

DETERMINAÇÃO DA DENSIDADE DE MADEIRAS POR ATENUAÇÃO DE RADIAÇÃO GAMA DE BAIXA ENERGIA

Epaminondas Sansigolo de Barros Ferraz^(*)

O. D. C. 812.31:U539.16

SUMMARY

The present paper presents a refinement of the gamma radiation attenuation technique for the study of wood bulk density. Emphasis is given to the use of a low energy gamma beam and, for the case of a ^{241}Am source, data of attenuation coefficients is presented for samples of wood of 18 different species. The application of the method in studies of bulk density variability in different growth rings is also discussed.

1. INTRODUÇÃO

O emprego do método de determinação de densidade em madeiras por atenuação de radiação gama, foi introduzido por LOOS (1961), sendo pouco tempo depois desenvolvido entre nós por Reichardt, Ferreira e outros (REICHARDT & FERREIRA, 1966 e FERREIRA & FERRAZ, 1969). Vários outros trabalhos apareceram desde então, sendo que uma metodologia quase idêntica é seguida até os dias de hoje, ou seja, um feixe colimado de radiação gama de 662 keV do ^{137}CS é atenuado e detectado em espectrômetro gama mono-canal, com detector de NaI (Tl).

Estudos mais recentes demonstram que, em certos casos, o uso da radiação gama do ^{137}CS devido a sua energia, traz uma série de inconvenientes, os quais poderiam ser sanados, usando-se radiações menos energéticas. O uso do ^{137}CS requer uma montagem grande e pesada devido à espessa blindagem de chumbo requerida para proteger o operador e proporcionar uma boa colimação. Por outro lado, devido ao alto poder de penetração da radiação, as amostras deviam ter espessuras da ordem de 30 cm ou mais, para se obter uma boa sensibilidade nas determinações de densidade.

Recentemente, há uma tendência de se utilizar cada vez mais o ^{241}Am , como fonte de radiação gama. Devido não só à longa meia vida desse radionuclídeo, cerca de 460 anos e ao seu espectro monoenergético, como também, a maior sensibilidade nas determinações de umidade que as radiações de baixa energia proporcionam. E ainda, com a vantagem de necessitar uma menor blindagem, oferecendo maior segurança ao operador.

Foi MILLER (1955) que propôs o uso de uma fonte de Amerício para medir concentrações de Urânio e de Plutônio em soluções aquosas, porém, foi a apresentação feita por KING (1967) relatando o seu trabalho em Istambul no Simpósio da Agência Internacional de Energia Atômica (AIEA), que evidenciou as vantagens do uso dessa fonte.

^(*) CENA e Departamento de Física e Meteorologia da Escola Superior de Agricultura «Luiz de Queiroz».

Até a presente data, são conhecidos alguns trabalhos com solos, porém, não foram constatados trabalhos com madeira.

O objetivo deste é o de apresentar a experiência adquirida com o uso de raios gama de baixa energia, os resultados obtidos de coeficientes de atenuação de massa para várias essências e o seu emprego nas determinações de densidade.

2. MONTAGEM EXPERIMENTAL

Os requisitos principais que se deve levar em consideração na escolha do radioisótopo a ser usado para tal finalidade são: espectro livre de interferentes, longa meia-vida física e energia inferior a 150 keV. Observando-se a relação de todos os isótopos conhecidos (LEDERER et alii, 1957), verifica-se que poucos são os emissores que se prestariam, sendo fácil verificar-se que o ^{214}Am é o mais indicado. O Amerício 241 decai por α para ^{237}Np com meia vida de 458 anos e um pico principal (86%) com energia de 59,6 KeV. Embora apresente linhas de outras energias, o espectro é satisfatoriamente livre de interferentes.

Na parte experimental do presente trabalho foi usada uma fonte de ^{241}Am de atividade atual igual a 100 mCi, montada em colimadores de chumbo. Os colimadores são de secção reta circular, com diâmetro igual a 5/32" (12,37 mm² de área). No lado da fonte a distância de colimação é de 30 mm e no lado do detector, a distância é de 20 mm. A divergência máxima na colimação, é um ângulo plano de 2,84 graus. A detecção é feita por um cintilador sólido plano, de NaI (T1) de 2 x 2" oticamente acoplado a uma fotomultiplicadora. Os impulsos produzidos são analisados por um monocanal e contados em «scaler-timer» manual.

Para se obter bons resultados nas determinações, dois fatores são importantes se bem que conflitantes: taxas de contagens elevadas e boa discriminação de energia. Um aumento da taxa de contagem pode ser conseguido através de: alta atividade da fonte; grande área de secção reta do colimador; pequena distância de colimação e grande abertura de janela. Fontes de radiação de altas atividades não são muito práticas para serem usadas, pois além de custo elevado, são difíceis de serem manuseadas, por isso dificilmente se utiliza fontes com atividades superiores a 100 mCi. Grande área de secção reta do colimador e pequena distância de colimação são recursos altamente prejudiciais à precisão e sensibilidade do método, pois diminuem o poder de resolução, além de aumentar os erros devido ao efeito Compton (FERRAZ, 1974). Por outro lado, para se melhorar o poder de discriminação em energia, é necessário adotar-se uma largura de janela a menor possível, usar-se detectores de alta resolução e boa colimação.

Uma vez esgotados os recursos disponíveis em escolha da fonte, do detector e geometria de colimação, o problema se resume em se adotar uma forma de pulso e uma largura de janela do analisador monocanal que não seja excessiva a ponto de prejudicar a discriminação em energia e nem estreita demais, a ponto de prejudicar a taxa de contagens.

Adotou-se como largura de janela, um valor igual ao poder de resolução do detector, que no caso foi de 16,7% para a energia de 60 KeV. Várias tentativas foram feitas para se encontrar a forma de pulso melhor, ou seja, a que proporcionasse maior estabilidade e maior taxa de contagens. Estando o pico em 6,0 volts do discriminador, escolheu-se como a melhor solução, uma abertura de janela de 5,4 até 6,4 volt, porque foi nessa posição que se obteve a maior relação sinal-ruído. Isto significa que são contados os fótons de energia compreendidos entre 54 e 64 KeV.

A média das taxas de contagens obtidas (tanto de I como as de I_0) são corrigidas para eliminar o efeito do tempo morto de equipamento. As correções de taxa de contagem devido ao efeito Compton não foram efetuadas, pois se verificou que devido à geometria utilizada, esse erro seria sempre inferior a 0.8%.

3. COEFICIENTES DE ATENUAÇÃO DE MASSA (μ)

Para a determinação dos coeficientes de atenuação de massa da madeira das espécies estudadas, foi utilizado um recipiente cilíndrico de diâmetro igual a 2.5 cm por 10.0 cm de comprimento. A madeira foi serrada e o pó de serra peneirado e deixado para secar em estufa a $105^\circ\text{C} \pm 1^\circ\text{C}$ durante 24 horas. O pó, então, é compactado dentro do «cilindro de contagem» e levado ao feixe de radiações fazendo com que o fluxo de fótons percorra a amostra no sentido longitudinal.

Para cada determinação de μ são realizadas várias compactações diferentes (de 5 a 10) e em cada uma delas, obriga-se o feixe de fótons a atingir a amostra em 6 pontos diferentes. Portanto, os valores de coeficientes de atenuação de massa obtidos, são médias, de no mínimo, 30 determinações.

Quando um feixe de radiação atravessa um meio absorvedor, a equação que rege o fenômeno é:

$$I = I_0.e^{-\mu\rho x}$$

onde:

I_0 = intensidade do feixe incidente

I = intensidade do feixe atenuado

μ = coeficiente de atenuação de massa do meio absorvedor para a energia do fóton incidente ($\text{cm}^2.\text{g}^{-1}$)

ρ = densidade do meio absorvedor ($\text{g}.\text{cm}^{-3}$)

x = espessura do absorvedor (cm)

O coeficiente de atenuação de massa independe da densidade e pode ser determinado se conhece a densidade e a espessura, medindo-se, então, as intensidades do feixe incidente e emergente:

$$\mu = \frac{1}{\rho x} \ln \frac{I_0}{I}$$

Porém, devido às elevadas taxas de contagens, os valores obtidos experimentalmente das intensidades dos feixes incidentes e emergentes, devem ser corrigidos, devido ao tempo morto do equipamento eletrônico (FERRAZ, 1975). A equação de correção usada é a seguinte:

$$I = \frac{R}{1 - \tau R}$$

Onde:

I = intensidade corrigida

R = taxa de contagens obtida experimentalmente

τ = constante de tempo de equipamento

Conforme a metodologia descrita, foram determinados os coeficientes de atenuação de massa para 18 madeiras diferentes. Os resultados obtidos se encontram no Quadro I.

4. VARIAÇÃO DA DENSIDADE AO LONGO DO RAIOS

Com o valor do coeficiente de atenuação de massa previamente calculado, é possível determinar-se a densidade da madeira em qualquer ponto desejável, bem como diferenças de densidade entre pontos distantes um do outro, de apenas 1 milímetro.

Tal arranjo permite, portanto, identificar e determinar a densidade de anéis de crescimento, fazendo com que o feixe de radiações incida perpendicularmente em diferentes pontos ao longo do raio de um disco de madeira.

O corpo de prova é uma parcela de um disco cortado de uma região da árvore convenientemente escolhida. A espessura do disco pode ser desde 3 até 7 ou 8 centímetros, desde que o plano dos anéis seja paralelo ao sentido de propagação do feixe de fótons. A amostra é previamente seca em estufa e depois levada ao feixe de radiações para as determinações de I. As contagens podem ser feitas de milímetro a milímetro ao longo do raio, por um tempo de 1 minuto cada uma. Os resultados são levados ao computador que corrige as contagens e determina a densidade em cada ponto. A figura 1 mostra exemplo de variações de densidade ao longo do raio, milímetro por milímetro.

N ^o	ESSÊNCIA	COEFICIENTE DE ATENUAÇÃO DE MASSA			PROCEDÊNCIA
		$\mu(\text{cm}^2 \text{g}^{-1})$	σ	CV (%)	
1	Jacarandá	0,2448397	0,0084490	3,4508185	DOCEMADE - ES
2	Pelada	0,2314632	0,0020719	0,8951360	DOCEMADE - ES
3	Gibatão	0,2479307	0,0102058	4,1163821	DOCEMADE - ES
4	Jataí Peba	0,2768751	0,0168911	6,1006320	DOCEMADE - ES
5	Piraju	0,2483637	0,0016230	0,6534845	DOCEMADE - ES
6	Óleo de Copaíba	0,25501860	0,01850549	7,25652740	DOCEMADE - ES
7	Sapucaia	0,25579781	0,00252469	0,98698663	DOCEMADE - ES
8	Guaiti	0,25363679	0,00601355	2,55204344	DOCEMADE - ES
9	P. elliptii	0,19063555	0,00161936	0,84945585	CAPÃO BONITO - SP
10	Eucalipto alba	0,210197978	0,003112322	1,480662245	ITUPEVA - SP
11	Eucalipto grandis	0,209345544	0,001320825	0,6330930431	ITUPEVA - SP
12	Eucalipto saligna	0,212153686	0,001398784	0,659325668	ITUPEVA - SP
13	Cabreúva	0,221453			DESCONHECIDA
14	Pinho	0,237148			DESCONHECIDA
15	Peroba	0,241388			DESCONHECIDA
16	Eucalipto	0,216327			DESCONHECIDA
17	Ipê	0,272501			DESCONHECIDA
18	Cedro	0,26321			DESCONHECIDA

Quadro I - Coeficientes de atenuação de massa de madeiras, para energia de 69 KeV.

5. DISCUSSÃO

Realmente, o emprego de uma fonte radioativa de energia mais baixa traz uma série de vantagens que permitem a obtenção de resultados satisfatórios e que seriam impossíveis de serem obtidos com a fonte tradicional de ^{137}CS .

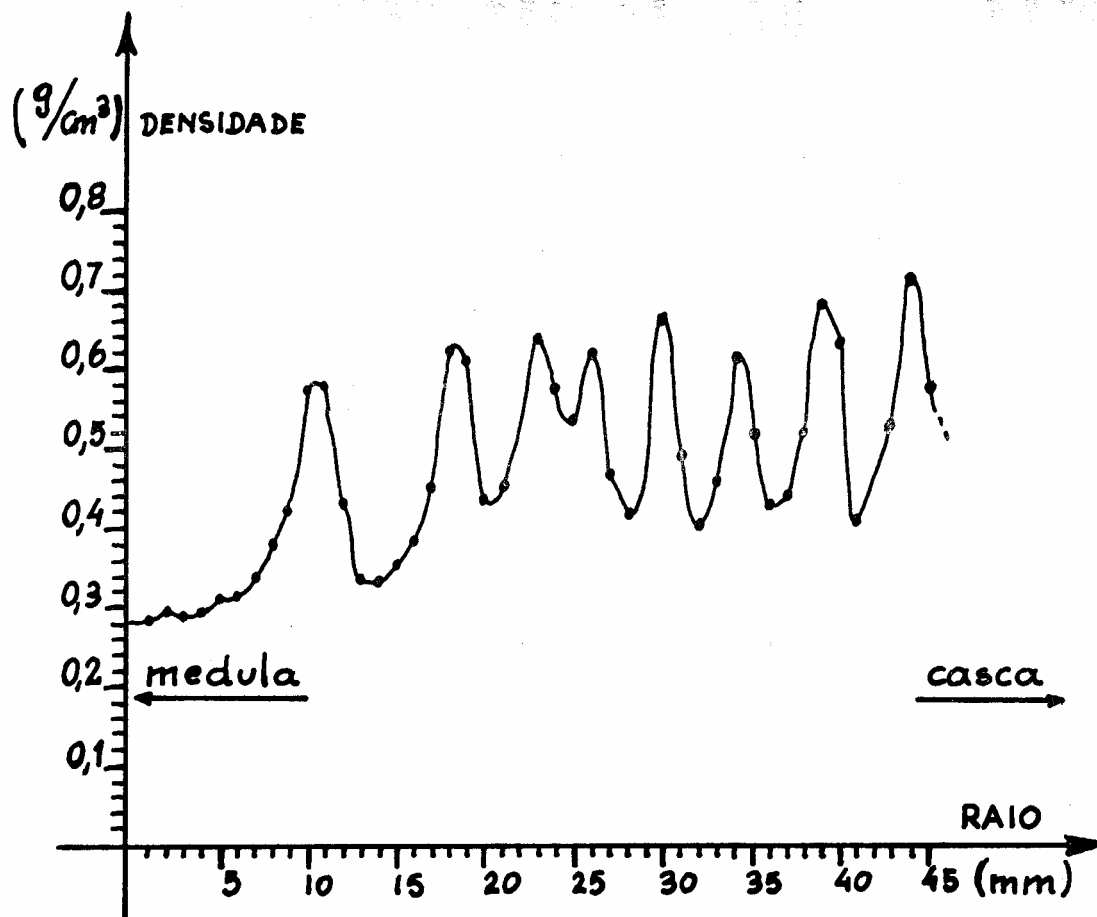
A sensibilidade do método de atenuação de radiação gama (FERRAZ 1974) é função do coeficiente de atenuação de massa e da espessura do absorvedor. Como o coeficiente de atenuação de massa é uma constante do material para uma energia do fóton, só resta escolher a espessura ideal da amostra (x^*). Tanto para uma amostra muito fina, como para outra muito espessa, a sensibilidade do método é baixa e os erros são grandes. Essa função, erro versus espessura, passa por um mínimo, quando:

$$X^* = \frac{2}{\mu\rho}$$

Tomando-se como exemplo. Valores típicos de μ e de ρ , encontra-se que a espessura ideal (x^*) para 60 KeV do ^{241}Am e para 662 KeV do ^{137}CS são respectivamente. 14 cm e 53 cm. É impossível na prática trabalhar-se com discos de 53 cm de espessura sendo mesmo bastante difícil trabalhar-se com discos de 14 cm de espessura. Porém, quando se usa radiações de 60 KeV do ^{241}Am , é possível empregar-se corpos de prova de 5, 6, 7 ou 8 centímetros de espessura, sem que com isso se perca muito em sensibilidade. O mesmo é impossível com as radiações do ^{137}CS .

Além disso, sendo fonte de baixa energia, a blindagem necessária para conter as radiações de forma a proteger a saúde do operador é bem menor, resultados daí uma montagem simples e mais leve.

Por outro lado, a detecção de fótons de baixa energia é mais delicada, exigindo equipamentos eletrônicos mais sensíveis e um ajuste mais rigoroso na colimação e na detecção.



6. RESUMO

O presente trabalho apresenta um refinamento da técnica da atenuação de radiações gama no estudo da densidade de amostras de madeira. É evidenciada a vantagem da utilização de um feixe de radiações de baixa energia e, para uma fonte de ^{241}Am são apresentados dados de coeficiente de absorção de amostras de madeira de 18 essências distintas. Também é discutida a aplicação do método no estudo da variação da densidade da madeira ao longo dos anéis de crescimento.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

FERRAZ, E. S. de B. - **Determinação simultânea de densidade e umidade de solos por atenuação de raios gama do $^{137}\text{C,S}$ e ^{241}Am .** Piracicaba. ESALQ-USP. 1974. (Tese Livre-Docência).

FERRAZ, E. S. de B. - Influência do tempo morto de contagem na densimetria por atenuação de radiação gama. In: ENCONTRO SOBRE ESCOAMENTO EM MEIOS POROSOS. 2. Maringá. 1975.

FERREIRA, C. A. & FERRAZ, E. S. B. - **Relatório de pesquisas apresentado à Comissão Nacional de Energia Nuclear**. Piracicaba. ESALQ-USP. 1969.

KING, L. G. - Gamma ray attenuation for soil - water - content measurement using ^{241}Am . In: SYMPOSIUM ON THE USE OF ISOTOPE AND RADIATION TECHNIQUES IN SOIL PHYSICS AND IRRIGATION STUDIES. Istanbul. 1967 - **Anais**. p. 17-29.

LEDERER, C. M.; HOLANDER, J. M. & PERMAN, I. - **Table of isotopes**. 6. ed. New York. John Wiley. 1967. 594 p.

LOSS, W. E. Gamma ray absorption and wood moisture content and density. **Forest products journal**. Madison. **11**(3) : 145-9. mar. 1961

MILLER, D. G. - **Americium 241 as a photon Source of the gamma absorption metric technique**. Oak Ridge. USAEC. 1955. (Report HW 39971. chemistry TID - 4500).

REICHARDT, K. & FERREIRA, C. A. - **Relatório de pesquisas apresentado à Comissão Nacional de Energia Nuclear**. Piracicaba. ESALQ-USP. 1966.

8. AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado graças aos recursos do convênio CENA/IPEF/DOCEMADE e à colaboração dos bolsistas MANUEL LAZARO DE ALMEIDA e ANTONIO SERGIO DINIZ.

A união destas duas energias fez um dos maiores reflorestamentos do país.

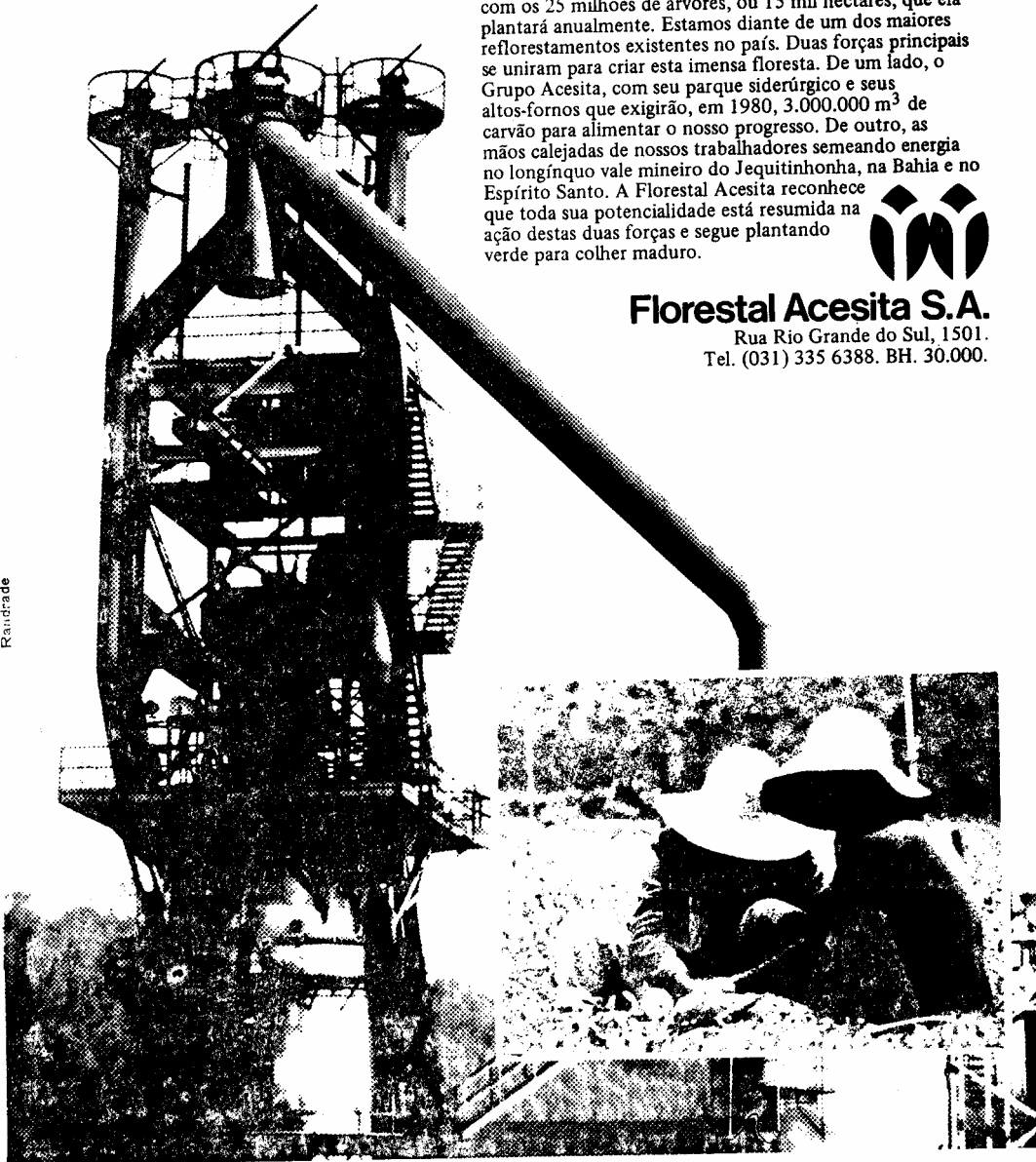
Os fatos são claros e se comprovam com os 76 mil hectares verdes que a Florestal Acesita já plantou. E se reafirmam com os 25 milhões de árvores, ou 15 mil hectares, que ela plantará anualmente. Estamos diante de um dos maiores reflorestamentos existentes no país. Duas forças principais se uniram para criar esta imensa floresta. De um lado, o Grupo Acesita, com seu parque siderúrgico e seus altos-fornos que exigirão, em 1980, 3.000.000 m³ de carvão para alimentar o nosso progresso. De outro, as mãos calejadas de nossos trabalhadores semeando energia no longínquo vale mineiro do Jequitinhonha, na Bahia e no Espírito Santo. A Florestal Acesita reconhece que toda sua potencialidade está resumida na ação destas duas forças e segue plantando verde para colher maduro.



Florestal Acesita S.A.

Rua Rio Grande do Sul, 1501.
Tel. (031) 335 6388. BH. 30.000.

Raídrade



Comp. Agrícola e Industrial CÍCERO PRADO

PAPÉIS — CELULOSE

Papéis: Cristalite — Granado — Flor Post — Seda
Kraft — Monolúcido

Cartolinas: Duplex Cromo — Kraft para Lixa

PAPÉIS ESPECIAIS PARA CARTONAGENS CELULOSE DE EUCALIPTO

S E D E:

AVENIDA RIO BRANCO, 1675 — SÃO PAULO
ENDEREÇO TELEGRÁFICO: «CICERPRADO»
CAIXA POSTAL, 7727

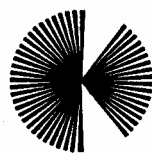
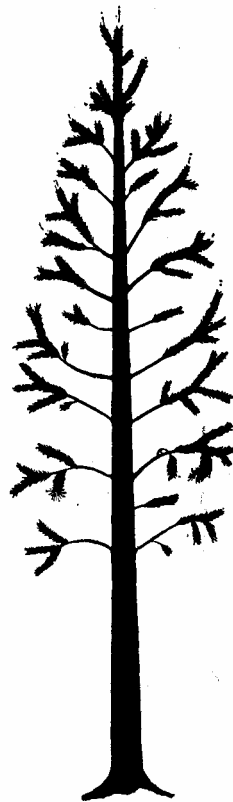
F Á B R I C A :

FAZENDA CORUPUTUBA — PINDAMONHANGABA
TELEFONES: 2641 — 2642 — 2643 — EST. S. PAULO

SEMENTES SELECIONADAS!

PINUS taeda e PINUS elliottii

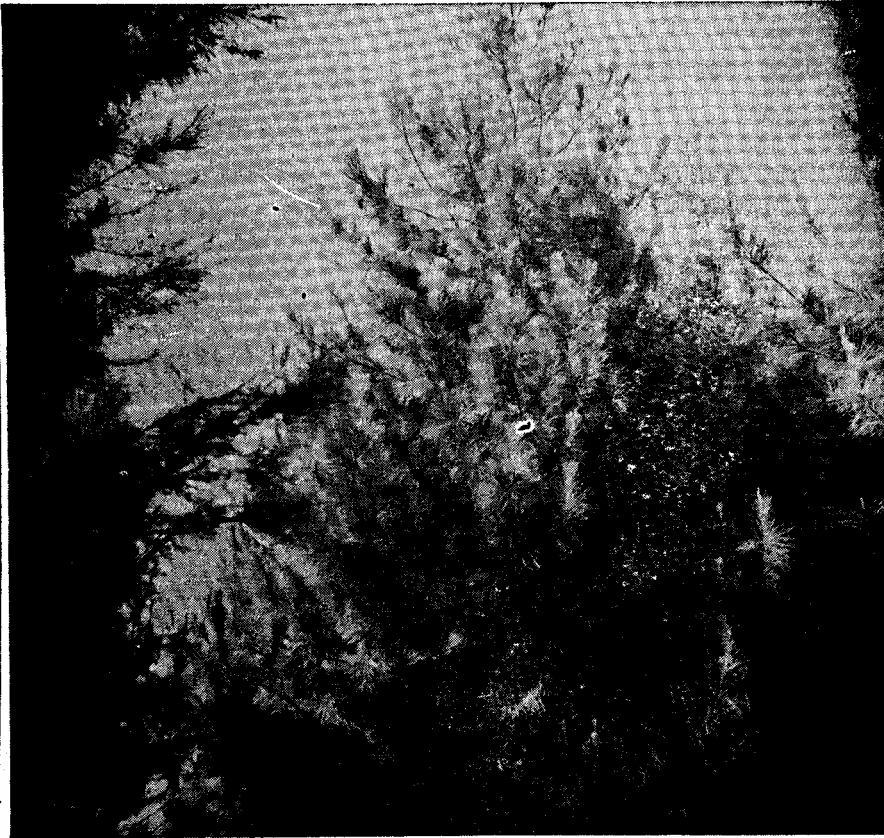
A BASE DE UM
REFLORESTAMENTO
BEM SUCEDIDO



Departamento Florestal
Klabin do Paraná

ENDEREÇO: Lagoa, Monte Alegre, Estado do Paraná
Aceita-se pedidos através dos escritórios:
Rio - Gb: Av. Rio Branco, 81 - 11º Andar - Caixa Postal, 1622 - tel. 223-5870
São Paulo: Rua Formosa, 367 - 18º Andar - Caixa Postal, 524 - tel. 37-7101/239-1774
Curitiba: Rua 15 de Novembro, 556 - 3º Andar - tel. 22-5373/23-5399

**Nós estamos plantando
35 árvores como esta,
por minuto. O ano inteiro.**



*Ou seja: já plantamos
112 milhões de árvores
nestes últimos seis anos.
Numa extensa área de 70
mil hectares - maior que
muitos municípios*

*brasileiros. Desde
dezembro estamos
plantando mais de 500
milhões de árvores na
região de Grão Mogol.
Estas árvores darão*

*emprego para 8 mil
pessoas e 185 milhões de
cruzeiros de investimento
por ano, só nesta região.*

FLORESTAS RIO DOCE S/A **5**

um lucro saudável

Subsidiária da Cia. Vale do Rio Doce - Av. Amazonas, 491 - 6º andar • Belo Horizonte