

PROCEDIMENTO PRÁTICO PARA CÁLCULO DE PRODUÇÃO DE LÂMINAS DE MADEIRA POR DESENROLAMENTO

LOURIVAL MARIN MENDES¹
CARLOS EDUARDO CAMARGO DE ALBUQUERQUE²
SETSUO IWAKIRI³

INTRODUÇÃO

O processamento mecânico da madeira remonta aos primórdios do ser humano, e seu desenvolvimento acompanhou a evolução da civilização humana, partindo dos primeiros instrumentos rudimentares, até chegar aos equipamentos computadorizados da atualidade (Albuquerque, 1995).

A laminação, por sua vez, não constitui uma invenção moderna. Esse processo produtivo de obtenção de lâminas de madeira iniciou-se no Antigo Egito, há cerca de 3000 anos a.C., e destinava-se à confecção de peças de mobiliário pertencentes aos reis e príncipes, em que madeiras valiosas, como o ébano, eram transformadas em lâminas (Albuquerque, 1996).

O setor florestal brasileiro, atualmente, contribui com cerca de 5% do PIB nacional. Todavia, essa participação é muito modesta diante das

1. Professor Assistente Departamento de Ciências Florestais da UNIVERSIDADE FEDERAL DE LAVRAS (UFLA), Caixa Postal 37, 37.200-000 – Lavras - MG e Doutorando em Engenharia Florestal/UFPR;

2. Professor Titular, DETF/UFPR.

3. Florestal/UFPR; Professor Titular, DETR/UFPR.

potencialidades do País. Portanto, é possível afirmar que o Brasil ainda é um gigante adormecido no setor florestal. Vale ressaltar que, considerando apenas a produção de celulose e papel, o Brasil conseguiu desenvolver a maior silvicultura de eucaliptos do mundo (Albuquerque, 1997).

A produção brasileira de painéis de madeira em 1996 foi aproximadamente 3,4 milhões de metros cúbicos, representando 2,2% da produção mundial, sendo que 50% dos painéis produzidos são do tipo compensado (Tomaselli e Delespinasse, 1997).

A indústria de compensados no Brasil produz, principalmente, compensados dos tipos multilaminados e sarrafeados e, em 1996, a produção brasileira desses painéis atingiu 1,67 milhões de m³. Além disso, existe uma projeção de produção, para o ano de 2001, que espera atingir a cifra de 1,85 milhões de m³ (Tomaselli e Delespinasse, 1997).

Não obstante, vale ressaltar que a indústria brasileira de laminação e de compensados encontra vários problemas, os quais dificultam uma produção de painéis de qualidade e, por conseguinte, influenciam negativamente quando na colocação desses produtos no exigente mercado internacional. Dentre os problemas enfrentados no setor de produção, que necessitam ser resolvidos, destaca-se o baixo nível tecnológico dos equipamentos empregados, associado com a elevada idade média destes e com a carência de técnicas modernas e especializadas.

A lâmina de madeira, segundo Iwakiri (1998), pode ser definida como um material produzido pela ação de corte, por meio de uma “faca específica”, variando de 0,13 mm até 6,35 mm de espessura. No entanto, as espessuras mais empregadas pela indústria de laminação nacional situa-se na faixa entre 1 e 4,5 mm.

O processo de obtenção de lâminas de boa qualidade se inicia desde a seleção de árvores na floresta, em termos de diâmetro e a forma do fuste. Ambos os parâmetros estão relacionados não só com a qualidade da lâmina, mas também com o seu rendimento (Sellers Jr, 1985).

Em determinado lote de toras pode-se obter lâminas de boa qualidade, se os seguintes fatores forem seguidos: 1) cuidados no manuseio e preparação das toras no que se refere a condições de armazenamento, conversão das toras e acondicionamento das toras para laminação; 2) critérios adequados quanto à seleção, preparação/ajuste, operação e manutenção dos equipamentos.

O principal uso de lâminas de madeira é como matéria-prima para a indústria de compensado, cujos painéis são destinados à construção civil, fabricação de móveis, pisos e embalagens. As lâminas são utilizadas também na fabricação de fósforos e suas embalagens, palitos para sorvetes, revestimentos de móveis e outras superfícies (Tsoumis, 1991).

O processo de laminação passa por algumas fases, tendo início na preparação das toras com o descascamento, seccionamento, aquecimento e,

posteriormente, seguem-se o desenrolamento da tora em lâminas, o transporte, a guilhotinagem e a secagem.

Nas figuras 1 e 2 podem ser visualizados o desenrolamento da tora e o transporte das lâminas. Nessa fase, o laminador prevê a produção de forma empírica, não tendo em mãos uma ferramenta que lhe permita uma prognose mais precisa em relação à quantidade de lâminas que será produzida.

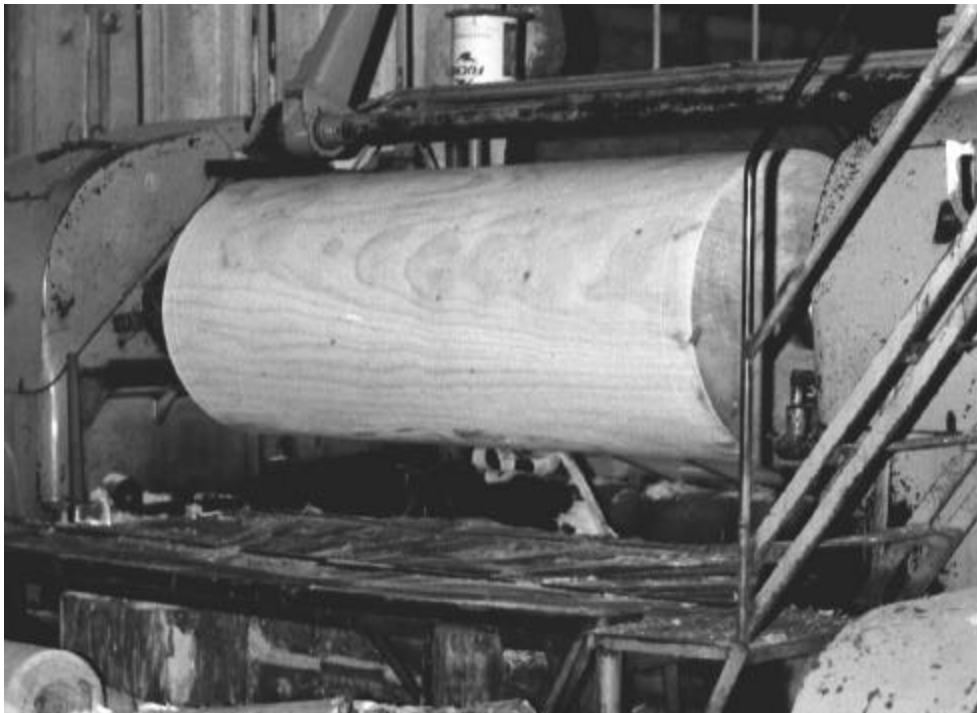


FIGURA 1 – Tora em início de laminação por desenrolamento.



FIGURA 2 – Lâmina em produção por processo de desenrolamento.

OBJETIVOS

Fornecer informações básicas ao laminador de como estimar a quantidade de lâminas que poderá ser produzida, considerando-se um volume determinado de toras. Portanto, o procedimento proposto visa a fornecer subsídios ao laminador, permitindo-lhe planejar, de maneira mais precisa, a sua produção e, conseqüentemente, a comercialização das mesmas.

METODOLOGIA DE CÁLCULO

Para o desenrolamento de uma tora por um torno, tem-se uma determinada situação (Figura 3) e, baseando-se na análise desta, definindo e quantificando partes ou regiões existentes, torna-se possível desenvolver um procedimento de cálculo, a fim de encontrar o volume de madeira laminável para qualquer tora.

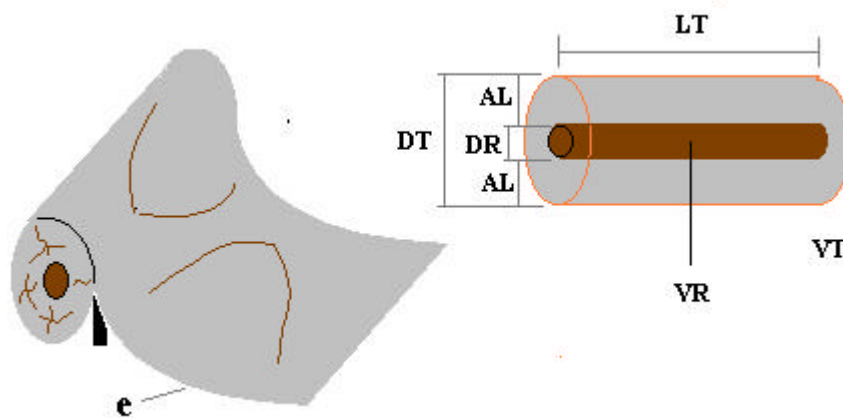


FIGURA 3 – Ilustração representativa de um desenrolamento de tora e suas principais partes mensuráveis:

A_L – altura diametral laminável;
 V_T – volume da tora;
 D_R – diâmetro do rolo resto;
 D_T – diâmetro da tora;
 V_R – volume do rolo resto;
 L_T – comprimento da tora;
 e – espessura da lâmina.

Para efeito de cálculo de volume de madeira laminável de uma tora, usa-se a equação:

$$V_L = V_T - V_R \quad (1)$$

Sendo: V_L - volume laminável;
 V_T - volume da tora;
 V_R - volume do rolo resto.

Considerando:

$$V_T = \frac{3,14 \times D_T}{4} \times L_T \quad (2)$$

$$V_R = \frac{3,14 \times D_R}{4} \times L_R$$

Como $L_T = L_R$, tem-se:

$$V_L = \left(3,14 \times \frac{D_T^2}{4} - 3,14 \times \frac{D_R^2}{4} \right) \times L_T \quad (3)$$

Portanto:

$$V_L = \frac{3,14}{4} (D_T^2 - D_R^2) \times L_T \quad (4)$$

Tomando-se por base esse volume calculado, pela equação (4), é possível calcular o comprimento da lâmina produzida, que possui uma largura equivalente ao comprimento da tora, considerando-se uma pré-definição da espessura da lâmina a ser produzida (Figura 4).

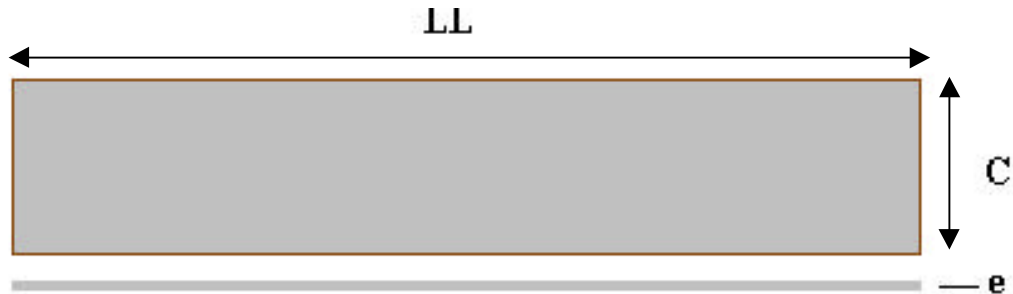


FIGURA 4 – Dimensões de uma lâmina produzida por torneamento de uma tora, sendo:

L_L –comprimento da lâmina;

C –largura da lâmina;

e –espessura da lâmina.

O volume de lâmina é calculado pela equação:

$$V_{lam} = L_L \times C \times e \quad (5)$$

Sendo: V_{lam} - volume de lâmina;
 L_L - comprimento da lâmina;
 C - largura da lâmina;
 e - espessura da lâmina.

Este volume é correspondente ao volume laminável, calculado na equação 4, portanto:

$$V_{lam} = V_L = L_L \times C \times e$$

Então:

$$L_L = \frac{V_L}{C \times e} \quad (6)$$

Substituindo, na equação 6, o valor V_L pela equação 4, teremos:

$$L_L = \frac{3,14(D_T^2 - D_R^2) \times L_T}{C \times e} \quad (7)$$

Como $C = L_T$, obtém-se:

$$L_L = \frac{3,14(D_T^2 - D_R^2)}{e} \quad (8)$$

Obtendo-se, finalmente, a equação 9:

$$\boxed{L_L = \frac{0,0785(D_T^2 - D_R^2)}{e}} \quad (9)$$

Sendo: L_L - comprimento da lâmina em metros;
 D_T - diâmetro da tora em centímetros;
 D_R - diâmetro do rolo resto em centímetros;
 e - espessura da lâmina em milímetros.

Por essa equação, torna-se possível calcular o comprimento da lâmina (L_L), produzida por laminação de uma tora, por meio de desenrolamento, após o arredondamento da tora em um cilindro (Figura 1), quando se inicia a laminação propriamente dita, até um determinado diâmetro do rolo resto.

Pelos Quadros 1 e 2 (em anexo) podem ser verificados os valores calculados, com aproximação matemática, para o comprimento total de lâmina possível de ser produzida, em metros, considerando-se rolo resto de 15 e de 20 cm, espessura de lâmina de 1,0 a 4,5 mm e diâmetro da tora de 30 a 100 cm.

(E) em milímetros e o diâmetro de toras (D) em centímetros considerando-se um rolo resto de 15 cm.

D/E	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
30	52.99	48.17	44.16	40.76	37.85	35.33	33.12	31.17	29.44	27.89	26.49	25.23
35	78.50	71.36	65.42	60.38	56.07	52.33	49.06	46.18	43.61	41.32	39.25	37.38
40	107.94	98.13	89.95	83.03	77.10	71.96	67.46	63.49	59.97	56.81	53.97	51.40
45	141.30	128.45	117.75	108.69	100.93	94.20	88.32	83.12	78.50	74.37	70.65	67.29
50	178.59	162.35	148.82	137.38	127.56	119.06	111.62	105.05	99.22	93.99	89.29	85.04
55	219.80	199.82	183.17	169.08	157.00	146.53	137.38	129.29	122.11	115.68	109.90	104.67
60	264.94	240.85	220.78	203.80	189.24	176.63	165.59	155.85	147.19	139.44	132.47	126.16
65	314.00	285.45	261.67	241.54	224.29	209.33	196.25	184.71	174.44	165.26	157.00	149.52
70	366.99	333.63	305.82	282.30	262.13	244.66	229.37	215.88	203.88	193.15	183.49	174.76
75	423.90	385.36	353.25	326.08	302.79	282.60	264.94	249.35	235.50	223.11	211.95	201.86
80	484.74	440.67	403.95	372.88	346.24	323.16	302.96	285.14	269.30	255.13	242.37	230.83
85	549.50	499.55	457.92	422.69	392.50	366.33	343.44	323.24	305.28	289.21	274.75	261.67
90	618.19	561.99	515.16	475.53	441.56	412.13	386.37	363.64	343.44	325.36	309.09	294.38
95	690.80	628.00	575.67	531.38	493.43	460.53	431.75	406.35	383.78	363.58	345.40	328.95
100	767.34	697.58	639.45	590.26	548.10	511.56	479.59	451.38	426.30	403.86	383.67	365.40

* Os valores tabelados tiveram aproximação por regra matemática

Continuação do Quadro 1

D/E	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3
30	24.09	23.04	22.08	21.20	20.38	19.63	18.92	18.27	17.66	17.09	16.56	16.06
35	35.68	34.13	32.71	31.40	30.19	29.07	28.04	27.07	26.17	25.32	24.53	23.79
40	49.06	46.93	44.97	43.18	41.51	39.98	38.55	37.22	35.98	34.82	33.73	32.71
45	64.23	61.43	58.88	56.52	54.35	52.33	50.46	48.72	47.10	45.58	44.16	42.82
50	81.18	77.65	74.41	71.44	68.69	66.14	63.78	61.58	59.53	57.61	55.81	54.12
55	99.91	95.57	91.58	87.92	84.54	81.41	78.50	75.79	73.27	70.90	68.69	66.61
60	120.43	115.19	110.39	105.98	101.90	98.13	94.62	91.36	88.31	85.46	82.79	80.28
65	142.73	136.52	130.83	125.60	120.77	116.30	112.14	108.28	104.67	101.29	98.13	95.15
70	166.81	159.56	152.91	146.80	141.15	135.92	131.07	126.55	122.33	118.38	114.68	111.21
75	192.68	184.30	176.63	169.56	163.04	157.00	151.39	146.17	141.30	136.74	132.47	128.45
80	220.34	210.76	201.97	193.90	186.44	179.53	173.12	167.15	161.58	156.37	151.48	146.89
85	249.77	238.91	228.96	219.80	211.35	203.52	196.25	189.48	183.17	177.26	171.72	166.52
90	280.99	268.78	257.58	247.28	237.76	228.96	220.78	213.17	206.06	199.42	193.18	187.33
95	314.00	300.35	287.83	276.32	265.69	255.85	246.71	238.21	230.27	222.84	215.88	209.33
100	348.79	333.63	319.72	306.94	295.13	284.20	274.05	264.60	255.78	247.53	239.79	232.53

* Os valores tabelados tiveram aproximação por regra matemática

D/E	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
30	15.58	15.14	14.72	14.32	13.94	13.59	13.25	12.92	12.62	12.32	12.04	11.78
35	23.09	22.43	21.81	21.22	20.66	20.13	19.63	19.15	18.69	18.26	17.84	17.44
40	31.75	30.84	29.98	29.17	28.40	27.68	26.98	26.33	25.70	25.10	24.53	23.99
45	41.56	40.37	39.25	38.19	37.18	36.23	35.33	34.46	33.64	32.86	32.11	31.40
50	52.53	51.03	49.61	48.27	47.00	45.79	44.65	43.56	42.52	41.53	40.59	39.69
55	64.65	62.80	61.06	59.41	57.84	56.36	54.95	53.61	52.33	51.12	49.95	48.84
60	77.92	75.70	73.59	71.60	69.72	67.93	66.23	64.62	63.08	61.61	60.21	58.88
65	92.35	89.71	87.22	84.86	82.63	80.51	78.50	76.59	74.76	73.02	71.36	69.78
70	107.94	104.85	101.94	99.19	96.58	94.10	91.75	89.51	87.38	85.35	83.41	81.55
75	124.68	121.11	117.75	114.57	111.55	108.69	105.98	103.39	100.93	98.58	96.34	94.20
80	142.57	138.50	134.65	131.01	127.56	124.29	121.18	118.23	115.41	112.73	110.17	107.72
85	161.62	157.00	152.64	148.51	144.61	140.90	137.38	134.02	130.83	127.79	124.89	122.11
90	181.82	176.63	171.72	167.08	162.68	158.51	154.55	150.78	147.19	143.76	140.50	137.38
95	203.18	197.37	191.89	186.70	181.79	177.13	172.70	168.49	164.48	160.65	157.00	153.51
100	225.69	219.24	213.15	207.39	201.93	196.75	191.83	187.16	182.70	178.45	174.39	170.52

* Os valores tabelados tiveram aproximação por regra matemática.

QUADRO 2 - Valores* de comprimento de lâminas em metros, conforme sua espessura (E) em milímetros e o diâmetro de toras (D) em centímetros, considerando-se um rolo resto de 20 cm

D/E	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
30	39.25	35.68	32.71	30.19	28.04	26.17	24.53	23.09	21.81	20.66	19.63	18.69
35	64.76	58.88	53.97	49.82	46.26	43.18	40.48	38.10	35.98	34.09	32.38	30.84
40	94.20	85.64	78.50	72.46	67.29	62.80	58.88	55.41	52.33	49.58	47.10	44.86
45	127.56	115.97	106.30	98.13	91.12	85.04	79.73	75.04	70.87	67.14	63.78	60.74
50	164.85	149.86	137.38	126.81	117.75	109.90	103.03	96.97	91.58	86.76	82.43	78.50
55	206.06	187.33	171.72	158.51	147.19	137.38	128.79	121.21	114.48	108.45	103.03	98.13
60	251.20	228.36	209.33	193.23	179.43	167.47	157.00	147.76	139.56	132.21	125.60	119.62
65	300.26	272.97	250.22	230.97	214.47	200.17	187.66	176.62	166.81	158.03	150.13	142.98
70	353.25	321.14	294.38	271.73	252.32	235.50	220.78	207.79	196.25	185.92	176.62	168.21
75	410.16	372.88	341.80	315.51	292.97	273.44	256.35	241.27	227.87	215.88	205.08	195.32
80	471.00	428.18	392.50	362.31	336.43	314.00	294.38	277.06	261.67	247.89	235.50	224.29
85	535.76	487.06	446.47	412.13	382.69	357.18	334.85	315.15	297.65	281.98	267.88	255.13
90	604.45	549.50	503.71	464.96	431.75	402.97	377.78	355.56	335.81	318.13	302.23	287.83
95	677.06	615.51	564.22	520.82	483.62	451.38	423.16	398.27	376.15	356.35	338.53	322.41
100	753.60	685.09	628.00	579.69	538.29	502.40	471.00	443.29	418.67	396.63	376.80	358.86

* Os valores tabelados tiveram aproximação por regra matemática.

DE	2.2	2.3	2.4	2.5	2.6	2.7	2.8	2.9	3.0	3.1	3.2	3.3
30	17.84	17.07	16.35	15.70	15.10	14.54	14.02	13.53	13.08	12.66	12.27	11.89
35	29.44	28.16	26.98	25.91	24.91	23.99	23.13	22.33	21.59	20.89	20.24	19.63
40	42.82	40.96	39.25	37.68	36.23	34.89	33.64	32.48	31.40	30.39	29.44	28.55
45	57.98	55.46	53.15	51.03	49.06	47.25	45.56	43.99	42.52	41.15	39.86	38.66
50	74.93	71.67	68.69	65.94	63.40	61.06	58.88	56.84	54.95	53.18	51.52	49.95
55	93.66	89.59	85.86	82.43	79.25	76.32	73.59	71.06	68.69	66.47	64.39	62.44
60	114.18	109.22	104.67	100.48	96.62	93.04	89.71	86.62	83.73	81.03	78.50	76.12
65	136.48	130.55	125.11	120.11	115.49	111.21	107.24	103.54	100.09	96.86	93.83	90.99
70	160.57	153.59	147.19	141.30	135.87	130.83	126.16	121.81	117.75	113.95	110.39	107.05
75	186.44	178.33	170.90	164.07	157.75	151.91	146.49	141.44	136.72	132.31	128.18	124.29
80	214.09	204.78	196.25	188.40	181.15	174.44	168.21	162.41	157.00	151.94	147.19	142.73
85	243.53	232.94	223.23	214.31	206.06	198.43	191.34	184.75	178.59	172.83	167.43	162.35
90	274.75	362.80	251.85	241.78	232.48	223.87	215.87	208.43	201.48	194.98	188.89	183.17
95	307.76	294.38	282.11	270.83	260.41	250.76	241.81	233.47	225.69	218.41	211.58	205.17
100	342.55	327.65	314.00	301.44	289.85	279.11	269.14	259.86	251.20	243.10	235.50	228.36

* Os valores tabelados tiveram aproximação por regra matemática.

Continuação do Quadro 2

D/E	3.4	3.5	3.6	3.7	3.8	3.9	4.0	4.1	4.2	4.3	4.4	4.5
30	11.54	11.21	10.90	10.61	10.33	10.06	9.81	9.57	9.35	9.13	8.92	8.72
35	19.05	18.50	17.99	17.50	17.04	16.61	16.19	15.80	15.42	15.06	14.72	14.39
40	27.71	26.91	26.17	25.46	24.79	24.15	23.55	22.98	22.43	21.91	21.41	20.93
45	37.52	36.45	35.43	34.48	33.57	32.71	31.89	31.11	30.37	29.67	28.99	28.35
50	48.49	47.10	45.79	44.55	43.38	42.27	41.21	40.21	39.25	38.34	37.47	36.63
55	60.61	58.88	57.24	55.69	54.23	52.84	51.52	50.26	49.06	47.92	46.83	45.79
60	73.88	71.77	69.78	67.89	66.11	64.41	62.80	61.27	59.81	58.42	57.09	55.82
65	88.31	85.79	83.41	81.15	79.02	76.99	75.07	73.23	71.49	69.83	68.24	66.73
70	103.90	100.93	98.12	95.47	92.96	90.58	88.31	86.16	84.11	82.15	80.28	78.50
75	120.64	117.19	113.93	110.85	107.94	105.17	102.54	100.04	97.66	95.39	93.22	91.15
80	138.53	134.57	130.83	127.30	123.95	120.77	117.75	114.88	112.14	109.53	107.05	104.67
85	157.58	153.08	148.82	144.80	140.99	137.38	133.94	130.67	127.56	124.60	121.76	119.06
90	177.78	172.70	167.90	163.36	159.07	154.99	151.11	147.43	143.92	140.57	137.38	134.32
95	199.14	193.45	188.07	182.99	178.17	173.61	169.27	165.14	161.21	157.46	153.88	150.46
100	221.65	215.31	209.33	203.68	198.32	193.23	188.40	183.80	179.43	175.26	171.27	167.47

* Os valores tabelados tiveram aproximação por regra matemática.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Por esse procedimento de cálculo, uma laminadora pode quantificar com maior precisão sua produção de lâminas, assim como as suas perdas, possibilitando, por conseguinte, um melhor planejamento e controle da produção.

Outrossim, essa metodologia de cálculo permite ao laminador a possibilidade de montar quadros quantificadores de produção de lâminas de acordo com suas necessidades e características da matéria-prima, pois no método proposto pode-se utilizar quaisquer valores em diâmetros de tora e rolo resto.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Processamento mecânico da madeira na evolução humana. **Revista da Madeira**, Caxias do Sul, v. 4, n.23, p.36-37, jul./ago. 1995.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Laminação: da madeira dos sarcófagos à moderna indústria. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.5, n.29, p.38-40, 1996.

ALBUQUERQUE, C. E. C. de. Setor florestal brasileiro: um gigante ainda adormecido. **Revista da Madeira**, Curitiba, v.6, n.32, p.42, 1997.

- BALDWIN, R.F. **Plywood Manufacturing Practices**. San Francisco: Miller Freeman. 1981. 326p.
- IWAKIRI, S. **Painéis de madeira**. Curitiba: FUPEF, 1998. 128p. (Serie Didática, 1)
- SELLERS JR, T. **Plywood and Adhesive Technology**. New york: Marcel Dekker, 1985. 661p.
- TOMASELLI, I.; DESLESPINASSE, B. A indústria de painéis no Brasil. **Informativo STCP**, Curitiba, v.1, n.1, p.16-20, 1997.
- TSOUMIS, G. **Science and Technology of Wood – Structure, Properties, Utilization**. New York: Chapman & Hall, 1991. 494p.
-