

**RESÍDUOS DE INDÚSTRIA MADEIREIRA:
CARACTERIZAÇÃO, CONSEQUÊNCIAS SOBRE O MEIO AMBIENTE E OPÇÕES
DE USO.**

Reinaldo I. J. P. Dutra, Suziane M. do NASCIMENTO

Engenheiro Ambiental pela Universidade do Estado do Pará Engenharia Florestal (FCAP)

Prof. Dr Sueo NUMAZAWA

Professor Dr. Da Universidade Federal Rural da Amazônia

RESUMO

O estudo teve como objetivo caracterizar os resíduos de indústria madeireira, as consequências que os mesmos podem causar ao meio ambiente e quais as alternativas de uso. Para tal, foi realizado um levantamento de campo para quantificar o volume de resíduos, com dados coletados a partir de uma serraria localizada no município de Mojú - PA, possibilitando a análise física dos mesmos no laboratório da LTPF – UFRA para determinação de seus usos. Verificou-se que a indústria possui uma logística rudimentar, ou seja, seu sistema de produção apresentou baixo rendimento, gerando grande quantidade de resíduos, sugerindo que os mesmos possam ser utilizados em artefatos.

PALAVRAS-CHAVE: resíduo de madeira, impacto ambiental, combustão e pirólise.

ABSTRACT

The study had as objective characterize the residues of wood industry, consequences about environment and use alternative. For such, was

accomplished a field rising to quantify the volume of residues, with data collected from a sawmill located of the municipal district of Mojú-PA, making possible her analyzes physics of the same ones in the laboratory of LTPF–UFRA for determination of their uses. It was verified that industry had a logistics rudimentary possesses, in other words, her production system presented low revenue, generating great amount of residues, suggesting that the same ones was used in workmanships.

-KEY WORD: wood residue, environmental impact, combustion and pirolise.

1. INTRODUÇÃO

Nos últimos 20 anos, a Amazônia Oriental tornou-se a principal região produtora de madeira do Brasil (VERÍSSIMO *et al.*, 1992). Muito deste crescimento ocorreu no Estado do Pará, principalmente na parte oriental, próximo ao município de Paragominas. O número de fábricas de laminados e serrarias saltou de duas, com uma produção total de madeira de 8.600 m³ em 1970, para duzentos e trinta e oito, com uma produção de mais de 1,2 milhão de m³ em 1990 (VERÍSSIMO *et al.*, 1992). Atualmente, a maioria desta produção esta sendo absorvida pela demanda nacional de madeira.

As indústrias madeireiras geram grande quantidade de resíduos, apresentando um baixo rendimento, que dispersos ao meio ambiente podem trazer sérios problemas de poluição, especialmente, em sua incineração sem um prévio controle ambiental.

Segundo FONTES (1994), encontramos a carbonização e a combustão da madeira, como uma das alternativas de redução dos resíduos de indústrias madeireiras, porém o processo, apesar de reduzi-los, gera impactos ao meio ambiente através da liberação de gases e derivados, com isso, a utilização desses

resíduos em artefatos torna-se a solução menos impactante ao meio.

Dessa forma o presente trabalho consistiu em caracterizar os resíduos de madeira, estimar as quantidades de emissões de efluentes gerados durante os processos de combustão e carbonização (pirólise), e a redução destas emissões ao transformar o resíduo em artefatos. Para embasar o estudo sobre a caracterização dos resíduos de indústrias madeireiras, a coleta de dados deu-se em uma indústria madeireira chamada SAMAD SARAPUÌ MADEIRAS LTDA, localizada na PA-150, Km 01, Município de Mojú-PA, pertencente a Mesorregião do Nordeste Paraense e à Microrregião de Tomé-Açu. A sede municipal apresenta as seguintes coordenadas geográficas: 01° 53' 10"S 48° 46' 00" W Gr, distante a 61 Km da capital Belém em linha reta. Em seu empreendimento consta uma serra fita, duas destopadeiras e dois balancins, maquinários responsáveis pela produção de madeira serrada diariamente.

1.1. Caracterização dos resíduos de madeira

- **Classificação dos resíduos.**

Resíduo: é tudo aquilo que sobra de um processo de produção industrial ou exploração florestal (FONTES, 1994).

Segundo FONTES (1994) o extinto IBDF (Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal) e a Universidade Federal do Paraná classificaram os resíduos em três tipos distintos, ou seja:

a) serragem - resíduo originado da operação de serras, encontrado em todos os tipos de indústria, à exceção das laminadoras.

b) cepilho - conhecido também por maravalha, resíduo gerado pelas plainas nas instalações de serraria/beneficiamento e beneficiadora (indústrias que adquirem a madeira já transformada e a processam em componentes para móveis, esquadrias, pisos, forros, etc.).

c) lenha - resíduo de maiores dimensões, gerado em todos os tipos de indústria,

composto por costaneiras, aparas, refilos, resíduos de topo de tora, restos de lâminas.

- **Caracterização física da madeira (Densidade e Poder Calorífico).**

- **Densidade**

Os resíduos ligno-celulósicos geralmente apresentam baixa densidade, elevado teor de umidade e são dispersos geograficamente, encarecendo a coleta e o transporte, dificultando seu aproveitamento energético. Apresentam uma grande diversidade de formas e granulometria variada. Portanto, uma característica bastante comum dos resíduos é a heterogeneidade. No caso específico de resíduos de madeira há uma variação muito grande da densidade que vai de 0,16 a 1,3 g/cm³, para madeiras consideradas leves podemos encontrar densidades entre 0,49 a 0,55 g/cm³ seca ao ar, para madeiras moderadamente pesada tem-se entre 0,63 a 0,71 g/cm³ também seca ao ar e para madeiras pesadas encontramos 0,76 a 0,82 g/cm³, seca ao ar (SUDAM, 1983).

- **Poder calorífico**

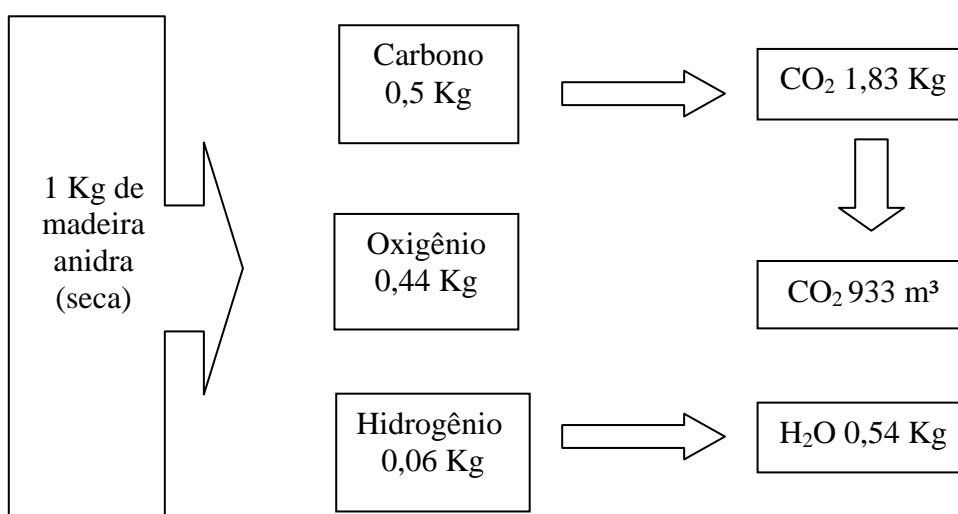
O poder calorífico da madeira (resíduos) consiste na quantidade de calor liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível. A unidade mais usada no Brasil para combustíveis sólidos é a kcal/kg ou cal/g. Para combustíveis gasosos é cal/m³. Sua determinação pode ser teórica pelo conhecimento da composição química do combustível ou experimental com o auxílio da bomba calorimétrica.

O poder calorífico superior da madeira seca (teor de umidade 0%) está em torno de 4000 Kcal/Kg e 4700 a 4800 Kcal/Kg para madeira anidra (BRITO, 1993). O aspecto que diminui mais a eficiência da madeira como combustível é o teor de

umidade que pode atingir até 100% do peso da madeira seca.

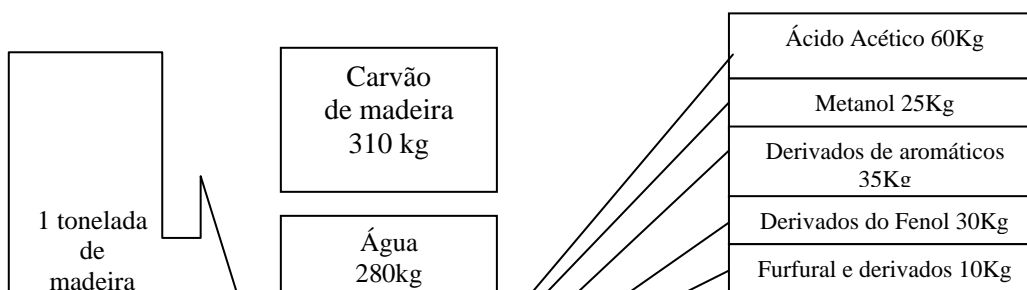
- **Combustão e Pirólise**

A madeira apresenta em sua composição química as seguintes percentagens de substâncias: carbono (C) 50%, Hidrogênio (H) 6% e oxigênio (O) 44%, que no processo de combustão libera CO_2 e H_2O (GUIDE CARBONISATION, 1985), conforme mostra figura1, abaixo:



Fonte: Guido technique de la carbonisation la fabrication du charbon de bois.
Figura 1 – Produtos obtidos a partir de 1Kg de madeira anidra.

Já no processo de carbonização da madeira, há uma porcentagem de elementos gerados (Figura 2). Pois para o processo de carbonização da madeira, o carvão é apenas uma fração dos produtos que podem ser obtidos.



Fonte: Guide technique de la Carbonisation la fabrication du charbon de bois.

Figura 2 – Produtos obtidos a partir de 1 tonelada de madeira seca ao ar

- **Impacto Ambiental**

Atualmente 52,8% dos resíduos gerados no país são gerenciados de forma inadequada (BORGES, 1993), incluindo nesta percentagem os resíduos industriais (madeireiras etc.), muitas empresas não aproveitam de maneira coerente os seus resíduos alegando que a relação custo/benefício não justifica. Em função da destinação inadequada de seus resíduos, ocasionando desconforto, além de diversas conseqüências negativas, tanto social (prejudiciais a saúde), como ambiental (impacto ao meio ambiente devido ao acúmulo de resíduo), se enquadrando na constituição como fonte poluidora. Os impactos causados por esses resíduos provenientes de serrarias ao meio ambiente estão diretamente ligados à exploração madeireira e na quantidade de serragem desperdiçada ou queimada.

2. OBJETIVOS

Geral:

O trabalho teve a finalidade de quantificar e caracterizar os resíduos de madeira de uma serraria, bem como avaliar as conseqüências de seu uso sob os aspectos ambientais.

Específicos:

- ✓ Quantificar os resíduos de madeira para determinação de aptidões de uso;
 - ✓ Caracterização física (densidade e poder calorífico da madeira);
- Estimar as emissões de gases e vapores na atmosfera devido a tradicional queima direta e carbonização de resíduos, como também o nível de redução dos mesmos ao se transformar em artefatos.

3. METODOLOGIA

A metodologia proposta do trabalho deu-se em duas fases: na primeira realizou-se um trabalho de campo para quantificação de resíduos gerados na indústria; a segunda consistiu em análises laboratoriais referentes a caracterizações físicas dos mesmos, levando em consideração a estimativa de quantidade de gases e vapores lançados na atmosfera devido à combustão direta e carbonização.

3.1. Espécies estudadas.

As espécies estudadas foram, **Muiracatiará (*Astronium lecointei*, Ducke)**, **Maçaranduba (*Manilkara huberi*, (Ducke), Chevalier)**, e **Guajará (*Pouteria sp*)**, identificadas através de caracteres anatômicos da madeira, no Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais – LTPF, da Universidade Federal Rural da Amazônia – UFRA, utilizando-se a metodologia do IBDF - Madeiras da Amazônia.

3.2. Quantificação de resíduos na indústria.

Esta fase foi realizada na indústria SAMAD SARAPUÍ MADEIRAS LTDA, (Mojú-PA), para determinar a quantidade de resíduos, passando por três etapas abaixo descritas:

Etapa I: Determinação de volume geométrico da tora.

O volume geométrico das toras foi determinado, tomando-se o diâmetro médio das extremidades da tora (Figura 3) e o comprimento da mesma (Figura 4). Foram utilizadas três toras por espécie, as quais serviram de repetição para estudo de rendimento do processamento primário da madeira.



Figura 3- Determinação do diâmetro médio da tora



Figura 4- Determinação do comprimento da tora

Etapa II: Determinação de resíduos produzidos na serra fita (processamento primário).

O volume de resíduos foi determinado com base na diferença entre o volume da tora e o volume de serrados obtidos no processamento mecânico, utilizando a equação 1:

$$\boxed{VR_{(\text{Etapa 1})} = VT - VS_{(\text{Etapa 1})}} \quad \text{Equação 1}$$

Onde: VR - volume de resíduos, m³.

VT - volume da tora, m³.

VS - volume de serrados, m³.

Para a determinação do volume de serrados, fez-se a cubagem de cada peça,

conforme mostrada na figura 5: (a) Medição da espessura, (b) largura e (c) comprimento da peça.



Figura 5- Cubagem dos serrados produzidos.

Etapa III: Classificação dos resíduos.

A partir do volume total de resíduos calculados através da Equação 1, quantificou-se a serragem, aparas e costaneiras com base nos percentuais indicados por CARRÉ & SCHENKEL (1992) de 10% em serragem, por CONTENTE *et al.* (2002) de 21,54% em costaneiras e NUMAZAWA (2003) de 21,03% em aparas de grosso calibre para produção de artefatos e o restante é empregado na produção de energia.

3.3. Caracterizações físicas dos resíduos.

Nesta etapa, foram estudadas duas propriedades importantes na questão de uso da madeira para artefatos e energia: a densidade e o poder calorífico. As amostras foram coletadas na serraria e levadas para o Laboratório de Tecnologia de Produtos Florestais – LTPF da UFRA onde foram realizados os estudos.

➤ Determinação da densidade da madeira

A densidade básica da madeira foi determinada com base na Norma MB 1269/79 da ABNT (Associação Nacional de Normas Técnicas), através da equação 2.

$$D_{(básica)} = \frac{P}{V} \quad \text{Equação 2}$$

Onde:

$D_{(básica)}$ - densidade básica da madeira, g/cm³.

P - peso do corpo de prova absolutamente seco, g.

V - volume do corpo de prova saturado (cm³),

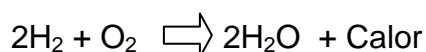
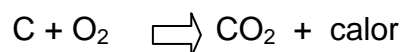
➤ **Determinação do poder calorífico da madeira.**

O poder calorífico do carvão foi determinado segundo a Norma D 250/50 da ASTM - (American Society for Testing and Material), em uma bomba calorimétrica adiabática baseada no método de Berttelot, que consiste na combustão do material em um ambiente fechado na presença de oxigênio e sob pressão.

3.4. Estudo teórico para estimar a quantidade emissões de gases e vapores formados na decomposição térmica da madeira.

✓ **Incineração de resíduos (combustão).**

A quantidade de emissão de CO₂ e produção de H₂O, devido à combustão dos resíduos, foi calculada com base nas reações abaixo, para 1Kg de madeira anidra (madeira seca):



O cálculo para estimar a quantidade de CO₂ emitida e a produção de H₂O, gerados durante a combustão foi determinado de acordo com *Guide technique de la carbonisation la fabrication du charbon de bois*, citado na Figura 1 da página 5.

✓ **Produção de carvão (pirólise)**

O cálculo para estimar as emissões geradas durante o processo da pirólise, foi determinado de acordo com *Guide technique de la carbonisation la fabrication du charbon de bois*, para 1 tonelada de madeira seca ao ar, citado na Figura 2 da pagina 6.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Quantificação de resíduos na serraria.

Na Tabela 1, encontram-se os rendimentos de serrados e resíduos gerados no processamento primário da tora. As espécies Muiracatiará (*Astronium lecointei*, Ducke) e Guajará (*Pouteria sp*) foram as que apresentaram menores rendimentos de serrados, conseqüentemente, maior quantidade de resíduos. A espécie Maçaranduba (*Manilkara huberi*, (Ducke) Chevalier) apresentou um rendimento de serrado bem próximo da média de 50% encontrada pela SUDAM (1981) ao se fazer um estudo com trinta e duas espécies da Amazônia.

Tabela 1-Volume total de madeira, serrado e resíduo.

Espécie	Volume (m ³)			(%)	(%)
	Tora	Serrado	Resíduo	Rendimento serrado	Resíduos

Muiracatiará	7,24	2,34	4,90	32,3	67,68
Maçaranduba	8,11	3,34	4,77	41,2	58,82
Guajará	5,94	2,09	3,85	35,2	64,81
TOTAL	21,29	7,77	13,52	36,50	63,50

Tabela 2 – Repartição de resíduos gerados na serraria

Espécies	Costaneiras		Aparas		Serragem	
	(m ³)	%	(m ³)	%	(m ³)	%
Muiracatiará	1,56	31,8	2,62	53,4	0,72	14,8
Maçaranduba	1,75	36,6	2,21	46,4	0,81	17,0
Guajará	1,28	33,2	1,98	51,3	0,59	15,4
Total	4,59	33,9	6,81	50,4	2,13	15,7

Na Tabela 2, encontra-se a repartição dos resíduos de acordo com a sua classificação. Constatou-se que o maior percentual de resíduos formados se constituiu de aparas com 50,4%, seguidos por costaneiras com 33,9% e serragem com 15,7%.

Da média de 50,4% de aparas (Figura 6) das três espécies estudadas, pode-se destinar 21,03%, conforme sugere NUMAZAWA (2003), para fabricação de artefatos correspondendo a 1,43 m³ e o restante de 5,38 m³ para energia juntamente com a serragem.



Figura 6- Aparas

Figura 7- Costaneiras

No que concerne as costaneiras, sugere-se a sua destinação para fabricação de carvão vegetal, pois apresentam formas irregulares (espessura e largura não contínua), de acordo como mostra a figura 7.

4.2. Densidade da madeira

Com base nas análises em laboratório, encontraram-se os valores de densidade básica da madeira das espécies estudadas. Muiracatiará ($0,71 \text{ g/cm}^3$) e Maçaranduba ($0,72 \text{ g/cm}^3$) são madeiras pesadas e Guajará ($0,54 \text{ g/cm}^3$) leve, conforme a classificação da SUDAM (1983).

4.3. Determinação do Poder Calorífico

Os valores de poder calorífico encontrados foram: Muiracatiará 4022 Kcal/Kg, Maçaranduba 4248 Kcal/Kg e Guajará 4263 Kcal/Kg, que confirmam os dados encontrados em literaturas. BRITO (1993), encontrou valor médio 4000 Kcal/Kg, podendo também encontrar valores entre 4700 e 4800 kcal/kg para madeira anidra.

4.4. Emissões de gases e vapores de combustão e pirólise de resíduos de madeira.

Na tabela 3, encontram-se os valores de massa dos resíduos e as suas respectivas emissões efluentes da combustão. Verificou-se que a espécie Muiracatiará foi a que apresentou a maior massa e o maior grau de emissões, seguida de Maçaranduba e Guajará. Essas espécies ao serem incineradas podem

gerar, respectivamente, 5.196.424 Kcal, 4.035.600 Kcal e 3.039.519 Kcal, total de 12.271.543 Kcal, equivalente a 1.115 TEP (tonelada equivalente petróleo).

Tabela 3 – Material destinado à combustão.

Espécie	Volume de resíduos (m ³)	Densidade (g/cm ³)	Massa (kg)	CO ₂ (Kg)	Volume de CO ₂ (m ³)	H ₂ O (Kg)
Muiracatiará	1,82	0,71	1292	2.369	1.206	698
Maçaranduba	1,32	0,72	950	1.742	887	513
Guajará	1,32	0,54	713	1.307	665	385

Em geral, nas indústrias madeireiras tradicionais, os resíduos são incinerados a céu aberto, lançando todos os efluentes na atmosfera. Com base no volume total de resíduos gerados e na média da densidade das espécies estudadas, estimou-se uma produção de efluentes de 8.328 m³ de CO₂ e 4.818 Kg de água.

Com base na massa de resíduos de costaneiras de cada espécie e no percentual de conversão pirolítica da madeira em carvão vegetal (Tabela 4), estimou-se a quantidade das frações sólida, líquida e gasosa. Constatou-se que espécie Maçaranduba possui o maior potencial para produção de carvão, seguida de Muiracatiará e Guajará. Um carvão produzido com resíduos de indústrias madeireiras, segundo AQUINO (2002), pode liberar cerca de 7.177 Kcal de energia por quilo de carvão. Considerando esse potencial energético, pode-se gerar, respectivamente, 2.461.711 Kcal, 2.806.207 Kcal e 1.535.878 Kcal, total de 6.803.796 Kcal de energia através de combustão direta do carvão, equivalendo a 618.5 TEP.

Tabela 4 – Material destinado à carbonização.

Espécie	Volume de resíduos (m ³)	Densidade (g/cm ³)	Massa (kg)	Carvão (Kg)	Água (Kg)	Vapor (Kg)	Gases (Kg)
---------	--------------------------------------	--------------------------------	------------	-------------	-----------	------------	------------

Muiracatiará	1,56	0,71	1108	343	310	244	210
Maçaranduba	1,75	0,72	1260	391	353	277	239
Guajará	1,28	0,54	691	214	194	152	131

No que concerne à emissão de gases e vapores, verificou-se que a conversão pirolítica foi mais agressiva do que a simples combustão. Nesse processo, além de CO₂ e vapor d'água, ainda é formado o licor pirolenhoso, constituído por inúmeras substâncias fenólicas, diversos ácidos e outras substâncias que causam impacto ambiental (chuva ácida, efeito estufa, etc.).

Tabela 5 - Valores dos componentes gerados a partir de vapores e gases da produção da Indústria.

Espécies	Vapores						Gases		
	Ac. Acético (Kg)	Metanol (Kg)	Derivados de Fenol (Kg)	Derivados e Aromáticos (Kg)	Brai (Kg)	furfural e derivados (Kg)	CO ₂ (Kg)	CO (Kg)	H ₂ - Hidrocarbonetos (Kg)
Muiracatiara	67	28	33	39	67	11	111	77	22
Maçaranduba	76	31	38	44	76	12	126	88	25
Guajará	42	17	21	24	42	7	69	48	14

CONCLUSÕES

1. A serraria estudada apresentou rendimento inferior a média das serrarias tradicionais, decorrente de seu baixo nível tecnológico de conversão mecânica da tora em serrados.
2. O maior grau de perdas ocorreu no momento do corte em galgadeira e balancim que corresponde ao bitolamento das peças de serrado.
3. A combustão de resíduos (serragem e aparas de pequeno calibre) constitui uma alternativa como fonte de geração de energia térmica para secagem da madeira.
4. O uso de resíduos para produção de artefatos (aparas de grosso calibre) constitui uma alternativa para reduzir o grau de efluentes tradicionalmente lançados na atmosfera através de combustão ou fabricação de carvão vegetal.
5. O aproveitamento de resíduos pode gerar receitas através de agregação de valor aos produtos que tradicionalmente são abandonados ou queimados.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT. Norma MB 1269/79. Rio de Janeiro. ABNT, 1979. 80p

AQUINO, J. N., **Aproveitamento de resíduos de madeira de serraria para produção de carvão e redução de área de floresta explorada.** Dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Ciências Florestais área de concentração Manejo Florestal e Silvicultura Tropical da Universidade Federal Rural da Amazônia, Belém –Pará.

ASTM – American Society for testing and material. Norma D 250/50, 1978. 78-80p.

BORGES, A. S. *et alli*, 1993, “**Considerações Energéticas e Econômicas sobre Resíduos de Madeira Processada em Serraria**” – in: Anais do 1o Congresso Florestal Pan-americano e 7o Congresso Florestal Brasileiro (1993). Curitiba, PR: SBS – SBEF, 603-606p.

BRITO, J. O. **Expressão da produção florestal em unidades energéticas.** In: 1º congresso florestal panamericano e 7º congresso florestal brasileiro. Curitiba/PR, 19-24 de setembro de 1993. v 3. p. 280-282.

CARRÉ, J. et y SCHENKEL (1992b)-**Biomass Characteristics and combustion process in E.C. workshop: Designs and selection of biomass boilers,** yogyakarta.

CONTENTE, Paulo L. B; SILVA, J. N. Macedo. **Relação entre volumes de árvores em pé e volume francon.** Belém: FCAP-serviço de documentação, 2002 p 25-41 (FCAP. Informe técnico,28).

FONTES, P. J. P., 1994, “**Auto-Suficiência Energética em Serraria de *Pinus* e Aproveitamento dos Resíduos**”, dissertação de Mestrado do curso de Pós-Graduação em Engenharia Florestal da Universidade Federal do Paraná, Curitiba.

GUIDE TECHNIQUE DE LA CARBONISATION LA FABRICATION DU CHARBON DE BOIS. Agence Française Pour La Maitrise de L`Energie. Association Bois de Feu. Centre technique forestier tropical. Dominique Briane - abf. Jacqueline Doat - CTFT. PREFACE D´ARTHUR REIDACKER - AFME. Edisud, 1985, pag 28.

IBDF/DPq – LPF. **Madeiras da Amazônia, características e utilização.** Estação Experimental de Curuá-Una. Amazoniam Timbers, charcteristics Ana utilization;. Experimental Forest station, 1998 vol. 2. Instituto Brasileiro de Desenvolvimento Florestal.

NUMAZAWA, S; CARVALHO, M. S. P.; BRANDÃO, A.T.O.; ALVES. R. L. & RODRIGUES, A.F. **Determinação do índice de conversão da tora em madeira**

serrada de oito espécies florestais processadas na empresa Comércio Madeira Dunorte Ltda. Congresso Internacional de Compensado e madeira Tropical. Belém, 2003.22p.

SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. Centro de Tecnologia madeireira. **Rendimento em serrarias de 30 espécies de madeiras amazônicas**, Belém, 1981.

SUDAM - SUPERINTENDÊNCIA DO DESENVOLVIMENTO DA AMAZÔNIA. **Propriedades físico-mecânica e uso comuns de 30 espécies de madeiras da amazônia.** 1983 - Belém - Pa, pp 27.

VERISSIMO, A., BARRETO, P., MATTOS, M., TARIFA, R. & UHL, C. **Logging impact and prospects for sustainable forest management in an old Amazonian frontier: the case of Paragominas.** Forest Ecology and Management, 55: 169-199, 1992