

POTENCIAL ENERGÉTICO BRASILEIRO ATRAVÉS DA
FIXAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

Alberto F. Lima
Wolfgang G. Glasser
Centro Técnico em Celulose e Papel
Instituto de Pesquisas Tecnológicas
do Estado de São Paulo S/A.

Brasil
1976

SEMINÁRIO ABCP/CURITIBA-PR - 1976

REVISTA ABEQ Nº2 - 1977

POTENCIAL ENERGÉTICO BRASILEIRO ATRAVÉS DA
FIXAÇÃO DE ENERGIA SOLAR

RESUMO

A fixação de energia solar para biomassa representa um grande potencial energético armazenado em nossas florestas. Em países com condições climáticas favoráveis e seguindo-se técnicas atualizadas de silvicultura pode-se obter uma taxa até 3,0% em conversão de energia solar.

Usando-se uma floresta circular com um raio aproximado de 60 km de uma espécie vegetal que apresente um rendimento anual em biomassa da ordem de 100 t/ha, teríamos o equivalente energético ao nosso consumo anual de petróleo. Ainda reflorestando somente 0,93% do território nacional obteríamos um equivalente energético ao do petróleo produzido pelo Irã, um dos maiores produtores petrolíferos.

A transformação química da madeira tanto na produção de produtos químicos ou em combustível é tecnicamente viável, havendo a necessidade de estudos para formação de uma tecnologia própria.

A tecnologia a ser desenvolvida deve reservar à pasta celulósica, ainda um papel preponderante e fazê-la figurar como produto de primeira importância, mas deve simultaneamente explorar as possibilidades materiais para exaustão de todo acervo oferecido pelos sub-produtos e formar em todo uma tecnologia integrada.

BRAZILIAN ENERGY POTENTIAL THROUGH SOLAR ENERGY FIXATION

SUMMARY

The fixation of solar energy through biomass represents a large energy potential stored in our forests. In countries under favorable climatic conditions and use of modern techniques in forestry the conversion of solar energy may reach a rate of 3%.

If we imagine a vegetal species with a biomass yield of the order of 100 t/ha per year, and which forms a forest of circular dimensions showing a radius of nearly 60 km, this forest would represent the energy equivalent to our annual oil consumption. More, reforesting only 0,93% of our soil we would obtain the energy equivalent of Persia annual oil output, one of the largest petroleum producers.

Chemical conversion of wood into both chemical products or fuels is feasible technically, but requires investigations to develop the proper technology.

Away from the present technology which entrances too much and solely the role of pulp in the whole industrial field, a new technology should still reserve to pulp its prime role and importance but at the sametime account for all capabilities hidden in the by-products to approach the set-up of an integrated technology.

POTENCIAL ENERGÉTICO BRASILEIRO ATRAVÉS DA FIXAÇÃO DE
ENERGIA SOLAR

I. INTRODUÇÃO

A história da humanidade está relacionada com o uso da energia desprendida ao se queimar um combustível. Os combustíveis são originados de matéria orgânica ou são obtidos industrialmente de substâncias orgânicas e então usados para produção de calor e energia.

As fontes de energia são divididas em dois grupos: não renováveis e renováveis. O primeiro grupo é representado pela energia nuclear e pelos combustíveis fósseis (carvão, xisto, petróleo, gás natural) sendo os combustíveis fósseis energia captada por vegetais há milhões de anos e armazenada nas profundezas da terra. No segundo aparecem os combustíveis vegetais, a energia solar e hidráulica.

Atualmente os combustíveis fósseis, principalmente o petróleo e o carvão, contribuem com a maior parte da energia consumida mundialmente. No Brasil as parcelas de energia gerada por combustíveis fósseis e por fontes renováveis equilibram-se, como é apresentado na Tabela I (Goldemberg, 1976).

Os combustíveis derivados do petróleo, óleo e gases, apresentam um grande conveniente para a indústria química atual: a facilidade de transporte através de tubos. Entretanto, o petróleo apresenta algumas reservas esgotando-se, resultando em um alto custo de extração, aliado a altas taxas de comercialização.

Como consequência de tais fatos, olha-se com maior atenção para o valor combustível da madeira.

O objetivo deste artigo é avaliar o potencial energético da biomassa no

Brasil obtido através da fixação de energia solar e ainda compará-lo com o consumo nacional de petróleo, evidenciar alguns aspectos tecnológicos visando a viabilidade técnica de plantações destinadas a produção de energia e produtos químicos.

II. ANTECEDENTES

Todo corpo na superfície terrestre recebe durante o dia irradiação solar direta, proveniente do disco solar, ou indireta, refletida e difundida pelo solo ou pela atmosfera e nuvens.

Os vegetais armazenam uma fração desta energia solar sob a forma de energia de ligação entre átomos nas moléculas de compostos orgânicos, tais como: amido, sacarose, etc.

A Tabela II apresenta valores estimados da eficiência em conversão de energia solar para alguns vegetais. Para seu cálculo foi admitida uma taxa média de insolação de 35,3 milhões Kcal por hectare por dia e valores de produtividade médios para cada espécie (Evans, 1974 - Szegö e Kemp, 1973).

Pode-se conseguir taxas de conversão de energia solar na faixa de 0,3 a 3,0 % (Evans, 1974). Os fatores mais importantes são as condições climáticas e as práticas de silvicultura.

III. DISCUSSÃO

III.1. Reservas Florestais

As florestas remanescentes no Brasil cobrem cerca de 40% de sua área sendo 77% deste valor matas amazônicas. A Tabela III apresenta a distribuição destas florestas nas diversas regiões (Berutti, 1975).

Em 1975 a área reflorestada era estimada em 2 milhões de hectares, estando concentrada em: São Paulo (32%), Paraná (28%), Minas Gerais (22%) e Santa Catarina (11%).

Não são disponíveis dados discriminativos das espécies plantadas, mas segundo estatísticos do IBDF 60% das mudas seriam de Eucalipto, 30% de Pinus e os 10% restantes de outras espécies (4).

O rendimento médio em madeira com casca para o Pinus e o Eucalipto é apresentado na Tabela IV (M.Interior, 1975).

Estes rendimentos dependem diretamente das técnicas de silvicultura aplicadas.

III.2. Usos da Matéria Prima Vegetal no Brasil

O Pinus spp é a Araucaria angustifolia além de serem utilizadas na indústria de celulose são matérias primas para serraria, aglomerados, compensados, etc.

O Eucalipto tem a sua utilização dependente da estrutura industrial de cada Estado. Assim é o caso do Estado de Minas Gerais onde 70% da produção de madeira é utilizada para produção de carvão vegetal.

Os cerrados e as matas nativas remanescentes contribuem com pequenas parcelas na industrialização de carvão vegetal, produtos de serraria e na construção civil.

A Tabela V apresenta a previsão de consumo de madeira em 1976 (M. Interior, 1975; C.D.Econômico, 1975 e Filho, 1975).

Se toda a área florestal (Tabela III), cerca de 352,3 milhões de hectares, apresentar um crescimento médio de 8 t/ha/ano, obteremos $2,8 \cdot 10^9$ t de madeira por ano. O consumo previsto para 1976, 44 milhões de toneladas, equivale

le a 1,57% dessa produção anual.

A indústria de transformação de madeira obtém rendimentos baixos como pode ser evidenciado na Tabela VI e Figura 1.

A madeira apresenta um custo por milhão de Kcal inferior a outras fontes de energia como pode ser visto na Tabela VII.

Na estimativa de custo por milhão Kcal para a biomassa foi utilizado o custo da madeira empregada nas indústrias de celulose, cerca de Cr\$300,00 por tonelada (valor fornecido pela Indústria de Papel Simão S.A.). Este valor pode ser um pouco alterado considerando-se alguns fatores como a variação dos custos de transporte, região, época do ano, etc. Para o item eletricidade foi empregada a taxa de fornecimento industrial da ordem de Cr\$ 655,00 por mil kw.h, admitindo-se ainda que 1 kw.h corresponde a 860 Kcal.

Para efeito comparativo utilizou-se os valores comerciais para as outras fontes de energia.

III.3. Área Florestal Necessária para Produção Energética Equivalente ao Petróleo Consumido no Brasil e Produzido no Irã

O Brasil consome anualmente cerca de 315 milhões de barris (41.580.000 toneladas) de petróleo. A Tabela VIII indica o equivalente energético requerido em biomassa correspondente ao consumo brasileiro.

Assumindo-se diferentes índices de produtividade de biomassa, as áreas florestais necessárias para produção energética por fixação na biomassa de energia solar, idêntica à gerada pelo petróleo apresentam-se na Tabela IX e Figura 2.

Para uma espécie com uma produtividade média anual em biomassa de 10 toneladas por hectare a terra necessária seria 1,1 milhões de hectares, ou seja, somente 0,13% do território brasileiro.

Usando-se os valores anteriores segue-se uma comparação (Tabela X) entre a produção petrolífera do Irã (300 milhões de t/ano) e a produção energética a través de florestas.

III.4. Vantagens da Produção de Energia Através de Fixação de Energia Solar pela Biomassa

Os combustíveis de origem fotossintética apresentam algumas vantagens sobre os combustíveis fósseis.

A floresta é considerada uma fonte de energia permanente e renovável e o reflorestamento oferece um vasto campo de trabalho, permitindo o aproveitamento da mão-de-obra existente na zona rural. Cada 3 hectares geram um emprego (Boer, 1974).

Os materiais vegetais contêm geralmente menos que 0,1% de enxofre, portanto seus produtos de combustão apresentam menores teores de compostos sulfurados em relação aos combustíveis fósseis. Os resíduos da queima do material vegetal podem ser utilizados na preparação do solo das novas plantações (Szego; 1973).

Os problemas e custos de transporte são diminuídos pois a cultura a ser empregada na produção de energia pode ser plantada ao redor do local de processamento.

A floresta mantém equilíbrio ecológico e contém a erosão, conservando o regime pluviométrico.

IV. TECNOLOGIA

Atualmente no Brasil somente alguns produtos florestais figuram com importância econômica:

madeiras - celulose
resinas - taninos
borracha - alcalóides
óleos essenciais.

A madeira é uma mistura de três polímeros naturais: celulose (50%), hemicelulose (25%) e lignina (25%). Estas composições logicamente dependem das espécies, das variações genéticas e condições de crescimento.

Baseado nesta composição cerca de 95% dos plásticos e polímeros produzidos a partir de outras matérias primas podem ser obtidos a partir da madeira após alguns estágios de processamento.

Pela hidrólise da celulose obtém-se a glucose que por fermentação produz o etanol com um rendimento aproximado de 90%. A conversão do etanol em etileno (96% de rendimento) e em butadieno (70% de rendimento) é possível e já foi obtida industrialmente nos Estados Unidos durante a II Guerra Mundial (Goldstein, 1975). Pode-se obter também um grande número de produtos poliméricos da celulose. Comercialmente os mais importantes são: rayon, acetato de celulose, celofane, carboximetilcelulose, etc. Polímeros e plásticos são comercializados em função do seu custo e de suas propriedades. Um grande conveniente dos derivados celulósicos é que suas propriedades podem ser modificadas desenvolvendo-se novos produtos.

O licor obtido da hidrólise ácida das hemiceluloses apresenta uma alta concentração em xilose, a qual pode ser convertida em xilitol (adoçante artificial) ou em furfural, havendo ainda a possibilidade de se obter proteínas e etanol provenientes das hexoses e pentosanas.

A lignina obtida da hidrólise pode ser usada como material aglutinante para carvão vegetal. Pela hidrogenação da lignina tem-se produtos fenólicos, conseguindo-se rendimentos de 35% em instalações pilotos (Goldstein, 1975). Os

compostos derivados da lignina podem ser esterificados, eterificados e condensados com a finalidade de mudar-se algumas de suas propriedades físicas.

Da destilação da madeira obtém-se principalmente: metanol, ácido acético, acetona, formaldeído, alcatrões e como material remanescente o carvão.

A Figura 3 apresenta um organograma simplificado dos produtos derivados da madeira.

O processamento completo do exposto na Figura 3 está relacionado a um futuro distante sendo resultado de intensos planos de pesquisas, requerendo, ainda, uma tecnologia sofisticada apoiada em indústrias integradas que possam extrair o valor máximo de cada árvore.

Visando aumentar gradativamente a utilização da árvore, o Centro Técnico em Celulose e Papel (CTCP) do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT) inclui em seu programa de pesquisas alguns itens considerados importantes para o desenvolvimento e para a economia nacional:

- a) obter maior rendimento em cavacos através do aproveitamento da árvore toda. Atualmente obtém-se em torno de 45-50%, sendo o objetivo 70%;
- b) obter maior rendimento em fibras, estudando-se: polpações de alto rendimento (60-90%), processos de branqueamento preservando-se a lignina e processos de polpação mais suaves;
- c) maior aproveitamento dos resíduos de polpação na obtenção de sub-produtos: "tall-oil", terebintina, lignina, material hidrolisado e energia;
- d) obter maiores rendimentos e maior número de sub-produtos nos processos de destilação da madeira;
- e) reter mais material por meio de sistemas fechados, diminuindo-se também a poluição.

V. CONCLUSÃO

A transformação química da madeira tanto na produção de produtos químicos ou em combustível é tecnicamente viável, necessitando somente de estudos e pesquisas para formação de uma tecnologia própria.

O Brasil, entretanto, não deve esperar esta tecnologia ser criada na Europa e América do Norte, pois nestes países existem algumas condições diferentes: o crescimento florestal é mais lento e a utilização da biomassa muito maior. Portanto, estes países procuram criar uma tecnologia adaptada às suas necessidades.

A tecnologia necessária atualmente é mais relacionada com a tecnologia de celulose e papel, onde a polpa deve permanecer como produto primário e os outros materiais obtidos de sub-produtos como consequência de uma tecnologia integrada.

Baseando-se nestas considerações, é recomendável que as pesquisas e estudos relativos a este campo sejam efetuados por um Instituto de Celulose e Papel e que este tenha um contato contínuo com o setor industrial.

Considerando o preço atual do petróleo, de seus derivados e a perspectiva de que esses produtos encareçam constantemente, os produtos químicos da madeira podem vir a apresentar um custo competitivo no mercado nacional. Estes custos dependerão principalmente do rendimento em biomassa por hectare e do custo de produção florestal por hectare.

Devido a utilização em grande escala no Brasil do Eucalipto nas indústrias de celulose e na produção de carvão para emprego na siderurgia, seria necessário novas áreas de reflorestamento com Eucalipto além daquelas previstas para atender à demanda destas indústrias, ou ainda à necessidade de estudar-se outras espécies impróprias para a produção de celulose.

O Brasil como um país extenso, com terra fértil e um clima favorável, armazena ocultamente um imenso potencial nos campos e cerrados atualmente inaproveitados, os quais poderiam servir para plantações de Eucaliptos ou de cultura de crescimento rápido e com grande captação de energia solar.

VI. REFERÊNCIAS

1. Evans, R.S. (1974) - Energy plantations: Should we grow trees for power plant fuel ? - Canadian Forestry Service - Vancouver, British Columbia July.
2. Szego, G.C. e Kemp, C.C. (1973) - Energy forests and fuel plantations CHEMTECH May: 275-284.
3. Berutti, P.A. (1975) - Aspectos do reflorestamento no Brasil - Brasil Florestal 6(21): 3-7.
4. Mercado Internacional da Madeira (1975) - Ministério do Interior - Superintendência do Desenvolvimento da Amazonia.
5. Goldstein, I.S. (1975) - Potential for Converting Wood into Plastics Science 4206(189): 847-852.
6. Programa Nacional de Papel e Celulose (1975) - Conselho de Desenvolvimento Econômico.
7. Perry, H.R. e Chilton, C.H. - Chemical Engineer's Handbook - 5ª edição.
8. Boer, P. (1974) - Reflorestamento e Segurança Nacional - Brasil Florestal 5(19): 40-44.
9. Filho, A.G.B. (1975) - Reflorestamento no Brasil - Brasil Florestal 6(24): 44-49.

10. Goldemberg, J. (1976) - A crise de energia e as opções do Brasil - Inter-
ciência 1(1): 32-37.

TABELA I

Fontes de Energia - 1972

	ESTADOS UNIDOS	BRASIL
Carvão	17,0%	3,6%
Petróleo	46,0%	44,8%
Gás	32,0%	0,3%
Energia hidroelétrica	4,0%	20,8%
Outros Combustíveis:		
Lenha	-	27,0%
Bagaço de cana	-	2,0%
Carvão vegetal	-	1,5%
Energia nuclear	1,0%	-
TOTAL	100,0%	100,0%

TABELA II

Valores da Eficiência em Conversão de Energia Solar para Vegetais

ESPÉCIE	PRODUTIVIDADE (t/acre-ano)*	CALOR DE COMBUSTÃO (Kcal/kg)	CONVERSÃO DE ENERGIA SOLAR ESTIMADA (%)
Milho	6-10	3.600	0,45
Cana de açúcar	20	3.600	1,20
Coníferas	-	3.300	0,30
Folhosas	-	3.100	0,50

* Seco em estufa

TABELA III

Florestas Remanescentes no Brasil

REGIÃO	ÁREA TERRITORIAL em 10 ⁶ ha	ÁREA FLORESTAL REMANESCENTE em 10 ⁶ ha	em relação a área do Brasil (%)
Norte	357,4	273,1	32,1
Nordeste	97,0	13,1	1,5
Sudeste	126,1	13,4	1,6
Sul	82,5	14,3	1,7
Centro-Oeste	168,4	36,4	4,5
Brasil	851,4	352,3	41,4

TABELA IV

Rendimento em Madeira com Casca

ESPÉCIE	IDADE	RENDIMENTO MÉDIO COM CASCA
Eucalipto*	7 anos	100 t/ha
Pinus**	7 anos	20 t/ha

* Cortes

** Desbastes, último ano corte final.

TABELA V

Consumo Previsto de Madeira em 1976

TIPO DE INDÚSTRIA	CONSUMO EM 1000 t
Celulose e Papel	4.000
Carvão	20.000
Outros	20.000
TOTAL	44.000

TABELA VI

Rendimento da Utilização Industrial da Biomassa

Biomassa total produzida	100%
Madeira a ser industrializada	50%
Rendimento na produção de:	
móveis	10-12%
papel	20-25%
carvão	8-12%

TABELA VII

Custo Aproximado por Milhão de Kcal para Algumas Fontes de Energia

MATÉRIA PRIMA	CALOR DE COMBUSTÃO Kcal/kg	CUSTO Cr\$/kg	CUSTO Cr\$/milhão Kcal
Óleo combustível	10.480	1,50	143,00
Carvão vegetal	7.250	1,00	138,00
Gasolina	11.520	6,00	521,00
Etanol anidro	6.450	4,00	620,00
Biomassa seca	4.030	0,30	74,00
Elettricidade	-	-	761,00

1 US\$ equivalente a Cr\$ 9,70 (1975).

TABELA VIII

Biomassa Requerida

1 tonelada de madeira	$4 \cdot 10^6$	Kcal
1 tonelada de petróleo	$10,4 \cdot 10^6$	Kcal
Consumo anual de petróleo no Brasil	41580	mil toneladas
Consumo energético anual	$433 \cdot 10^{12}$	Kcal
Biomassa requerida/ano (equivalente ao consumo de petróleo)	$109 \cdot 10^6$	toneladas

TABELA IX

Área Requerida para Produção de Energia Vegetal

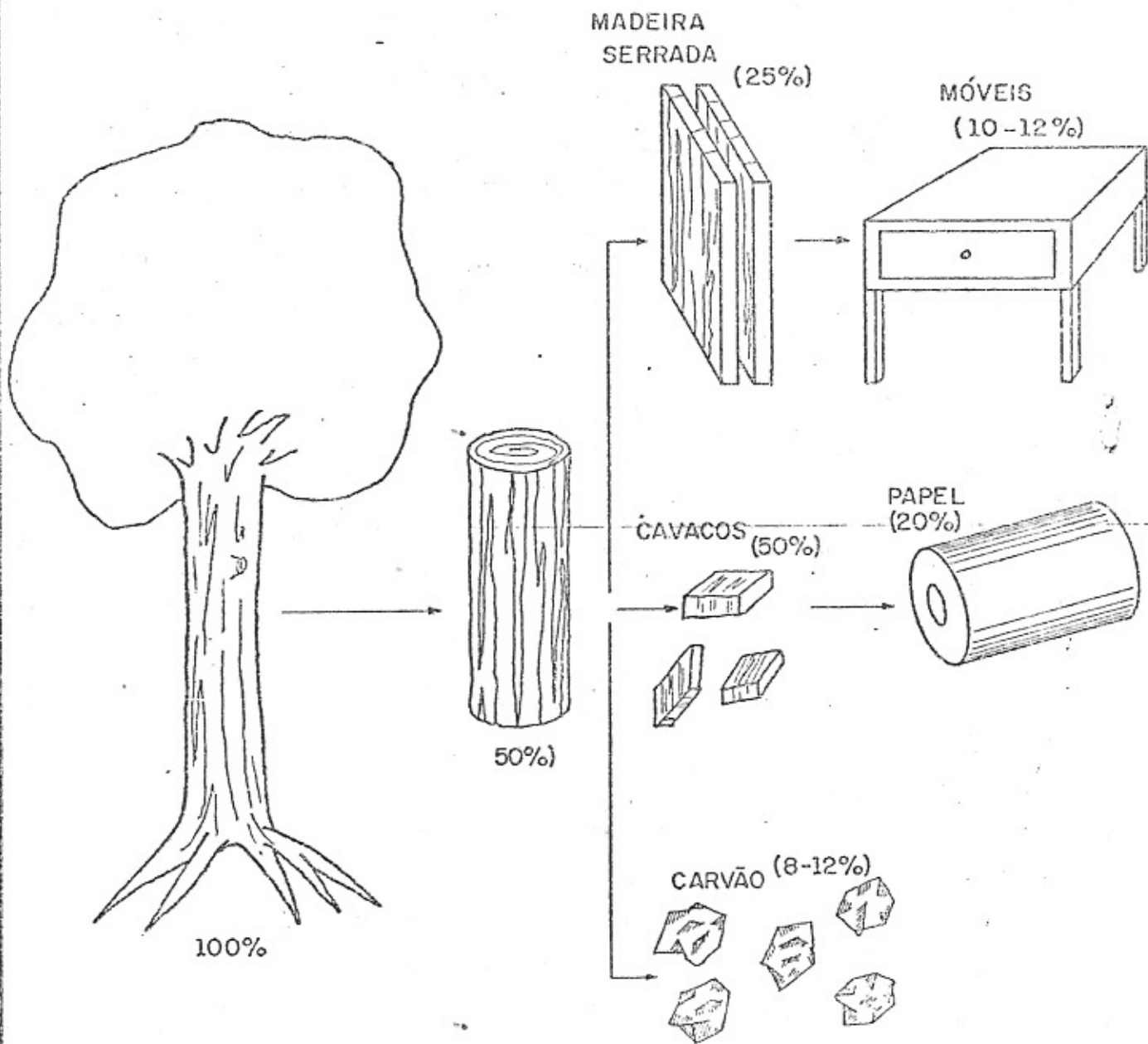
PRODUTIVIDADE t/ha/ano	ÁREA REQUERIDA milhões ha	RAIO DE CÍRCULO Equivalente (Km)
10	10,90	187
20	5,45	132
50	2,18	84
100	1,09	59

TABELA X

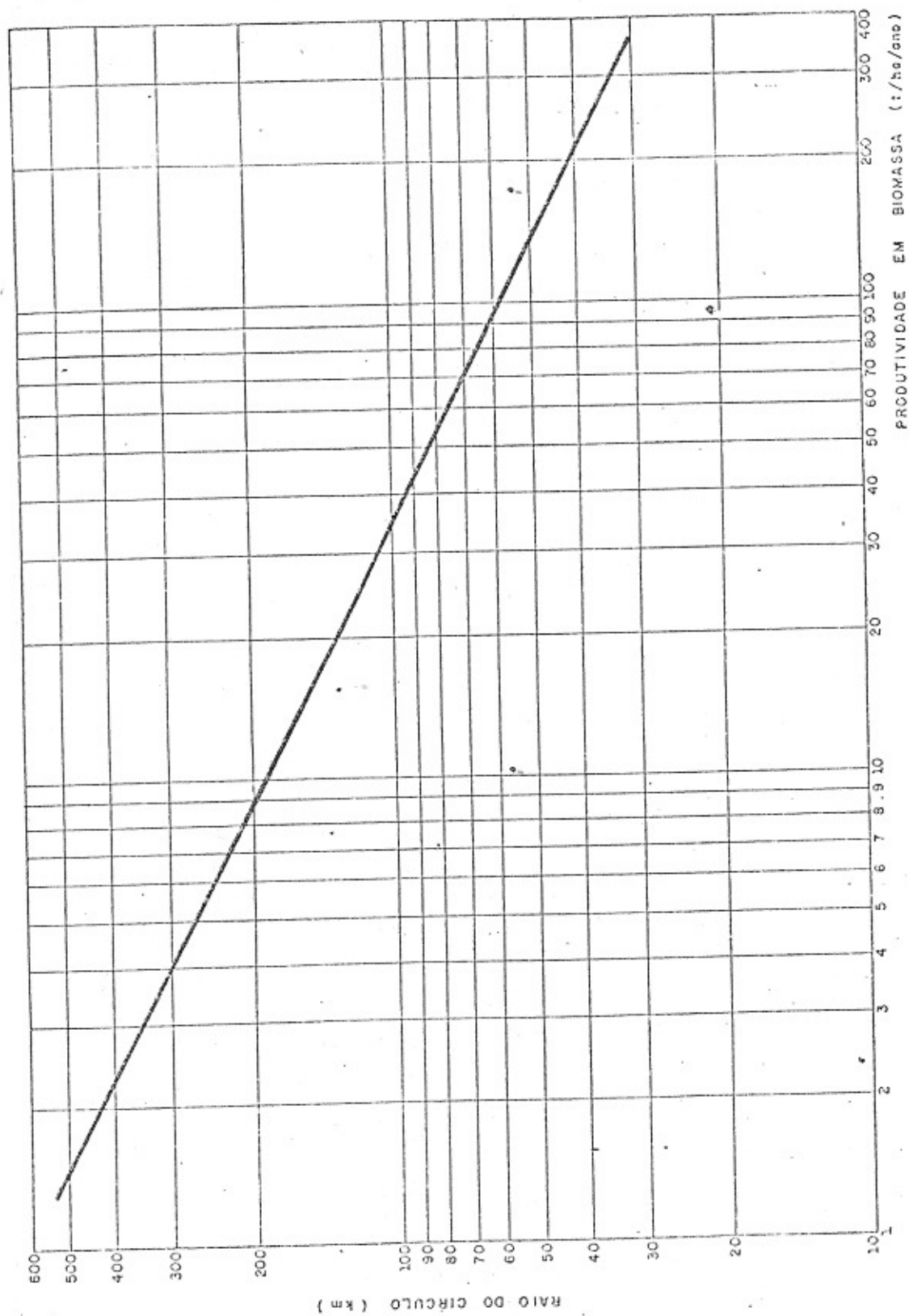
Área Florestal Requerida Equivalente a Produção Petrolífera do Irã

Produção anual de petróleo do Irã ...	300	milhões toneladas
Equivalente energético produzido	3145.10^{12}	Kcal
Biomassa requerida/ano	790	milhões toneladas
Produtividade de biomassa	100	t/ha/ano
Área requerida	7,90	milhões hectares
Raio do círculo equivalente	159	Km

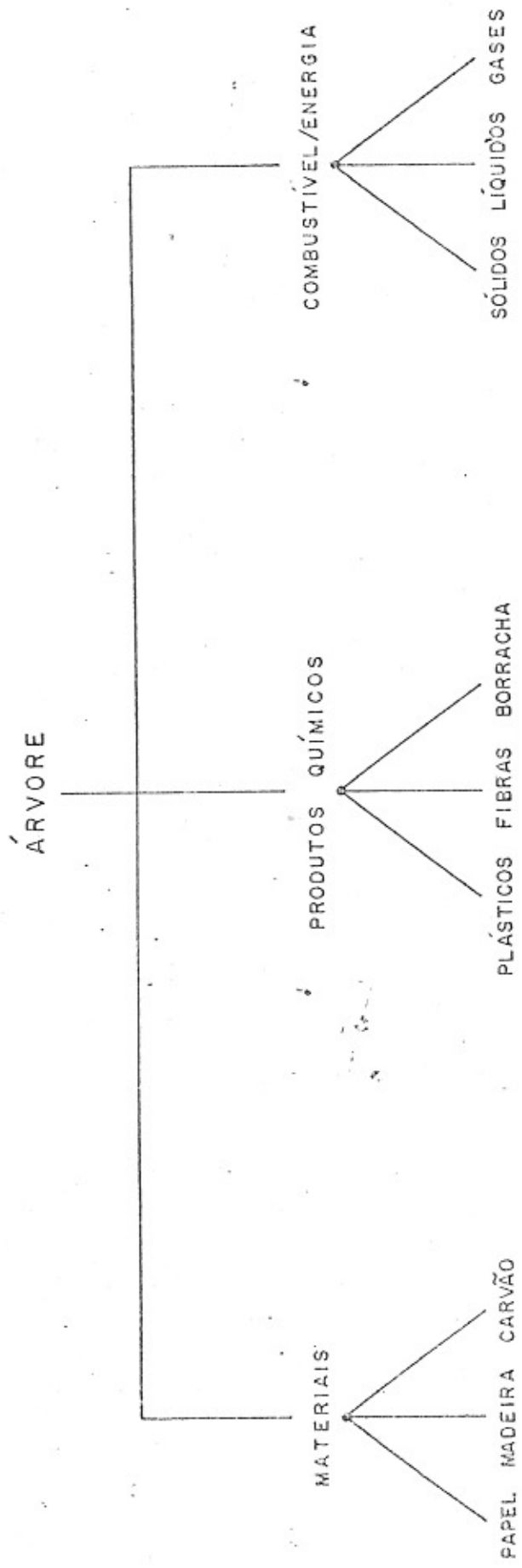
UTILIZAÇÃO ATUAL DA BIOMASSA



- FIGURA 1 -



- TERRA NECESSÁRIA EM FLORESTAS COM POTENCIAL ENERGÉTICO EQUIVALENTE AO
 CONSUMO BRASILEIRO DE PETRÓLEO EM FUNÇÃO DA PRODUÇÃO ANUAL EM BIOMASSA



- PRODUTOS ORIGINADOS DA MADEIRA