.1 Cálculo de perdas no processo de desdobro

$$\%Perdas_{toras\cdot S.C} = \left(\frac{V_{serragem} + V_{\cos\tan eiras,refugos}}{V_{tora\cdot S.C}} \right) x100$$

$$\%Perdas_{toras\cdot C.C} = \left(\frac{V_{serragem} + V_{\cos\tan eiras,refugos} + V_{casca}}{V_{tora\cdot C.C}} \right) x100$$

$$V_{\cos\tan eira,refugos} = V_{tora\cdot S.C} - \left(V_{mad.serrada} + V_{serragem} \right)$$

$$V_{\cos\tan eira,refugos} = V_{tora\cdot C.C} - \left(V_{mad.serrada} + V_{serragem} + V_{casca} \right)$$

$$V_{casca} = V_{tora\cdot C.C} - V_{tora\cdot S.C}$$

Exemplo 6. Calcular o rendimento real da madeira serrada do exemplo 2. Considere o volume real das tábuas do bloco e laterais.

Solução:

- Volume tábuas laterais do bloco = V_{4PL} = 0,037499 m^3
- Volume de serragem = $V_{serragem}$ = 0,025218 m^3
- Volume tora s/casca = V_{tora} = 0,229484 m^3
- Volume tábuas bloco = $V_{7\ peças\ bloco}$ = 0,107192 m^3
- Volume madeira serrada = V_{4PL}+$V_{7peças\ bloco}$ = 0,037499 m^3 + 0,107192 m^3 = **0,144691 m^3**

- $V_{\cos\tan eira,refugos} = V_{tora\cdot S.C} - \left(V_{mad.serrada} + V_{serragem} \right)$

- $V_{costaneira,\ refugos}$ = 0,229484 m^3 – (0,144691 m^3 + 0,025218 m^3) = **0,059575 m^3**

- %Perda $_{serragem}$ = ($V_{total\ serragem}$ / V_{tora}) x 100 = (0,025218 m^3/0,229484 m^3) x 100 = 11%

- $\%Perdas_{toras\cdot S.C} = \left(\frac{V_{serragem} + V_{\cos\tan eiras,refugos}}{V_{tora\cdot S.C}} \right) x100$

- *%Perdas* $_{torasS.C}$ = [(0,025218 m^3 + 0,059575 m^3) / (0,229484 m^3)] x 100 = 36,95 ~ **37%**

- $R = \frac{V_{mad\cdot serrada}}{V_{tora}} \times 100\ (\%)$ = (0,144691 m^3 / 0,229484 m^3) x 100 = **63%**

5.2 Exercícios para resolver

1. Calcular o volume e o rendimento "máximo" de madeira serrada (bloco + peças laterais) que se obtém de uma tora de *Pinus* sem casca com as seguintes dimensões: D_1 = 30cm ; D_2 = 27 cm; c = 2,40 m; b = 3 mm.

2. Para o exemplo anterior (Ex. 1) calcular o volume e o rendimento máximo (real) em madeira serrada (tábuas laterais e tábuas do bloco) que se pode obter da tora, considerando uma e_n = 22mm (para as tábuas do bloco). Calcular também o volume e o rendimento máximo em madeira serrada (tábuas) normalizada. Considere S_e= 5% da e_n e b = 3mm.

3. Calcular o diâmetro das toras para produzir 9 tábuas de *Pinus* normalizadas do bloco central, com as seguintes características: e_n = 32 mm; l_n = 200 mm; b = 5 mm; b = 3mm; c_n = 3,00m.

4. Calcular a quantidade (%) de serragem produzida no desdobro total de uma tora de *Pinus* sem casca, de acordo com o esquema abaixo. Considere: 4 cortes para obter o bloco máximo (2 cortes no 1º corte e 2º cortes no segundo corte); 7 cortes para obter as tábuas do bloco; 4 cortes "y" para obter 4 tábuas laterais; 8 cortes x' (espessura das tábuas laterais); a = h_c = 212,13mm; b = 3mm; D_1 = 35cm ; D_2 = 30 cm; c = 4,00m.

,