

MADEIRAS DA CAATINGA ÚTEIS PARA PRODUÇÃO DE ENERGIA¹

JOSÉ ELIAS DE PAULA²

RESUMO - Foi estudada a anatomia da madeira de 8 espécies da caatinga, e realizou-se um inventário dendrométrico. Determinou-se a biomassa total por m³ de madeira seca. A qualificação de madeira destinada à geração de energia (álcool, coque metalúrgico, carvão e lenha), foi feita com base no peso específico, na fração parede das fibras, no fator percentual 0,80 e na frequência das fibras. Na caatinga inundável, por estimativa, foram constatadas 287 árvores por hectare, as quais forneceram 268 t de madeira seca por hectare.

Termos para indexação: anatomia de madeira, dendrometria, biomassa, lignina, celulose.

WOODS FROM THE CAATINGA, SUITABLE FOR ENERGY PRODUCTION

ABSTRACT - A dendrometric inventory and an anatomical study of wood of eight species from caatinga were carried out. The total biomass per m³ of dry wood was determined and the quantity of cellulose and lignin per m³ of wood was estimated. The qualification of wood for energy generation was made based on specific weight, wall fraction of fibers, 0,80 percentual factor, and frequency of the fibers. In the floodable caatinga, 287 trees/ha were evidenced which provided 288 t/ha of dry wood.

Index terms: wood anatomy, dendrometry, biomass, lignin, cellulose.

INTRODUÇÃO

O presente estudo anatômico é relacionado à tecnologia no caso, à qualificação de madeira para geração de energia, com base no conhecimento da natureza e quantidade dos constituintes celulares de cada madeira. Por outro lado, o estudo dendrométrico aqui considerado tem por escopo avaliar o potencial de madeira de algumas espécies da caatinga.

A partir de 1973, diante da crise econômica mundial decorrente das altas constantes do preço do petróleo, o Brasil começou com muita determinação, a desenvolver tecnologia com vistas ao aproveitamento da energia renovável, notadamente da acumulada nos vegetais. Para tanto, criaram-se o PROÁLCOOL, o PROÓLEO vegetal, o Programa Nacional de Biogás e a COALBRA (coque e álcool da madeira). A

tecnologia neste setor desenvolveu-se de tal ordem, que em outubro de 1984 e janeiro de 1986 foi testado, com muito sucesso, o primeiro avião brasileiro movido a óleo vegetal e a álcool, respectivamente.

Construiu-se, em Uberlândia (MG), uma usina de produção de álcool e coque metalúrgico a partir da madeira, a qual funcionou com capacidade inicial de produção de cerca de 30 mil litros de álcool/dia. Em Curvelo (MG), instalou-se a usina de produção de álcool a partir de amido, especialmente de mandioca (Brasil 1983). A biotecnologia de produção de biogás a partir de esgotos e lixos domésticos, de esterco de gado e de aves, de rejeitos agrícolas e de plantas herbáceas, notadamente aquáticas e capim, experimentou um avanço notável, até 1986 (Canestri Filho 1981, O biodigestor... 1981, Paula & Conceição 1984, Instituto de Pesquisas da Marinha, 19., Bisanz 1981).

Como resultado do desenvolvimento dessa biotecnologia e de tecnologia de ponta nesse setor, a indústria nacional começou a fabricar automóveis, ônibus, caminhões, aviões, tratores e

¹ Aceito para publicação em 24 de julho de 1992.

Trabalho realizado com apoio financeiro do CNPq.

² Biólogo, Univ. de Brasília, Inst. de Ciências Biológicas, Dep. de Botânica, CEP 70910 Brasília, DF. Bolsista do CNPq.

grupos geradores movidos a óleo vegetal, álcool, a biogás e tetragás (“gasogênio”).

Hoje, quase todos os programas de aproveitamento de energia renovável a partir de fitomassa foram desativados, fechou-se, inclusive, a usina de Uberlândia e a de Curvelo, restando, apenas, as usinas produtoras de álcool da cana-de-açúcar.

Nos dias hodiernos, quase todos os recursos do setor energético estão destinados à prospecção de petróleo e urânio. Ora, as reservas de energia fóssil não renováveis - portanto, finitas -, estão sempre em crise, pois a médio prazo estarão exauridas, ou o fornecimento de petróleo poderá ser interrompido de um dia para o outro, por razões políticas e conflitos armados entre países. A propósito, lembra-se que na década de 70 o Brasil foi vítima da escassez de petróleo, decorrente dos preços altíssimos e boicote desse produto, determinado por países produtores em conflitos com países importadores de petróleo, culminando com o fechamento dos postos de gasolina nos sábados, domingos e feriados, e em 1991 o Brasil, mais uma vez, foi sacrificado, como consequência da guerra do Golfo Pérsico, que culminou com racionamento de combustíveis e derivados de petróleo.

Não obstante tais fatos negativos, que configuram erros de estratégia por parte das autoridades responsáveis pela condução da política energética do nosso País, continuamos com nossas pesquisas que têm por escopo indicar espécies indígenas com perspectivas seguras para geração de energia (Paula 1982, Paula & Conceição 1984, Paula 1985). Para tanto, realizaram-se estudos da estrutura anatômica no que tange à quantidade e natureza dos constituintes celulares da energia de oito espécies, bem como inventário dendrométrico.

A literatura indica que, a médio prazo, não somente o Brasil mas também os demais países vão depender muito da energia acumulada nos vegetais, notadamente madeira, amido, óleo vegetal, cana-de-açúcar e capim em geral (Anciães 1981, Gonzalez 1981, Penido 1980, Zakia & Versly 1990, Silva 1981, Bezerra 1979).

Como contribuição, este trabalho tem por finalidade indicar madeiras nativas de boa qua-

lidade para geração de energia, como alternativa do futuro.

Seguramente, essa contribuição trará benefício não somente para a região semi-árida nordestina, mas também para o Brasil como um todo, que culminará com o conhecimento de madeiras de boa qualidade para carvão e lenha, especialmente ocorrentes na caatinga. Produzir madeiras na caatinga para fins energéticos com espécies locais consubstancia uma grande alternativa para as populações desse semi-árido. Pois sendo espécies adaptadas a períodos prolongados de estiagem, os plantios em grande escala certamente não sofrerão solução de continuidade. É pois dentro deste contexto que se situam os objetivos deste estudo.

MATERIAL E MÉTODOS

As amostras de madeira foram coletadas de troncos na altura do DAP de árvores plenamente adultas, contendo alborno e cerne. O material botânico fértil que serviu para identificar as espécies e, também, as amostras respectivas da madeira, foram incorporados ao acervo do Herbário da Universidade de Brasília (UB) sob número de coleta, conforme discriminação que se segue.

Acacia glomerosa Benth. (Leguminosae), conhecida por “muquém”; col. J. Elias de Paula 3105; município de Barra, Bahia, área de caatinga inundável.

Bumelia sartorum Mart. (Sapotaceae), “quixabeira”; col. J. Elias de Paula 3110; município de Central, Bahia.

Mouriria guianensis Aublet (Melastomataceae), “crioli ou criuri ou criviri”; col. J. Elias de Paula 3108; município de Barra, Bahia.

Mimosa acutistipula Benth. (Leguminosae), “jurerema-preta”; col. J. Elias de Paula 3130; município de Xique-Xique, Bahia.

Geoffraea spinosa Jacq. (Leguminosae), “marizeiro”; col. J. Elias de Paula 3106; município de Barra, Bahia.

Triplaris pachau Mart. (Polygonaceae), “pajeu”; col. J. Elias de Paula 3104; município de Barra, Bahia.

Peltophorum dubium (Spreng.) Taub. (Leguminosae), conhecida no local por “cana-fístula”; col. J. Elias de Paula 3107; município de Barra, Bahia.

Hymenaea stigonocarpa Hayne (Leguminosae), “jatobá”; col. J. Elias de Paula 3128; município de Barra, Bahia; árvore senil, muito velha.

O inventário dendrométrico foi conduzido nos municípios de Barra e Xique-Xique, estado da Bahia.

Em Barra, o estudo foi realizado em duas parcelas de 400 m² cada, perfazendo um total de 800 m² de caatinga arbórea inundável, a 800 m da margem direita do rio São Francisco, próximo à Lagoa Juazinho (Fazenda Geraldão).

Em Xique-Xique, o inventário dendrométrico foi feito em duas parcelas de 300 m² cada, perfazendo um total de 600 m² de caatinga não inundável e envolveu apenas os espécimes de "jurema-preta" (*Mimosa acutistipula*).

Para o estudo dendrométrico, foram medidos o diâmetro inferior (Di) a 20 cm do solo, do DAP (1,30 m), o superior (Ds) e a altura do fuste (tronco). No que tange aos galhos, foram medidos o diâmetro inferior, o superior e o comprimento de todos os galhos com diâmetro inferior a partir de 5 cm.

O diâmetro dos fustes (Di e DAP) e dos galhos foi medido com uma Suta e, em alguns casos, quando o fuste era muito grosso, usou-se uma fita métrica; o diâmetro superior do fuste foi medido com o relascópio; e a altura do fuste, com o clinômetro e uma vara de 5 m para os fustes mais baixos.

A massa específica foi determinada pela relação direta entre o peso seco (peso constante) e o volume de amostras secas em estufa a temperatura de 105°C até o peso constante.

O volume foi determinado pela fórmula de Smalian: $(A_1 + A_2)/2$, onde A_1 representa a área transversal inferior, A_2 a área transversal superior, e h a altura ou comprimento, conforme o caso. A área basal foi determinada pela fórmula: $0,7854 \times \text{DAP}^2$.

A biomassa total (biomassa do fuste, da copa e da árvore) por m³ de madeira seca, foi calculada com base na massa específica e volume, valor dado em kg. A quantidade de celulose e lignina foi estimada a partir da biomassa total, com base na massa específica, e fator percentual 0,80, valor dado em kg (Correa et al. 1974, 1970, Paula & Conceição 1984, Paula 1989, Barrichelo & Brito 1976, Foelkel & Barrichelo 1975).

A fração parede das fibras, dos vasos e das células parenquimatosas foi determinada pela razão percentual de duas vezes a espessura (e) da parede sobre o diâmetro total (D) da fibra, se for o caso ($100 \times 2e/D$).

O coeficiente de rigidez das fibras foi determinado pela razão percentual do diâmetro do lume (d) sobre o diâmetro: $100.d/D$.

O índice de Runkel é a razão de duas vezes a espessura da parede da fibra sobre o diâmetro do lume ($2e/d$), e na prática tem o mesmo significado do coeficiente de rigidez.

Runkel (1952), com base nesse índice, propôs os seguintes grupos: I, até 0,25 - fibras excelentes para papel; II, 0,25 - 0,50: fibras muito boas para papel; III, 0,50 - 1,0: fibras boas para papel; IV, 1,0 - 2,0: fibras regulares para papel; V, acima de 2,0: não servem para papel.

O coeficiente de flexibilidade das fibras foi determinado pela razão do comprimento (L) sobre a largura (W): L/W (Instituto Interamericano de Ciências Agrícolas 1968, Moreschi 1975).

O diâmetro do lume (d) é a diferença entre o diâmetro total da fibra, ou das células parenquimatosas, ou dos vasos, menos duas vezes a espessura da parede ($D - 2e$).

O percentual de fibras foi determinado com um planímetro, modelo Kaizumi - K27, usando-se fotografias de cortes histológicos transversais da madeira. As fotomicrografias foram obtidas no fotomicroscópio Zeiss - II. As escalas foram fotografadas com o mesmo aumento usado para cada foto.

A contagem de vasos por mm² foi feita usando-se cortes histológicos transversais da madeira e microscópio GFL, com câmara clara, mediante a construção de uma área de 1 mm², usando-se uma escala micrométrica. O resultado apresentado nas Tabelas 1 e 2 é a média de 50 amostragens. O número de raios por mm linear foi conhecido usando-se microscópio com câmara clara, escala micrométrica e cortes histológicos tangenciais. O diâmetro tangencial dos vasos foi medido com uma escala micrométrica, com fator de correção conhecido para cada aumento; igualmente o diâmetro das fibras, das células parenquimatosas, a largura dos raios e a espessura da parede, bem como a altura e a largura dos raios. A largura dos elementos de vasos foi medida com material dissolvido. Utilizou-se a terminologia recomendada por Milanez & Bastos (1960), Conclusões ... (1937), Metcalf & Chalk (1965), Loureiro & Silva (1968), Comissão Panamericana de Normas Técnicas (1974), inclusive no que tange aos intervalos de classes referentes ao diâmetro e número de vasos por mm², altura, largura e número de raios por mm linear.

Com relação à parte anatômica, deixa-se claro que não se trata de estudo anatômico puramente descritivo. É um estudo anatômico aplicado à tecnologia, notadamente à qualificação de madeiras destinadas à geração de energia. As descrições anatômicas de cada madeira aqui apresentadas são suficientes para situá-la dentro dos objetivos do trabalho. Como se sabe, toda madeira de dicotiledôneas tem vasos, fibras e células parenquimatosas. Aqui, não é importante o tipo de parênquima axial ou radial, mas a quantidade desses

elementos. A presença de muito parênquima axial ou radial, por exemplo, diminui consideravelmente a quantidade de celulose e lignina; com efeito, diminui também a qualidade da madeira com vistas à produção de energia (carvão, álcool, coque metalúrgico e lenha).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Para cada espécie, é apresentada, aqui, uma breve descrição da estrutura anatômica da ma-

deira, tendo em vista que os parâmetros para análise de qualidade da madeira constam das Tabelas 1 a 3.

Acacia glomerosa (Fig. 1 e 2). Vasos (poros) predominantemente solitários, ocorrendo também geminados e múltiplos radiais de até 3, diâmetro tangencial de tamanho médio, poucos por mm² fração parede 18%; elementos de vasos com placa de perfuração simples, curtos, 377 micrômetros de comprimento médio, 137 micrômetros de largura, raramente com apêndices curtos, pontuações intervasculares alter-

TABELA 1. Fibras: Parâmetros para análise de qualidade.

Espécies	Quantidade em (%)	L (μm)	e (μm)	D (μm)	W (μm)	d (μm)	2e/d	Grupo de Runkel	L/W	100.2e/D (%)	100.d/D (%)
<i>Acacia glomerosa</i>	50	1056	4,95	13,20	29	6,60	1,0	III	36	66,66	33,34
<i>Bumelia sartorum</i>	68	1159	4,95	13,20	18	3,30	3,0	V	63	75,00	25,00
<i>Geoffraea spinosa</i>	70	724	4,00	13,20	17	6,60	1,0	III	43	60,60	39,40
<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	68	1067	6,60	18,15	16	4,95	2,6	V	67	72,73	27,27
<i>Mimosa acutistipula</i>	67	690	4,00	10,50	16	2,50	3,20	V	44	76,19	23,81
<i>Mouriria guianensis</i>	73	661	5,94	16,50	17	4,62	2,47	V	40	72,00	28,00
<i>Peltophorum dubium</i>	49	978	4,62	19,80	24	10,56	0,88	III	41	46,67	53,33
<i>Triplaris pichau</i>	72	680	4,29	16,50	20	7,08	1,08	IV	32	52,00	48,00

L - comprimento, e - espessura da parede, D - diâmetro total, W - largura da fibra, 2e/d - índice de Runkel, L/W - coeficiente de flexibilidade, 100.2e/D - fração parede, 100.d/D - coeficiente de rigidez.

TABELA 2. Vasos, raios e parênquima axial.

Espécies	Diâmetros de vasos (μm)	Vaso (mm ²)	Vaso 100.2e/D (%)	Raios altura (mm)	Raios largura (μm)	Raios mm linear	Células dos raios 100.2./D (%)	Parênquima axial	Célula parênquima axial 100.2e/D (%)
<i>Acacia glomerosa</i>	164	5	4,7	0,30	49	3,5	20	Frequente	13,33
<i>Bumelia sartorum</i>	98	25	11,17	0,14	19	8,6	17	Frequente	14,29
<i>Geoffraea spinosa</i>	70	18	17,39	0,11	17	20	20	Frequente	20,00
<i>Mimosa acutistipula</i>	145	13	14,55	0,26	25	10	25	Frequente	22,00
<i>Mouriria guianensis</i>	67	6	14,29	0,19	16	20	24	Escasso	-
<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	192	4	13,33	0,39	66	5	28	Frequente	12,31
<i>Peltophorum dubium</i>	169	4	6,67	0,12	19	10	23	Frequente	25,00
<i>Triplaris pichau</i>	157	10	11,43	0,15	24	8	25	Escasso	-

TABELA 3. Parâmetros dendrométricos e biomassa.

Espécies	Nº de indivíduos	ME (g/cm ³)	Volume do fuste (m ³)	Volume da copa (m ³)	Volume da árvore (m ³)	Biomassa do fuste (kg)	Biomassa da copa (kg)	Biomassa da árvore (kg)	Celulose e lignina (kg)	Área basal (m ²)
<i>Acacia glomerosa</i>	9	0,76	3,2441	1,2704	4,5145	2465,52	965,50	3432,02	2745,00	0,398
<i>Mouriria guianensis</i>	5	0,83	1,8200	4,9497	6,7697	1510,60	4108,25	5619,00	4495,08	0,445
<i>Triplaris pichau</i>	2	0,76	1,1717	1,8606	3,0313	889,73	1414,06	2303,79	1843,03	0,164
<i>Geoffraea spinosa</i>	4	0,66	6,2700	2,2539	8,5239	4138,20	1487,57	5625,77	4500,62	1,020
<i>Hymenaea stilbocarpa</i>	2	0,80	0,2651	0,3828	0,6479	212,08	306,24	518,32	414,66	0,044
<i>Peltophorum dubium</i>	1	0,75	2,5909	2,7072	5,2981	1943,18	2030,40	3973,58	3178,86	0,502

ME - massa específica.

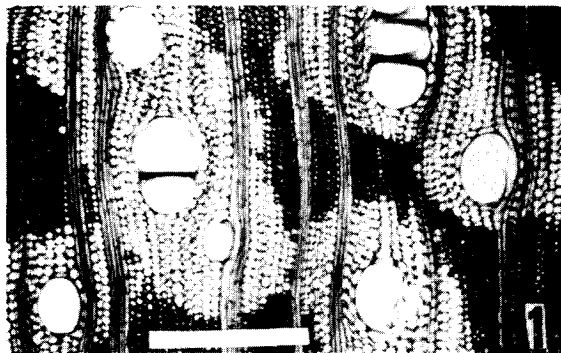


FIG. 1. *Acacia glomerosa*: corte transversal, mostrando parênquima axial (partes brancas ao redor dos vasos) e fibras (partes pretas). Escala de 200 micrômetros.

nas, guarnecidas, com abertura excluída e coalescente. **Parênquima axial**, paratraqueal, abundante, conflúente e vasicêntrico, fração parede das células parenquimatosas 13%, células pararenquimatosas raramente com cristais rômnicos de oxalato de cálcio. **Raios homogêneos**, predominantemente 3-4 seriados, extremamente baixos, finos, poucos por mm linear, fração parede das células radiais 20%. **Fibras curtas**, de paredes moderadamente finas (Tabelas 1 e 2).

Bumelia sartorum (Fig. 3 e 4). **Vasos solitários**, distribuídos em faixas moderadamente diagonais, às vezes radiais, de diâmetro tangencial pequeno, muito numerosos, fração parede 13,3%; elementos de vasos curtos, 385 micrômetros de comprimento médio, 89 micrômetros de largura média, com apêndice em uma das extremidades, placas de perfuração simples, total; pontuações intervaseculares alternas com abertura incluída. **Parênquima axial**, pouco, apotraqueal subagregado, fração parede das células parenquimatosas 18%. Camadas de crescimento pouco nítidas. **Raios homogêneos**, predominam 2-3 seriados, muito finos, extremamente baixos, numerosos, fração parede das células radiais 18,18%. **Fibras curtas**, de paredes espessas (Tabelas 1 e 2).

Geoffraea spinosa (Fig. 5 e 6). **Vasos solitários**, geminados e múltiplos radiais de até quatro elementos, sem predominância de nenhum deles, diâmetro tangencial pequeno, numerosos, fração parede 17%; elementos de vasos

muito curtos, 181 micrômetros de comprimento médio, 124 micrômetros de largura, em média, placa de perfuração simples, pontuações intervaseculares alternas, guarnecidas, com abertura parcialmente excluída. **Parênquima axial**, paratraqueal, freqüente, em faixas curtas confluentes, às vezes apotraqueal, fração parede das células parenquimatosas 20%. **Raios heterogêneos**, 1-2 seriados, extremamente baixos, muito finos, muito numerosos, fração parede das células radiais 20%; raramente ocorrem células radiais raio com cristais rômnicos de oxalato de cálcio. **Fibras extremamente curtas**, de paredes moderadamente finas.

Hymenaea stilbocarpa (Fig. 7 e 8). **Vasos predominantemente solitários**, ocorrendo também geminados e múltiplos radiais de até quatro elementos, diâmetro tangencial pequeno, pouco numerosos, fração parede 14%; elementos de vasos curtos, 369 micrômetros de comprimento médio, 162 micrômetros de largura média, com placa de perfuração simples, raramente com apêndice; pontuações intervaseculares alternas, guarnecidas, com abertura parcialmente excluída. **Parênquima axial**, freqüente, paratraqueal, aliforme com distensão triangular, unilateral, vasicêntrico com extensão losangular, às vezes apotraqueal marginal, fração parede das células parenquimatosas 12%. **Raios homogêneos**, predominantemente 3-6 seriados, extremamente baixos, estreitos, poucos por mm linear, fração parede das células radiais 11,5%. **Fibras curtas**, de paredes espessas.

Mimosa acutistipula (Fig. 9 e 10). **Vasos solitários**, geminados e múltiplos radiais de até cinco elementos, sem predominância de nenhum deles, sempre com mucilagem, diâmetro tangencial de tamanho médio, numerosos, fração parede 15%; elementos de vasos muito curtos, 221 micrômetros de comprimento médio, 98 micrômetros de largura média, placa de perfuração simples, pontuações guarnecidas, alternas, com abertura incluída. **Parênquima axial**, freqüente, paratraqueal, vasicêntrico, em faixas confluentes, fração parede das células parenquimatosas 22%. Camadas de crescimento pouco distintas; ocorrem células parenquimatosas com cristais rômnicos de oxalato de cálcio.

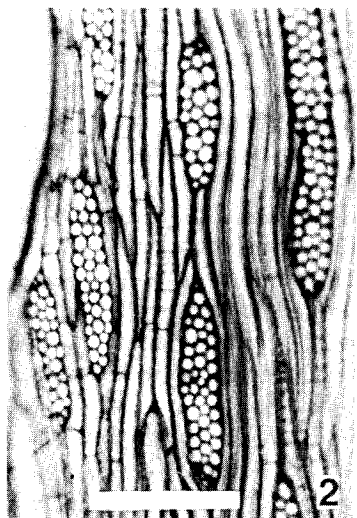


FIG. 2. *Acacia glomerosa*: corte tangencial, mostrando raios (partes claras) e fibras (partes estriadas). Escala de 200 micrômetros.

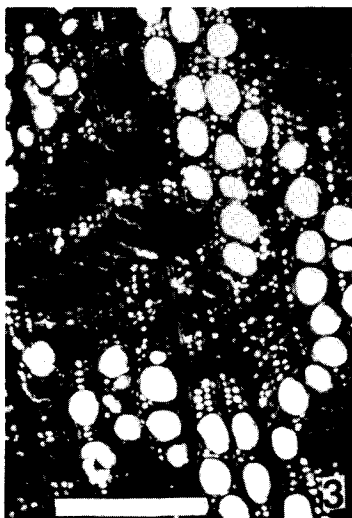


FIG. 3. *Bumelia sartorum*: corte transversal, mostrando vasos (partes semicirculares claras), fibras (partes pretas e parênquima axial (pontos claros). Escala de 200 micrômetros.

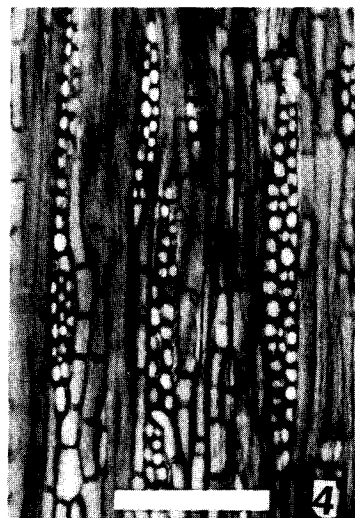


FIG. 4. *Bumelia sartorum*: corte tangencial mostrando raios (fitas claras) e fibras (partes estriadas). Escala de 200 micrômetros.



FIG. 5. *Geoffrea spinosa*: corte transversal mostrando parênquima axial (faixas curtas claras) e fibras (fitas estreitas claras). Escala de 200 micrômetros.

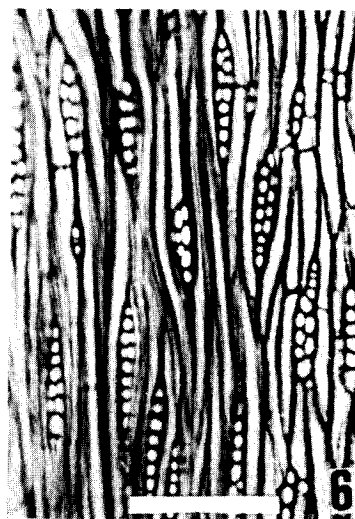


FIG. 6. *Geoffrea spinosa*: corte tangencial onde se vêem raios (fitas curtas claras) e fibras (partes estriadas). Escala de 200 micrômetros.

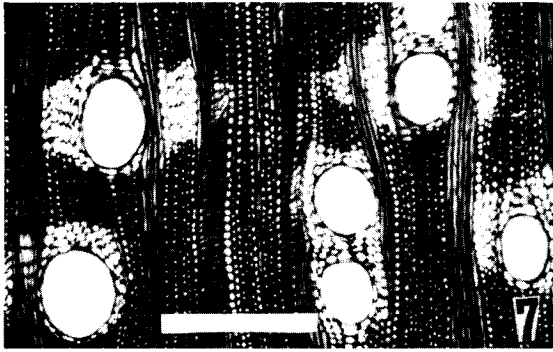


FIG. 7. *Hymenaea stilbocarpa*: corte transversal mostrando parênquima axial envolvendo os vasos, raios largos e fibras. Escala de 200 micrômetros.

Raios homogêneos, predominam os 2-seriados, ocorrendo também 1 e 3 seriados, extremamente baixos, numerosos, muito finos, fração parede das células radiais 22,2%. Fibras, extremamente curtas, de parede muito espessas.

Mouriria guianensis (Fig. 11 e 12). Vasos solitários predominantes, em geral cheios de mucilagem, raramente em tilos, de diâmetro pequeno, pouco numerosos, fração parede 14%; elementos de vaso curtos, 352 micrômetros de comprimento, 137 micrômetros de largura média, com placa de perfuração simples, as vezes com apêndices curtos; pontuações intervasculares alternas, muito pequenas, com abertura inclusa. Parênquima axial, escasso, apotraqueal, representado por faixas estreitas e células isoladas ou grupos de células, às vezes paratraqueal, em faixas estreitas tangenciais aos vasos, fração parede das células parenquimatosas 9%. Ocorrem com frequência cordões de floema incluso, do tipo foraminado, com cristais rômnicos de oxalato de cálcio, bem como máculas medulares. Raios heterogêneos, predominantemente 1-seriados, extremamente baixos, muito finos, muito numerosos, fração parede das células radiais 24%. Fibras, extremamente curtas, de paredes espessas.

Peltophorum dubium (Fig. 13 e 14). Vasos solitários, geminados e múltiplos radiais de até cinco elementos, às vezes múltiplos agrupados, sem predominância de nenhum deles, diâmetro tangencial de tamanho médio, poucos por mm²,

fração parede 6,67%; elementos de vasos curtos, 327 micrômetros de comprimento médio, 176 micrômetros de largura média, placas de perfuração simples; pontuações intervasculares alternas, guarnecidas. Camadas de crescimento evidentes em algumas partes. Parênquima axial, paratraqueal, distribuição muito irregular, freqüente, vasicêntrico, ocorre também apotraqueal em faixas entre os raios, com 1 a 3 camadas de células, curtas ou longas, fração paredes das células parenquimatosas 25%; ocorrem células parenquimatosas encerrando concentrações silicosas. Raios homogêneos, predominantemente 2-seriados, extremamente baixos, muito finos, numerosos, fração parede das células radiais 23%; são freqüentes células do raio com cristais rômnicos de oxalato de cálcio. Fibras, muito curtas, de paredes moderadamente finas.

Triplaris pachau (Fig. 15 e 16). Vasos solitários, geminados e múltiplos radiais de até quatro elementos, diâmetro tangencial de tamanho médio, pouco numerosos, fração parede 11%, freqüentes vasos com tilos; elementos de vasos curtos, 452 micrômetros de comprimento médio, 128 micrômetros de largura média, em geral com apêndice curto, às vezes longos; placa de perfuração simples; pontuações intervasculares alternas, muito pequenas, com abertura inclusa. Camadas de crescimento evidentes. Parênquima axial, escasso. Raios homogêneos, predominantemente 2-3 seriados, extremamente baixos, muito finos, numerosos, fração parede das células radiais 25%; são freqüentes células do raio com cristais rômnicos de oxalato de cálcio e concreções silicosas. Fibras, extremamente curtas, de paredes moderadamente finas; são freqüentes fibras septadas.

Nos 800 m² de caatinga inundável, foram inventariadas 23 árvores, sendo 9 de *Acacia glomerosa*, 4 de *Geoffraea spinosa*, 2 de *Hymenaea stilbocarpa*, 1 de *Peltophorum dubium*, 5 de *Mouriria guianensis* e 2 de *Triplaris pachau*. Os resultados dendrométricos são os seguintes: 28,7854 m³ de madeira, 21.471 toneladas de madeira seca (biomassa total), das quais 17.176 toneladas, são celulose e lignina. A madeira da copa (dos galhos) corresponde a 48% (10,306 t)

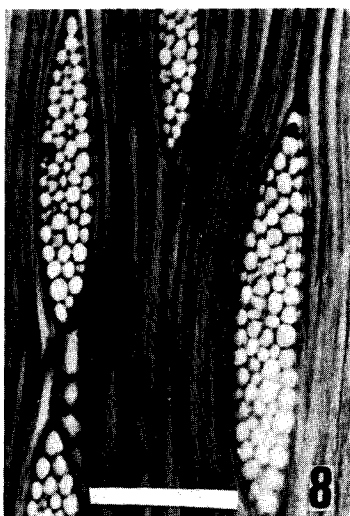


FIG. 8. *Hymenaea stilbocarpa*: corte tangencial mostrando raios (fitas largas claras) e fibras (partes estriadas escuras). Escala de 200 micrômetros.

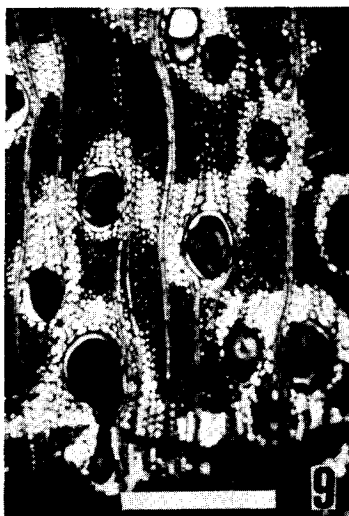


FIG. 9. *Mimosa acutistipula*: corte transversal mostrando parênquima axial (partes brancas), vasos com mucilagem e fibras (partes negras). Escala de 200 micrômetros.

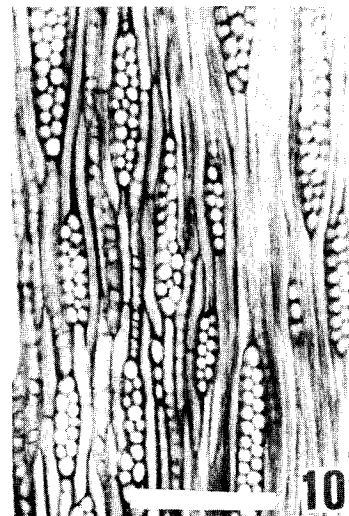


FIG. 10. *Mimosa acutistipula*: Corte tangencial onde se vêem raios (fitas claras), fibras (partes estriadas) e cristais rômnicos de oxalato de cálcio (entre fibras). Escala de 200 micrômetros.

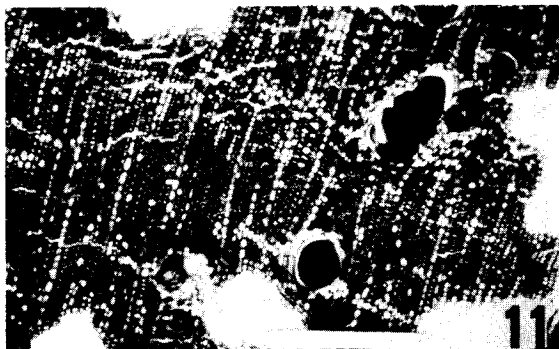


FIG. 11. *Mouriria guianensis*: corte transversal mostrando floema incluído (áreas grandes brancas), parênquima axial (pontos brancos) e fibras (partes negras). Escala de 200 micrômetros.

da madeira do tronco (Tabela 3). A área basal ocupada pelos 23 troncos é da ordem de 2,55 m².

Nos 600 m² de caatinga não inundável foram inventariadas 59 arvoretas de *Mimosa acutistipula*. Foram computados 3,4240 m³ de madeira que resultaram 3,63 toneladas de madeira seca

(biomassa total), das quais 2,90 ton são celulose e lignina. Ressalte-se que a massa específica dessa espécie é 1,06 g/cm³.

O *Eucalyptus* com 7 anos de idade produz em média 109 toneladas de madeira seca por hectare, ou seja, 10,9 kg/m² (Ferreira & Timoni 1978), enquanto que na caatinga inundável o rendimento foi da ordem de 26,83 kg/m² e o rendimento de *Mimosa acutistipula* foi de 6,05 kg de madeira seca por m² de área.

A fração parede indica o percentual de lignina e celulose em relação ao espaço ocupado pela fibra, ou pelo vaso ou pela célula parenquimatosa, portanto, quanto mais alta for a fração parede mais celulose e lignina terá a fibra.

O coeficiente de rigidez indica o grau de achatamento (colapso) que sofrem as fibras durante o processo de fabricação de papel e quanto maior for esse coeficiente, maior será o grau de colapso.

O coeficiente de flexibilidade, conhecido também por índice de feltragem, indica a aptidão das fibras a formarem feltros.

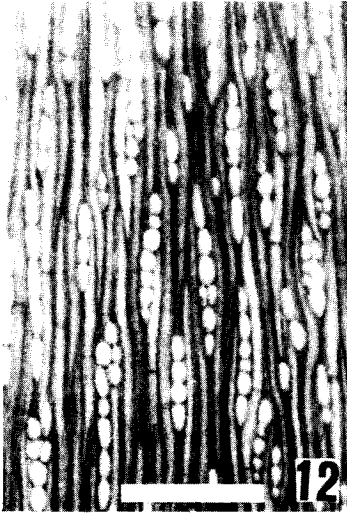


FIG. 12. *Mouriria guianensis*: corte tangencial mostrando raios predominantemente 1-seriados. Escala de 200 micrômetros.

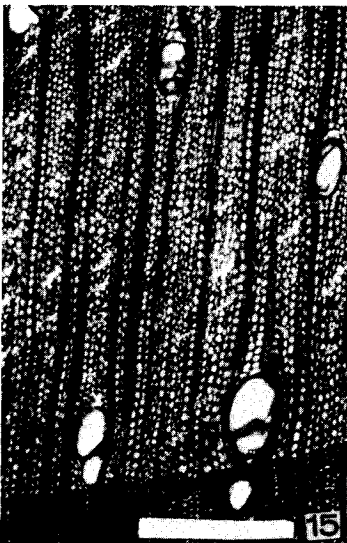


FIG. 15. *Triplaris pachau*: corte transversal mostrando lenho primaveril e tardio (limite entre a parte mais clara e negra), parênquima axial escasso e fibras (partes claras e negras). Escala de 200 micrômetros.

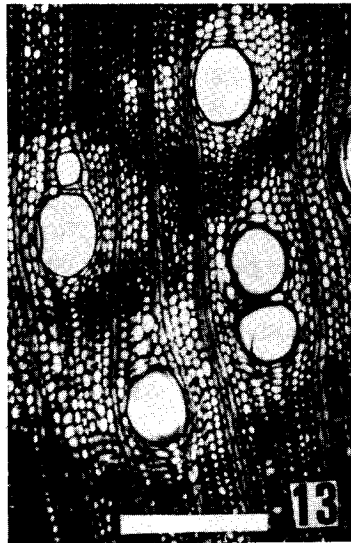


FIG. 13. *Peltophorum dubium*: corte transversal mostrando parênquima axial (partes brancas contíguas aos vasos), raios (fitas estreitas escuras) e fibras (partes negras). Escala de 200 micrômetros.

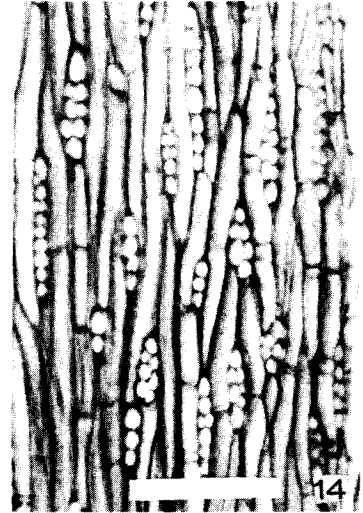


FIG. 14. *Peltophorum dubium*: corte tangencial onde se vêem raios 1-2 seriados. Escala de 200 micrômetros.

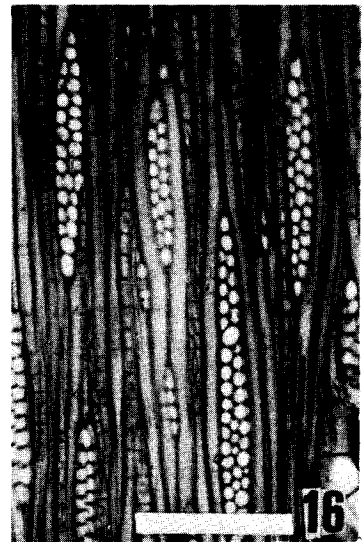


FIG. 16. *Triplaris pachau*: corte tangencial mostrando raios 2-3 seriados e cristais rômnicos de oxalato de cálcio e concreções silíceas. Escala de 200 micrômetros.

Os estudos que temos realizado no decorrer de vários anos têm por escopo descobrir madeiras nativas com alto teor de celulose e lignina, tendo em vista que, no caso da madeira, a celulose e a lignina são as substâncias básicas utilizadas para a geração de energia. Portanto, do ponto de vista econômico e ecológico, as madeiras ricas em celulose e lignina são as mais viáveis e promissoras para a produção de energia. As madeiras com alto teor de lignina e celulose, bem como as que têm alto peso específico, são as que possuem muitas fibras de paredes espessas, portanto, com fração parede alta, baixa frequência de vasos de diâmetro grande por mm^2 , poucos raios baixos e estreitos por mm linear, parênquima axial pouco ou escasso, ou ausente.

A fração parede baixa dos vasos, das células parenquimatosas e das fibras de paredes finas indica baixo teor de celulose e lignina. As paredes dos elementos celulares constituintes da madeira são formadas basicamente de celulose e lignina, portanto, quanto mais espessas forem as paredes, mais alta será a fração parede e, conseqüentemente, mais celulose e lignina terá a madeira. A fração parede indica, percentualmente, o espaço ocupado pela parede celular. Se a fração parede for de 80%, indica que esse percentual é, basicamente, celulose e lignina, e o restante (20%) do espaço total ocupado pela célula é o citoplasma, portanto, carente de lignina e celulose. Produzindo mais toneladas de madeira por hectare, com espécies altamente produtoras de lignina e celulose para atender a demanda de madeira para geração de energia, seguramente menos espaços serão ocupados com formação de florestas heterogêneas energéticas.

O parênquima axial e radial é constituído de células parenquimatosas de lume grande em relação ao diâmetro total. Se o lume é grande, a parede é fina, logo a fração parede é igualmente baixa, variando entre 12 e 30%. Enfatiza-se que as madeiras com muitos vasos de diâmetro grande, alta frequência de raios altos e largos, ricas em fibras de paredes finas e abundância de parênquima axial, não servem para geração de energia do ponto de vista econômico. Madeiras

com essas características são leves e de peso específico baixo. Friza-se, também que, no caso da madeira, o álcool é obtido através de hidrólise ácida da celulose, ou pelo processo de pirólise da celulose, e o coque metalúrgico é obtido pelo processo de carbonização da lignina. Esse coque é um tipo de carvão que substitui o carvão mineral importado para uso nos altos fornos siderúrgicos para produção de aços especiais. Daí a importância de se conhecer as madeiras indígenas altamente acumuladoras de energia, ou seja, ricas em celulose e lignina, não só da caatinga como das demais regiões do País.

A fração parede (46,67%) das fibras de *Peltophorum dubium* é muito baixa; no entanto, o peso específico dessa espécie é de $0,75 \text{ g/cm}^3$, portanto, contrastante em relação à fração parede. Seguramente, a fração parede alta, entre 23 e 25% das células parenquimatosas, foi o fator que contribuiu para o aumento da biomassa, favorecendo a elevação do peso específico. Sendo senil a árvore estudada, reforça a nossa tese, segundo a qual, madeira de árvores plenamente adultas apresenta mais biomassa por m^3 de madeira (Paula 1981, 1983). A massa específica de uma árvore jovem de *Peltophorum dubium* é de $0,51 \text{ g/cm}^3$, e a fração parede, 37% (Paula 1985).

Agostinho & Mattos (1977), Rizzini & Mattos (1960) afirmam que a madeira de *Curatella americana* L. e *Dalbergia violacea* (Vog.) Malme possui fibras de paredes finas e espessas no mesmo indivíduo. Parece haver equívoco nessas afirmações, pois não existe madeira com fibras de paredes finas e espessas no mesmo tronco. Se isso fosse verdade, como seria possível selecionar madeiras para produção de papel? As madeiras mais apropriadas para produção de papel são as ricas em fibras de paredes finas. Esclarece-se que nos cortes transversais as fibras são seccionadas em vários níveis, inclusive nas extremidades onde o lume é bem reduzido, e na porção mediana onde o lume é bem maior em relação ao da parte próxima às extremidades. A fração parede das fibras é bem clara nesse sentido.

Acredita-se na viabilidade de formação de grandes maciços florestais heterogêneos na caatinga e agreste, notadamente na caatinga

inundável, com espécies locais, destinadas à produção de lenha e carvão. A “jurema-preta” (*Mimosa acutistipula*) é uma excelente essência madeirável, que bem se presta para esse fim.

Na caatinga *Mimosa acutistipula* ocorre formando grandes populações. Quando ocorrem perturbações do solo para prática agrícola ou para construção de estradas, *Mimosa acutistipula* é a primeira a se instalar com muito vigor, especialmente quando as práticas agrícolas cessam. Além disso, ela brota ao nível do solo quando ainda planta jovem, formando uma touceira adulta de até seis indivíduos. Sua força de regeneração por brotamento continua, mesmo quando os indivíduos adultos são cortados, tornando-se perene. Normalmente, na caatinga e no agreste os habitantes locais tiram lenha de “jurema-Preta” e de outras espécies quando os indivíduos atingem oito anos de idade. A madeira é usada em fogões domésticos, padarias, olarias, em fornos para secar farinha de mandioca, para carvão e estacas de cercas.

Sampaio (1978) cita duas espécies ocorrentes na caatinga: *Euphorbia tirucalli* L. “avalós” e *Opuntia ficus-indica* Mill., “palma-de-espinho”, como sendo MAC. O conhecimento de espécies da caatinga e agreste com esse tipo de metabolismo é de fundamental importância no que tange à formação de fitomassa destinada à geração de energia. Estudo fisiológico neste sentido deve ser desenvolvido com prioridade. Para tanto, sugerem-se algumas espécies: *Zizyphus joazeiro* Mart., oiticica (*Licania rigida* Benth.); mucunã (*Dioclea grandiflora* Mart.), produtora de amido; *Mimosa acutistipula*; catingueira (*Caesalpinia pyramidalis* Tul.); baraúna (*Schinopsis brasiliensis* Engl.); *Piptadenia stipulacea* (Benth.) Ducke; *Croton jacobinensis* Baill., marmeleiro, *Mimosa caesalpiniaefolia* Benth., *Acacia farnesiana* Willd., e madeira-nova (*Pterogyne nitens* Tull.).

CONCLUSÕES

1. Dentre as espécies aqui estudadas, as mais viáveis para geração de energia são: *Geoffrea spinosa*, *Hymenaea stilbocarpa*, *Mouriria guianensis*, *Mimosa acutistipula*, *Bumelia sartorum* e

Triplares pachau. Ressalte-se que a massa específica de *Bumelia sartorum* é 0,90 g/cm³.

2. Com base nos resultados dendrométricos e por estimativa, seguramente um hectare de caatinga inundável terá 268,37 ton de madeira seca e 300 árvores; e se promover enriquecimento, plantando-se 625 árvores por hectare, por exemplo, o rendimento de madeira será bem maior. Do mesmo modo, igualmente por estimativa, conclui-se que num hectare de caatinga não inundável, *Mimosa acutistipula* produzirá 60,50 ton de madeira seca e a quantidade de arvores será 966.

3. A fração parede dos elementos de vasos, das células dos raios e do parênquima axial é sempre baixa, donde se depreende que madeiras com muitos vasos, de diâmetro grande e muito parênquima axial e radial não devem ser usadas para produção de energia, dado o baixo teor de celulose e lignina. Madeira rica em fibras de parede fina, também não deve ser usada para geração de energia.

4. A massa específica é um parâmetro que também deve ser usado como subsídio à qualificação de madeira destinada à geração de energia, pois quanto mais alto for esse parâmetro, maior será o rendimento de energia, em virtude do maior teor de celulose e lignina.

REFERÊNCIAS

- AGOSTINHO, P.M.; MATTOS, A. Estrutura das madeiras de angiospermas dicotiledôneas. Dilleniaceae. (*Curatella americana* L.). *Rodriguesia*, Rio de Janeiro, v.42, p.233-246, 1977.
- ANCIÃES, A.W.F. Avaliações tecnológicas do álcool etílico. 3. ed. Brasília: CNPq, 1981. 514p.
- O BIODIGESTOR da EMBRAPA. CNP - Atualidades, Brasília, v.77, p.31-32, 1981.
- BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O. A madeira das espécies de eucalipto como matéria prima para a indústria de celulose e papel. *PRODEPEF*, Brasília, v.13, p.19-145, 1976.
- BEZERRA, J.A. A volta do gasogênio. CNP - Atualidades, Brasília, v.68, p.45-47, 1979.
- BISANZ, R. Utilização de algas arribadas na produção de gás metano. Recife: SUDENE, 1981. p.109-117. (Boletim de Recursos Naturais, 9).
- Pesq. agropec. bras., Brasília, v.28, n.2, p.153-165, fev. 1993.

- BRASIL. Ministério da Agricultura. **Produção de etanol da madeira**. Brasília, 1983. (Cadernos Coalbra, v.1).
- CANESTRI FILHO, J.A. **Independência energética do pantanal matogrossense**. Corumbá: EMBRAPA-CPAP, 1981. 53p. (EMBRAPA-CPAP. Boletim Técnico, 9).
- COMISSÃO PANAMERICANA DE NORMAS TÉCNICAS. Norma Copant. In: _____ **Maderas**. Assunção, 1974. v.30, p.1-19.
- CONCLUSÕES e recomendações da Primeira Reunião de Anatomistas de Madeiras. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v.11, p.306-384, 1937.
- CORRÊA, A.A.; LOBATO, R.F.; RIBEIRO, E.P.B. **Estudo papreiro de madeiras da Amazônia**. Manaus: INPA, 1970. 36p.
- CORRÊA, A.A.; RIBEIRO, E.P.B.; LUZ, C.N.R. Estudo papreiro de maciços florestais da Amazônia. **Acta Amazonica**, Manaus, v.4, n.2, p.23-46, 1974.
- FERREIRA, C.A.; TIMONI, J.L. Contribuição ao estudo de delimitação da época de corte em povoamento de *Eucalyptus* spp. **Silvicultura**, São Paulo, v.14, p.85-86, 1978. Edição Especial.
- FOELKEL, C.E.; BARRICHELO, L.E.G. **Estudo comparativo das madeiras de *Eucalyptus* spp., para produção de celulose sulfato**. Piracicaba, São Paulo: IPEA, 1975. p.17-37. (IPEA. Boletim Técnico, 20).
- GONZALEZ, J.F. **Energias renováveis y medio ambiente**. Madrid: [s.n.], 1981. 67p. (Série Monografias).
- INSTITUTO DE PESQUISAS DA MARINHA. **Manual dos Biodigestores**. Marinha II e III. Rio de Janeiro: [s.n., 19..]. 46p. il.
- INSTITUTO INTERAMERICANO DE CIÊNCIAS AGRÍCOLAS. **The Wood Technology**. Costa Rica, 1968. 134p.
- LOUREIRO, A.A.; SILVA, M.F. **Catálogo das madeiras da Amazônia**. Belém: [s.n.], 1968. 2v, v.2, 411p. il.
- METCALF, C.R.; CHALK, L. **Anatomy of dicotyledons**. Oxford: [s.n.], 1965. 2v, v.1, 724p., il.
- MILANEZ, F.R.; BASTOS, A.M. Glossário dos termos usados em anatomia de madeira. **Anuário Brasileiro de Economia Florestal**, Rio de Janeiro, v.12, p.418-442, 1960.
- MORESHI, J.C. **Levantamento da qualidade da madeira em plantações artificiais de *Pinus elliottii* nos Estados do Sul do Brasil**. Curitiba: Escola de Florestas, 1975. 148p. Tese de Mestrado.
- PAULA, J.E. de. Espécies nativas com perspectivas energéticas. **Silvicultura**, São Paulo, v.16A-2, p.1259-1315, 1982.
- PAULA, J.E. de. Estudo da estrutura anatômica da madeira de espécies nativas, visando seu aproveitamento na produção de energia e papel. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v.41, n.4, p.344-353, abr. 1989. 21 Fig. 1989.
- PAULA, J.E. de. Estudo das estruturas internas das madeiras de 16 espécies da flora brasileira, visando seu aproveitamento na produção de álcool, coque, carvão e papel. **Brasil Florestal**, Brasília, v.47, p.23-50, 1981.
- PAULA, J.E. de. Estudo de madeiras indígenas, visando seu aproveitamento na geração de energia. **CNP-Atualidades**, Brasília, v.92, p.13-23, 1985.
- PAULA, J.E. de. Exploração de recursos naturais renováveis, conservação e preservação dos respectivos ecossistemas. **Brasil Florestal**, Brasília, v.56, p.5-29, 1983.
- PAULA, J.E. de.; CONCEIÇÃO, C.A. Biogás a partir de plantas aquáticas do Pantanal. **CNP-Atualidades**, Brasília, v.90, p.32-34, 1984.
- PENIDO, P.F. **O álcool combustível**. São Paulo: Nobel, 1980. 265p.
- RIZZINI, C.T.; MATTOS, A. Contribuição ao estudo da caviuna do Cerrado. **Rodriguesia**, Rio de Janeiro, v.35, p.213-228, 1960.
- RUNKEL, R.O.H. Pulp from tropical wood. **TAPPI**, Hamburgo, v.35, n.4, p.174-178, 1952.

- SAMPAIO, E.S.B. 13c/12C em plantas. **Caderno Ômega**, Recife, PE, v.2, n.1, p.19-38, 1978.
- SILVA, F.A. Alternativas energéticas brasileira. **CNP - Atualidades**, Brasília, v.73, p.33-40, 1981.
- ZAKIA, M.J.B.; VERSLY, P.E.C. **O consumo anual de energéticos florestais no Rio Grande do Norte**. Natal: IBAMA, 1990. p.1-9. (Boletim Técnico, 51).