

MÉTODOS PARA DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE BÁSICA DE CAVACOS PARA CONÍFERAS E FOLHOSAS

Celso Edmundo Bochetti Foelkel^(*)
Maria Aparecida Mourão Brasil^(*)
Luiz Ernesto George Barrichelo^(**)

1 - INTRODUÇÃO

A densidade da madeira é uma característica complexa resultante da combinação de diversos fatores. Existem inúmeros trabalhos mostrando sua relação com as dimensões das fibras, particularmente espessura da parede, volume dos vasos e parênquimas, proporção entre madeira primaveril e outonal, e arranjo dos elementos anatômicos. Este assunto tem sido intensivamente estudado para as coníferas, porém para as folhosas as informações disponíveis se restringem a poucas contribuições.

A densidade é um importante fator na determinação das propriedades físicas e mecânicas que caracterizam diferentes espécies de madeiras, diferentes árvores de uma dada espécie e diferentes regiões de uma mesma árvore.

Para a indústria de celulose e papel a densidade deve ser encarada sob os aspectos seguintes:

- a) A madeira é usualmente comprada em volume e no processamento é desejável conhecer seu peso seco para o adequado controle das operações industriais.
- b) É um importante fator a ser considerado na produção de celulose obtida de uma determinada madeira tanto em termos de rendimento por digestor individual quanto em termos de rendimento por unidade de volume.
- c) Sua uniformidade dentro de uma dada madeira é desejável para a obtenção de um produto final padronizado.
- d) A velocidade de impregnação da madeira pelo licor de cozimento e consequente ritmo de deslignificação são influenciados pela densidade, sendo de se esperar que, dentro de uma mesma espécie, madeiras menos densas sejam mais facilmente deslignificadas.
- e) Entre as coníferas tem-se observado uma relação inversa entre a densidade da madeira e o tempo de refinação da celulose para se atingir um determinado grau de moagem. Uma relação direta tem sido verificada para as folhosas.
- f) Com respeito às propriedades físico-mecânicas da celulose obtida de coníferas tem-se observado uma relação direta entre a densidade e resistência ao rasgo e relação inversa para resistência à ruptura, ao arrebentamento e peso específico aparente.

Dentre as várias maneiras de se expressar a densidade da madeira, uma das mais práticas, vem a ser a densidade básica que é a relação entre o peso absolutamente seco da

^(*) Engenheiros Agrônomos - Bolsistas de Aperfeiçoamento da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo, junto ao Departamento de Silvicultura.

^(**) Professor Assistente Doutor do Departamento de Silvicultura Secção de Tecnologia de Celulose e Papel.

madeira, em gramas ou toneladas, e seu volume, respectivamente em centímetros cúbicos ou metros cúbicos, quando em estado de completa saturação de água.

Os processos clássicos para a determinação da densidade básica da madeira preconizados por FERREIRA (1968) são aplicáveis quando se dispõe de amostras nas formas de secções transversais do tronco ou baguetas obtidas através das sondas de Pressler.

Nas indústrias de celulose, onde a madeira é transformada em cavacos e a amostragem para controle da matéria-prima é feita nos mesmos, pode-se lançar mão de adaptações dos métodos clássicos entre os quais o da Balança Hidrostática e do Máximo Teor de Umidade da madeira.

O presente trabalho teve por finalidade o estudo de dois métodos de determinação da densidade básica de cavacos das espécies de coníferas e folhosas mais difundidas entre nós.

2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Atualmente considerável atenção tem sido dada a métodos de determinação da densidade básica utilizando-se pequenas amostras de madeira, sendo mais usuais os gravimétricos.

A Technical Association of Pulp and Paper Industry (TAPPI) através de seu Forest Biology Sub-Committee n.º 2 (1963) apresenta uma revisão completa dos métodos disponíveis. PHILLIPS (1965) considerando a necessidade de se ter métodos padronizados sugere o emprêgo da densidade básica obtida através de gravimetria.

Segundo SCARAMUZZI (1966), os métodos que utilizam deslocamento de líquidos são amplamente empregados baseando-se em trabalhos de Vintila, Kollmann, Bethel e Hanar, Henning, Ollinmaa, Smith, Larson, Ericson, Zobel e colaboradores, Richardson e Dinwoodie, Holz e Plickat, Goggans, Wedel e Polge.

Baseando-se na relação entre a densidade básica e o máximo teor de umidade da madeira, KEYL WERTH (1954) desenvolveu um método que posteriormente foi empregado com sucesso por diversos autores entre os quais SMITH (1954), SMITH (1955) e SCARAMUZZI (1966).

Usando-se este método são necessárias somente duas pesagens, uma com a amostra completamente saturada de água e outra com a amostra seca em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até peso constante. As únicas possibilidades de erro, segundo STAMM (1964), seriam assumir a densidade da «substância madeira» como constante ($1,53 \text{ g/cm}^3$) quando a mesma varia entre $1,50$ e $1,55 \text{ g/cm}^3$ e a dificuldade de se conseguir completa saturação da amostra com água em certos casos.

VINTILA (1939) afirma a possibilidade de se atingir a saturação máxima trabalhando-se com amostras de volume entre 200 e 1.000 milímetros cúbicos. SMITH (1955) destaca, que no ponto de vista prático, o Método de Máximo Teor de Umidade é inteiramente satisfatório quando o volume das amostras varia de 100 a 1.600 milímetros cúbicos.

Numa comparação entre vários métodos de determinação de densidade básica, SCARAMUZZI já citado, concluiu que o Método do Máximo Teor de Umidade era o que menor desvio dava em relação ao da imersão em água, além de ser o mais rápido e de mais fácil execução.

Para o caso específico da determinação da densidade básica da madeira na forma de cavacos há um método proposto pelo U.S. Forest Products Laboratory (SMITH, 1961) que consiste numa modificação da norma TAPPI T18 m-63 (Procedimento II).

O método é gravimétrico (Método da Balança Hidrostática) e se baseia no deslocamento da água quando a amostra é imersa na mesma.

Para a determinação da densidade básica os cavacos são envolvidos por um tecido grosseiro de algodão (saco de pano) e a seqüência de operações é a seguinte:

- (1) Pêso do saco quando submerso em água com o auxílio de contrapesos.
- (2) Pêso ao ar do saco saturado e contrapesos.
- (3) Pêso seco em estufa do saco e contrapesos.
- (4) Pêso imerso do saco, contrapesos e cavacos.
- (5) Pêso ao ar do saco, contrapesos e cavacos saturados.
- (6) Pêso seco em estufa do saco, contrapesos e cavacos.

A densidade básica é calculada pela seguinte fórmula:

$$ds = \frac{(6) - (3)}{[(5) - (2)] - [(4) - (1)]}$$

Segundo o autor citado as possíveis fontes de êrro estão relacionadas com a área superficial envolvida. A determinação do peso ao ar poderá ser afetada pela água em excesso na mesma e o peso imerso pelas bôlhas de ar a ela aderidas.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Material

O material estudado foi proveniente de madeiras de folhosas e coníferas transformadas industrialmente em cavacos.

As folhosas empregadas foram **Eucalyptus salgina**, **E. alba**, **E. grandis** e **E. propinqua**, com cinco anos de idade, plantadas na região de Itupeva (SP).

As coníferas foram: **Pinus elliottii**, de oito anos de idade, **P. taeda** com onze anos e **Araucaria angustifolia** provenientes de Lages (SC) e **P. caribaea** var. **hondurensis** com oito anos, proveniente de Mogi Guaçu (SP).

3.2 Métodos

De cada lote de cavacos secos ao ar foram retiradas cinco amostras.

Cada amostra pesando cerca de 25 g. devidamente identificada, foi imersa em água destilada.

Para acelerar a penetração da água utilizou-se vácuo (125 mm Hg) intermitentemente durante cinco dias. Em seguida as amostras foram mantidas em água até saturação completa o que foi constatado por pesagens sucessivas.

A determinação da densidade básica foi feita pelos métodos a saber:

3.2.1 Método do Máximo Teor de Umidade

Considerando que:

P_m = peso do ar dos cavacos saturados após a remoção, com papel absorvente, da água superficial.

P_{as} = peso absolutamente seco dos cavacos, conseguido através da secagem em estufa a $105 \pm 3^\circ\text{C}$ até peso constante.

G_s = densidade da «substância madeira».

A densidade básica (d_b) é dada pela expressão.

$$d_b = \frac{\frac{1}{P_m - P_{as}} + \frac{1}{G_s}}{\frac{1}{P_{as}}}$$

Admitindo-se que a densidade média da «substância madeira» é $1,53 \text{ g/cm}^3$ a expressão ficará:

$$d_b = \frac{1}{\frac{P_m}{P_{as}} - 0,346}$$

Os resultados foram expressos em g/cm^3 .

3.2.2 - Método da Balança hidrostática

As amostras completamente saturadas foram transferidas para uma sacola de polietileno de malhas com 1,25 cm de abertura e com volume previamente determinado.

Considerando que:

P_t = peso ao ar do conjunto (sacola mais cavacos) saturado e livre de água superficial.

P_i = peso imerso do conjunto.

P_{as} = peso absolutamente seco dos cavacos.

V_s = volume da sacola a 25°C .

d_a = densidade da água a 25°C .

O volume dos cavacos (V_c) é dado pela expressão:

$$V_c = \frac{(P_t - P_i)}{d_a} - V_s$$

E a densidade básica (d_b) será:

$$d_b = \frac{P_{as}}{V_c}$$

Os resultados foram expressos em g/cm³.

4. RESULTADOS

Os valores obtidos para densidade básica nas cinco repetições para cada espécie ensaiada, pelos métodos do Máximo Teor de Umidade e da Balança Hidrostática constam respectivamente, nos Quadros I e II. As determinações para ambos os métodos foram realizadas nas mesmas amostras.

QUADRO I - Valores da densidade básica dos cavacos, em g/cm³ - Método do Máximo Teor de Umidade

Espécies	REPETIÇÕES					Médias
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	
Araucaria angustifolia	0,405	0,423	0,405	0,439	0,429	0,420
Pinus elliottii	0,307	0,324	0,322	0,309	0,320	0,316
P. taeda	0,349	0,352	0,344	0,352	0,338	0,347
P. caribaea v. hondurensis	0,333	0,357	0,371	0,332	0,380	0,355
Eucalyptus alba	0,523	0,531	0,544	0,542	0,545	0,537
E. saligna	0,469	0,457	0,462	0,451	0,463	0,460
E. grandis	0,470	0,448	0,459	0,449	0,465	0,458
E. propinqua	0,545	0,559	0,559	0,550	0,550	0,553

QUADRO II - Valores da densidade básica dos cavacos, em g/cm³ - Método da Balança Hidrostática.

Espécies	REPETIÇÕES					Médias
	1 ^a	2 ^a	3 ^a	4 ^a	5 ^a	
Araucaria angustifolia	0,407	0,426	0,404	0,446	0,434	0,423
Pinus elliottii	0,306	0,325	0,322	0,309	0,317	0,316
P. taeda	0,350	0,349	0,345	0,352	0,338	0,347
P. caribaea v. hondurensis	0,335	0,359	0,373	0,334	0,383	0,357
Eucalyptus alba	0,527	0,535	0,550	0,542	0,537	0,538
E. saligna	0,473	0,457	0,464	0,449	0,464	0,461
E. grandis	0,470	0,447	0,462	0,452	0,466	0,459
E. propinqua	0,544	0,559	0,562	0,551	0,554	0,554

QUADRO III - Análise de variância

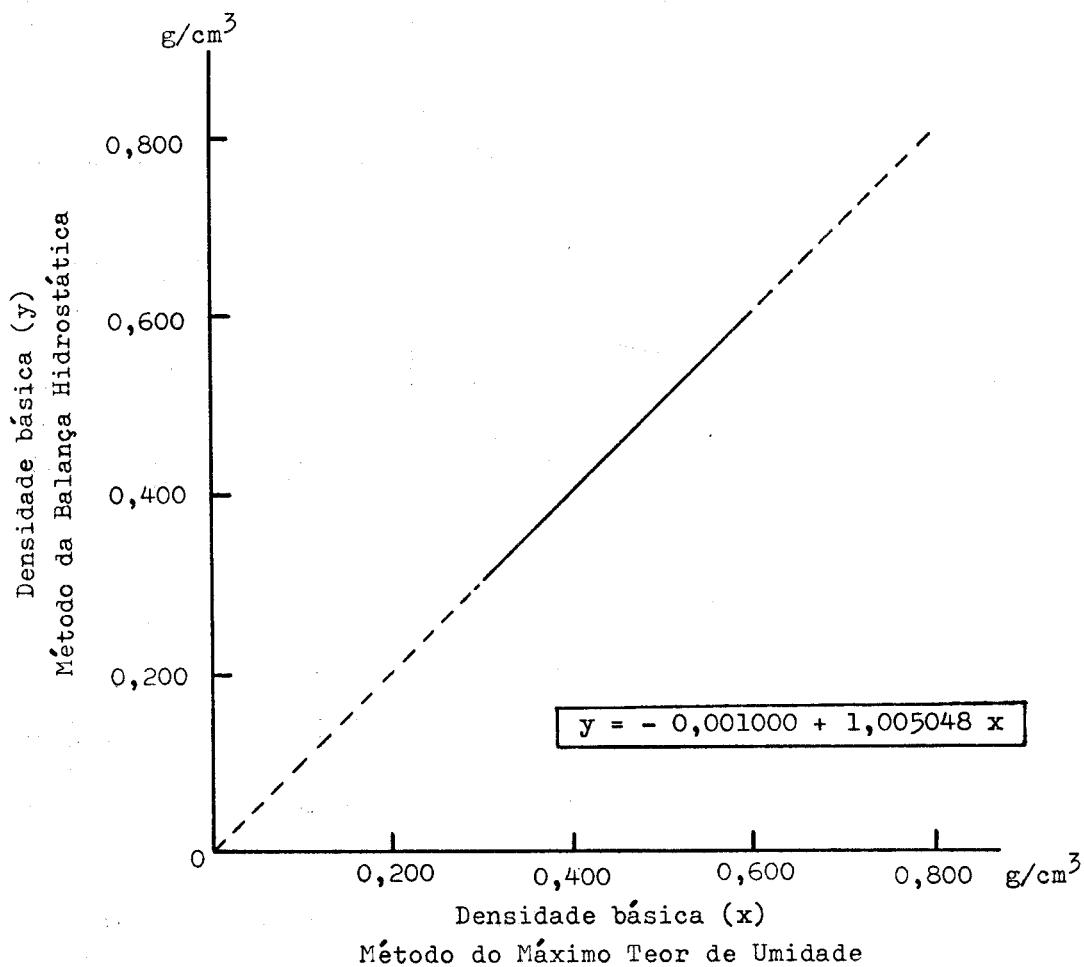
Causas de variação	G. L.	Q. M.	F
Métodos	1	0,000031	0,22
Espécie	7	0,077166	543,42***
Interação	7	0,000003	0,02
(tratamentos)	(15)	0,036014	253,36***
Resíduo	64	0,000142	
Total	79		

*** - significativo ao nível de 0,01% de probabilidade Coeficiente de Variação = 2,8%

A fim de se verificar a equivalência de ambos os métodos foi estabelecida, a partir dos dados obtidos, uma equação de regressão cuja representação gráfica é mostrada na Figura 1.

FIGURA 1 - Comparação gráfica dos valores da densidade básica obtidos pelos métodos estudados

Figura 1 - Comparação gráfica dos valores da densidade básica obtidos pelos métodos estudados



5 - DISCUSSÃO DOS RESULTADOS

O Quadro II mostra que não foi constatada diferença entre os métodos empregados. Tal fato confirma as observações de SCARAMUZZI (1966) que todavia trabalhou com uma única espécie híbrida de *Populus* (*Populus x euramericana*).

Como era de se esperar observou-se um significativo efeito das espécies sobre a densidade tendo as coníferas apresentados valores inferiores o que é relatado por diversos autores entre os quais BROWN e COLABORADORES (1952), CASEY (1960) e RYDHOLM (1965).

O fato da interação não ter sido significativa indica um comportamento idêntico dos métodos para as oito espécies ensaiadas.

A precisão do experimento é evidenciada pelo baixo coeficiente de variação encontrado.

Pode-se inferir através dos Quadros I e II que pequenas diferenças foram encontradas entre os métodos para cada par de valores de uma mesma amostra.

A amplitude máxima de variação foi da ordem de 0,008 g/cm³. A distribuição das variações ocorridas entre os 40 pares de valores é mostrada a seguir:

Amplitude de variação (g/cm ³)	n.º pares
0,008.....	1
0,007.....	1
0,006.....	1
0,005.....	1
0,004.....	4
0,003.....	7
0,002.....	7
0,001.....	10
0,000.....	8
Total.....	40

Através da Figura 1 observa-se perfeita justaposição entre a curva de coincidência teórica de 459 e a curva obtida a partir da equação de regressão, o que reforça a verificação de que ambos os métodos conduzem a mesmo resultado.

6 - RESUMO E CONCLUSÕES

Para a determinação da densidade básica da madeira transformada em cavacos foi realizado um estudo comparativo entre os métodos do Máximo Teor de Umidade e da Balança Hidrostática. Foram utilizados cavacos obtidos industrialmente de madeira de oito espécies entre coníferas e folhosas a saber: ***Araucaria angustifolia*, *Pinus elliottii*, *P. taeda*, *P. caribaea* var. *hondurensis*, *Eucalyptus saligna*, *E. alba*, *E. grandis* e *E. propinqua***.

Os resultados obtidos foram analisados estatisticamente e estabelecida uma equação de regressão entre os métodos.

Da discussão dos resultados e dos itens anteriores podem ser tiradas as seguintes conclusões e observações:

1) Não foi constatada diferença estatisticamente significativa entre os métodos empregados. Assim sendo, a utilização de um e outro dependerá sobremaneira da disponibilidade do equipamento necessário.

2) A equação de regressão obtida cuja curva se justapõe com a curva de coincidência de 459 foi igual a:

$$y = -0,001000 + 1,005048 \cdot x$$

onde

y = densidade básica (Método da Balança Hidrostática)

x = densidade básica (Método do Máximo Teor de Umidade).

3) Os dois métodos por sua precisão e simplicidade seguramente preenchem os requisitos exigidos para os trabalhos de rotina da indústria de celulose e trabalhos de pesquisa científica, não necessitando de operadores altamente especializados.

4) O Método do Máximo Teor de Umidade, pela facilidade de execução pode ser empregado para determinação em larga escala. Porém, deve ser tomado um especial cuidado no controle da absorção da água pelas amostras e nesse particular, o método da Balança Hidrostática é menos rigoroso.

5) O uso de contrapesos (taras) é recomendado quando o peso da sacola mais cavacos é menor que o empuxo produzido pelo deslocamento da água. Neste caso o volume dos cavacos (V_c) deve ser calculado pela expressão seguinte:

$$V_c = \frac{(P_t - P_i)}{d_a} - V_s - V_t$$

onde:

P_t = peso ao ar do conjunto (sacola, cavacos e tara) saturado e livre de água superficial

P_i = peso imerso do conjunto.

V_s = volume da sacola.

V_t = volume da tara.

d_a = densidade da água na temperatura do ensaio.

6) Para simplificar o Método da balança Hidrostática em trabalhos de rotina pode-se admitir a densidade da água à temperatura ambiente como sendo igual a 1 g/cm³ o que não altera sensivelmente os resultados.

7) Os cavacos convencionais produzidos industrialmente e que foram utilizados apresentaram dimensões cujos volumes estavam de acordo com o preconizado por VINTILA (1939) e SMITH (1955).

8) Para os cavacos das oito espécies ensaiadas os métodos se comportaram de maneira idêntica. É de se esperar que o mesmo ocorra para outras espécies, porém, recomendam-se maiores verificações para se generalizar tal conclusão.

7 - SUMMARY AND CONCLUSIONS

A comparison was made between the Maximum Moisture Content Method and the Water Displacement Method for the determination of the basic density of industrial chips. Pulpwood chips, obtained from eight hardwood and softwood species, were used including the following: **Araucaria angostifolia**, **Pinus elliottii**, **P. taeda**, **P. caribaea** var. **hondurensis**, **Eucalyptus saligna**, **E. alba**, **E. grandis**, and **E. propinqua**.

The data were statistically analyzed, and an equation relating both methods was established.

The following conclusions and observations can be drawn from the discussion of results:

- 1) No differences were found between the two methods. Either one may be used depending on the availability of equipment.
- 2) The following equation which relates the methods used was obtained:

$$y = -0.001000 + 1.005048 x$$

Where:

y = basic density (Water Displacement Method)

x = basic density (Maximum Moisture Content Method).

3) Both methods were simple and accurate; therefore they could be used for routine works by the pulp industry or for scientific research.

4) The great simplicity and speed of the Maximum Moisture Content Method makes it particularly suitable for large scale accurate measurements. However, special care must be taken during the period water absorption by chips, because the method requires complete saturation.

In a way, the Water Displacement Method proved less rigid.

5) The use of counterweights is advised when the weight of bag plus the weight of chips is smaller than the weight of the water displaced by those objects. The volume of the chips (V_c) should be calculated based on the following equation:

$$V_c = \frac{(P_t - P_i)}{d_a} - V_s - V_t$$

where

P_t = weight in air of the saturated bag and counterweights, plus wood chips, and free of superficial water .

P_i = weight of the bag and counterweights, plus wood chips when saturated and held submerged in water.

V_s = volume of the bag

V_t = volume of the counterweights

d_a = water density at the temperature of experiment

6) The results obtained were not changed when the density of water was assumed as 1 g/cm³.

7) The conventional industrial chips which were used for this work, had volumes similar to those recognized by VINTILA (1934) and SMITH (1955).

8) The behavior of the two methods was similar for the pulpwood chips of the eight species assayed. It is hoped that the same will occur for other species, but more research is suggested for a generalization.

8 - BIBLIOGRAFIA

BROWN, H. P., A. J. PANSHIN, C. C. FORSAITH -1952. Textbook of Wood Technology. Vol. II. McGraw-Hill Book Company, Inc., N. Y. 783 p.

CASEY, J. P. - 1960. Pulp and Paper. Chemistry and Chemical Technology. Vol. I. Interscience Publishers, Inc., N. Y. 580 p.

FERREIRA, M. - 1968. Estudo da variação da densidade básica da madeira de **Eucalyptus alba** Reinw e **Eucalyptus saligna** Smith. Tese de doutoramento, ESALQ-USP. Piracicaba.

KEYWERTH, R. - 1954. A Contribution to Qualitative Growth Analysis. Holz Roh-u Werkstoff. Vol. 12(3): 77-83.

PHILLIPS, E. W. J. - 1965. Methods and Equipment for Determining the Specific Gravity of Wood. Proceedings of I.U.F.R.O. Vol. 2. 14 p.

RYDHOLM, S. A. - 1965. Pulping Processes - Interscience Publishers, Inc., N. Y. 1269 p.

SCARAMUZZI, G. - 1966. A Comparison of Some Methods for Determining the Basic Density of Increment Cores of Euramerican Poplar Hybrids. Proceedings of Sixth World Forestry Congress. Vol. III: 3454-3459.

SMITH, D. M. -1954. Maximum Moisture Content Method for Determining Specific Gravity of Small Wood Samples. U.S. Forest Products Laboratory Report n.^o 2014 8 p.

- 1955. A Comparison of Two Methods for Determining the Specific Gravity of Small Samples of Second Growth Douglas-Fir. U. S. Forest Products Laboratory. Report n.^o 2033. 21 p.

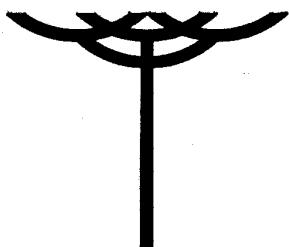
- 1961. Method of Determining Specific Gravity of Small Wood Chips. U. S. Forest Products Laboratory. Report n.^o 2209. 10 p.

STAMM, A. J. - 1964. Wood and Cellulose Science. The Ronald Press Company, N. Y. 549 p.

TAPPI - 1968. Testing Methods and Recommended Practices. 2 Vol. The Tech. Assoc. of Pulp and Paper Ind. N. Y.

TAPPI FOREST BIOLOGY SUB-COMMITTEE n.º 2- 1963. Existing Methods of Value for Small Sample Measurement of Wood and Fiber Properties. TAPPI 46(6): 150A-156A.

VINTILA, E. - 1939. Untersuchungen Über Raumgewicht und Schwindmasse von Frühund Spatholz Bei Nadelholzern. Holz als Roh-und Werkstoff. Vol. 2(1): 345-357.



Papel e Celulose Catarinense S.A.

Papel e Celulose Catarinense S. A., uma indústria integrada de celulose e de papel, planejada e operada exclusivamente para produção de papéis kraft, produto de alta resistência fabricado de matéria-prima de fibra longa. Situada no Planalto Catarinense, utiliza-se essencialmente de pinheiros nativos e de «Pinus» oriundos de reflorestamento. São 1.000 metros cúbicos, por dia, de pinho, sob a forma de toras e sobras de serrarias.

Objetivando o seu contínuo e crescente abastecimento de matérias-primas fibrosas, a Empréesa executa não só reflorestamentos próprios, como também, registrada no IBDF sob o n.º 46, elabora, planeja e executa reflorestamentos para terceiros, com recursos atenuantes do impôsto de renda.

PAPEL E CELULOSE CATARINENSE S. A.

R. Líbero Badaró, 471 — São Paulo — Fones: 32-2392 — 37-8284
— Vendas: 34-3471 — Telex: 021-197 — Teleg Celucat. - S. Paulo
Fábrica: Distrito de Correia Pinto, Município de Lages — Estado
de Santa Catarina

**EXISTEM CHAPAS DURAS
MAIS FORTES E MENOS FORTES.**



DURATEX
 **É MAIS.**