

MINISTÉRIO DO INTERIOR
INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS
NATURAIS RENOVÁVEIS
DIRETORIA DE INCENTIVO À PESQUISA E DIVULGAÇÃO
LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS

LPF – SÉRIE TÉCNICA Nº 10

**PRODUÇÃO DE CARVÃO
VEGETAL COM OITO ESPÉCIES
FLORESTAIS DA REGIÃO
AMAZÔNICA EM FORNO
METÁLICO**

Brasília, 1989

Ministro do Interior

João Alves Filho

**Presidente do Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos
Naturais Renováveis**

Fernando César de Moreira Mesquita

Diretor da Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação

Luiz Fernando Soares de Assis

Chefe do Laboratório de Produtos Florestais

Mário Rabelo de Souza

COMITÊ EDITORIAL

Eleazar Volpato, Ph. D.

Marcos Antonio Eduardo Santana, Ph. D.

Sebastião Kengen, Ph. D.

Tereza Cristina Monteiro Pastore, M. Sc.

Vera Teresinha Rauber Coradin, M. Sc.

PUBLICAÇÃO

Ernesto Paz Guimarães

Noemia Regina Santos do Nascimento

Tereza Cristina Monteiro Pastore

Yeda Soares de Lucena Bataus

PRODUÇÃO DE CARVÃO VEGETAL COM OITO ESPÉCIES FLORESTAIS DA REGIÃO AMAZÔNICA EM FORNO METÁLICO

Autor: Paulo José Prudente de Fontes*

Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis. Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação. Laboratório de Produtos Florestais. Brasília, D.F.

Produção de carvão vegetal com oito espécies florestais da região Amazônica em forno metálico, por Paulo José Prudente de Fontes. Brasília, D.F., 1989. 21p. ilustr. (IBAMA, DIRPED, LPF, Série Técnica, 10)

1. Carvão Vegetal-Produção-Forno metálico-Brasil-Amazônia. I. Fontes, Paulo José Prudente de. II. título. III. série.

ÍNDICE

RESUMO	5
1. INTRODUÇÃO	7
2. ASPECTOS TÉCNICOS DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA	7
2.1 Evolução teórica da destilação da madeira	8
2.2 Influência da temperatura na carbonização da madeira	8
2.3 Influência da velocidade de aquecimento na carbonização da madeira	9
3. PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO VEGETAL	10
3.1 Composição química	10
3.2 Densidade	11
3.3 Resistência mecânica – Friabilidade	11
3.4 Poder calorífico	12
4. MATERIAL E MÉTODO	12
4.1 Área de estudo e espécies utilizadas	12
4.2 Forno de carbonização	12
4.3 Avaliação do carvão vegetal produzido	13
5. RESULTADOS	13
6. CONCLUSÕES	16
7. AGRADECIMENTOS	16
8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	17
ANEXO I	19



RESUMO

Este trabalho apresenta os resultados de um estudo desenvolvido com a finalidade de avaliar a performance de um forno metálico na produção de carvão vegetal com madeiras da Região Amazônica. Os parâmetros utilizados foram: ciclo de carbonização do forno, rendimento gravimétrico de carvão, relação lenha/carvão vegetal e tipo de madeira carbonizada. Também foi realizada uma análise preliminar da qualidade do carvão produzido por este tipo de equipamento, em relação à sua composição química (carbono fixo, materiais voláteis, umidade e cinzas) e resistência mecânica.

1. INTRODUÇÃO

O processo de ocupação da Região Amazônica tem provocado uma alteração na cobertura florestal – o desmatamento, principalmente em função dos projetos de: colonização; agropecuários; minerais; industriais e ainda as áreas de inundação para formação de reservatórios de usinas hidroelétricas. Não obstante a inevitabilidade dos desmatamentos, o desperdício de grande parte desse patrimônio florestal, sem nenhuma forma de aproveitamento, contribui, decisivamente, para o agravamento do problema, empobrecendo não somente a floresta mas também toda a região, uma vez que seus recursos não são aproveitados.

Por outro lado, a Região Norte do país, que compreende a Amazônia brasileira, é uma região carente de energia e que apresenta uma alta dependência dos derivados de petróleo para suprir suas necessidades energéticas. Em 1984, a Região Norte consumiu cerca de 532 milhões de litros de óleo diesel como combustível na indústria e para geração de energia elétrica.

Dessa forma, o aproveitamento energético de grande parte do potencial madeireiro, que hoje é simplesmente queimado para desocupar espaço, deverá contribuir direta e indiretamente para o desenvolvimento da região, gerando recursos e benefícios socioeconômicos. A utilização energética da madeira do desmatamento de forma racional e responsável, além de atribuir um valor econômico à floresta, possibilitará, também, o desenvolvimento do setor florestal da região não apenas como uma atividade extrativista mas, principalmente, como sistema produtivo auto-sustentável, por se tratar de uma fonte energética renovável.

No entanto, a diversidade das espécies florestais existentes na região, carentes de informações referentes às suas propriedades para produção de carvão vegetal e outros produtos energéticos, requer avaliações técnicas e econômicas preliminares para a implantação de atividades de carvoejamento nessa região, uma vez que a mesma possui características próprias e bastante diferenciadas das regiões tradicionalmente produtoras de carvão vegetal, como as regiões de cerrado e de plantios homogêneos.

De uma maneira geral, sabe-se que a qualidade do carvão vegetal a ser produzido depende, basicamente, da espécie madeireira e do método ou processo de carbonização utilizado. Dentro desse enfoque, este trabalho apresenta os resultados de um estudo que teve como objetivo básico avaliar a performance de um forno metálico na fabricação de carvão vegetal com espécies de madeiras da Região Amazônica, bem como analisar, preliminarmente, a qualidade do material produzido por este tipo de equipamento.

Este trabalho apresenta, também, um breve resumo da teoria de carbonização com base na literatura conhecida, enfocando os aspectos técnicos, propriedades e características do carvão vegetal.

2. ASPECTOS TÉCNICOS DA CARBONIZAÇÃO DA MADEIRA

A pirólise ou destilação seca da madeira, também conhecida como carbonização, é o processo pelo qual a madeira é aquecida em ambiente fechado e na presença de quantidades controladas de oxigênio (ar). Este processo é caracterizado por reações que resultam em modificações estruturais das fibras de madeira, ocorrendo uma destruição gradativa de seus componentes e a formação de diversos produtos. Gases (CO_2 , CO , H_2 , CH_4 , etc.), líquidos orgânicos (alcatrões, ácido acético, álcool metílico), etc. e vapores d'água são liberados, ficando como resíduo sólido do processo o carvão vegetal. A Figura 01 apresenta um esquema geral da destilação seca da madeira com os rendimentos médios dos produtos, em peso, considerando uma temperatura de carbonização máxima na faixa de 400 – 500°C.

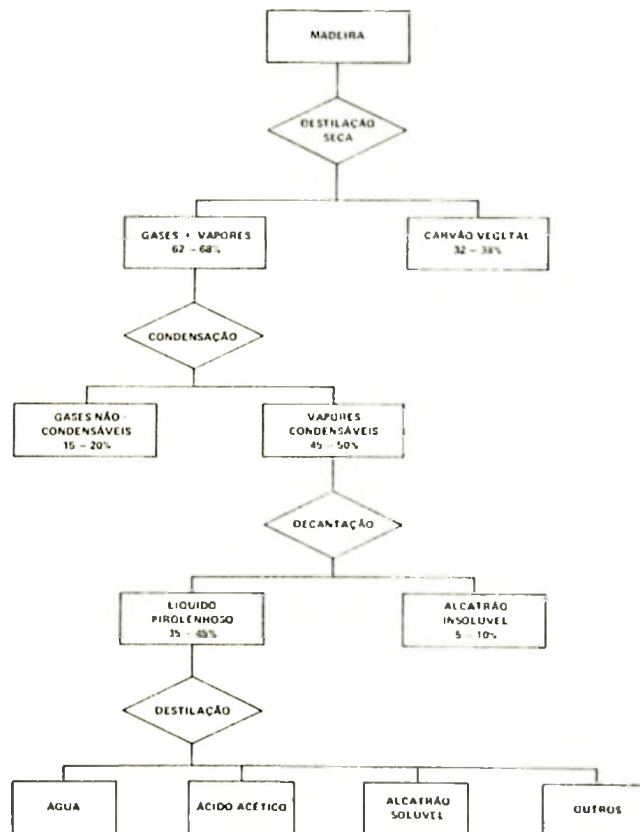


Figura 01 -- Esquema geral da destilação seca da madeira.

O comportamento térmico da madeira, no processo de carbonização, reflete a soma das respostas térmicas de seus três principais componentes: celulose, hemicelulose e lignina, presentes na madeira em proporção, aproximada, de 50:20:30, respectivamente. A hemicelulose começa a perder peso na temperatura próxima de 225°C, e na temperatura de 325°C já está completamente degradada, sendo o componente menos estável. A celulose sofre um processo de degradação em curto intervalo de temperatura, 325 – 375°C, provocando drásticas mudanças no seu comportamento. A lignina começa a se degradar em temperaturas mais baixas, a partir de 150°C, tendo uma degradação mais lenta em relação à hemicelulose e celulose, continuando a perder peso mesmo em temperaturas acima de 500°C, tendo como resultado o resíduo carbonífero – carvão vegetal. O Gráfico 01 mostra a evolução da perda de peso experimentada pela madeira e seus principais componentes, isoladamente, quando submetida a um aquecimento contínuo e controlado (termogravimetria).

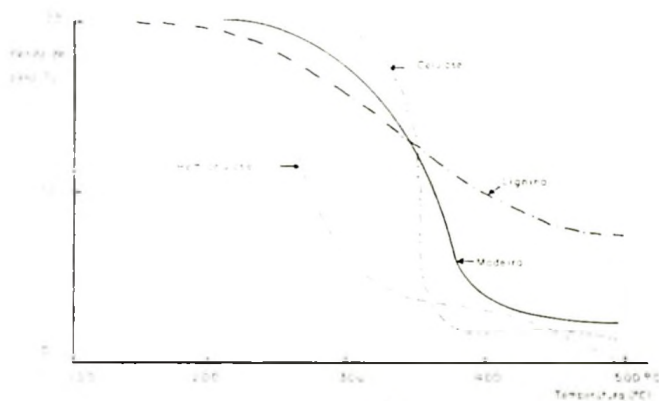


Gráfico 01 – Análise termogravimétrica da madeira e seus componentes.

A lignina é, portanto, o composto mais importante quando se objetiva a produção de carvão vegetal. A importância deste componente em relação ao rendimento gravimétrico em carvão já foi comprovada por diversos pesquisadores. PETROFF & DOAT estabeleceram uma correlação direta entre o rendimento em carvão e o teor de lignina. BRITO & BARRICHELO estabeleceram também uma relação de dependência entre o teor da lignina e o rendimento gravimétrico em carvão, ou seja, quanto maior o teor de lignina maior será o rendimento em carvão.

A quantidade de cada componente, especialmente a lignina e a hemicelulose, varia entre as madeiras folhosas e coníferas, sendo que fatores, tais como: idade e espécie podem influenciar na composição química. Além destes componentes, a madeira contém ainda quantidades variáveis de substâncias de baixo peso molecular – os extrativos, tendo como principais compostos orgânicos: ácidos graxos, óleos voláteis, terpenos e compostos aromáticos.

Cada um destes componentes, devido à natureza de sua composição química, participará de forma diferente na formação dos diversos produtos. Segundo BEALL & EICKNER, já foram identificados mais de 213 diferentes compostos na destilação seca da madeira.

2.1 Evolução teórica da destilação da madeira

Informações obtidas de diversos autores sobre a pirólise ou destilação seca da madeira apresentam geralmente variações que não devem ser vistas como conflitantes, considerando-se que os resultados obtidos irão depender do estado em que a madeira se encontra, das condições experimentais, da aparelhagem utilizada e outras variáveis.

A existência de um gradiente de temperatura, ao longo da peça de madeira que está sendo carbonizada, provoca a ocorrência de vários fenômenos simultâneos, em regiões diferentes no interior da madeira. A forma de agrupar estes fenômenos difere de autor para autor mas, para efeito didático, pode-se dizer que existem quatro etapas distintas na destilação seca da madeira.

A Tabela 01 mostra a evolução teórica da destilação da madeira feita em retorta elétrica em escala de laboratório. A 1ª etapa corresponde ao período até 200°C, caracterizando-se como fase de secagem da madeira com produção de gases não combustíveis, vapores d'água e CO₂. A 2ª etapa, que vai de 200 até 280°C, apresenta reações químicas de natureza endotérmica, produzindo ainda os mesmos gases da etapa anterior, mas com uma forte redução dos vapores d'água e o aparecimento do monóxido de carbono (CO). A 3ª etapa, correspondendo ao intervalo de 280 – 500°C, é caracterizada por reações químicas de natureza exotérmica, sendo que os produtos obtidos são combustíveis, incluindo os alcatrões, CO e CH₄. Nesta etapa ocorre a liberação de aproximadamente 210 calorias/kg de madeira. A 4ª etapa, com temperaturas acima de 500°C, é caracterizada por várias reações secundárias, catalizadas pelo leito do carvão já formado, sendo que, à medida que a temperatura sobe, há uma redução no volume de gás gerado, que é composto, agora, em sua maior parte, de frações médias e pesadas de alcatrão.

Os teores de carbono e oxigênio na madeira são da ordem de 49% e 44%, respectivamente. Após a carbonização, estes elementos participam no carvão em diferentes proporções: 82% de carbono e 13% de oxigênio, aproximadamente. Portanto, o processo de carbonização consiste, basicamente, em concentrar carbono e retirar oxigênio, aumentando, conseqüentemente, o conteúdo energético do produto.

2.2 Influência da temperatura na carbonização da madeira

As modificações na composição química experimentada pela madeira, durante seu aquecimento, são fortemente dependentes da temperatura. A temperatura de carbonização parece ser a variável mais importante e controladora da qualidade, rendimento e composição de todos os produtos obtidos na destilação da madeira. Pode-se obter carvão com características bem diferentes modificando-se apenas a temperatura.

O aumento da temperatura de carbonização proporcionará um maior grau de destilação da madeira, provocando a retirada dos voláteis do carvão, os quais irão enriquecer as fases líquida e gasosa, com conseqüente aumento na quantidade de líquido pirolenhoso e gás. Como resultado disto, ha-

TABELA 01 – Evolução da destilação seca da madeira.

Etapas da carbonização da madeira		1ª Retirada da água	2ª Salda de gases oxigenados	3ª		4ª	
				Início da salda de hidrocarbonetos	Fases de hidrocarbonetos	Dissociação	Fases do hidrogénico
Temperatura (°C)		160-200	200-280	280-380	380-500	500-700	700-900
Teor de carbono (% do carvão)		60	68	78	84	89	91
GASES NÃO-CONDENSÁVEIS (%)	CO ₂	68,0	66,0	35,5	31,5	12,2	0,5
	CO	30,0	30,0	20,5	12,3	24,6	9,7
	H ₂	0,0	0,2	6,5	7,5	42,7	80,9
	hidrocarbonetos	2,0	3,3	37,5	48,7	20,5	8,9
Poder calorífico por m ³ de gás (em calorías)		1.100	1.210	3.920	4.780	3.630	3.160
Constituintes condensáveis do gás		Vapor d'água	- Vapor d'água - Ácido acético	- Ácido acético - Álcool metílico - Alcatrão livre	- Alcatrão pesado	- Alcatrão	Pouca condensação
Quantidade do gás		Muito pouca	Pouca	Considerável	Considerável	Pouca	Muito pouca

FORTE: J. DOAT & G. PETROFF – "La carbonisation des bois tropicaux"
Centre Technique Forestier Tropical – França – 1975 (3).

verá uma diminuição no rendimento em carvão, conforme mostra a Tabela 02. O comportamento do teor de carbono fixo é inverso, ou seja, quanto maior a temperatura, maior será o teor de carbono fixo. O rendimento em carvão e o teor de carbono fixo são variáveis inversamente proporcionais, sendo que para se obter carvão com alto teor de carbono fixo há diminuição no rendimento gravimétrico do processo.

Tabela 02 – Rendimento em carvão e carbono fixo e análise química imediata para diferentes temperaturas de carbonização.

Temperatura de carbonização (°C)	Umidade do carvão (%)	Rendimento em carvão vegetal		Rendimento em carbono fixo* (%)	Análise química imediata Base seca (%)		
		Base seca (%)	Base úmida (%)		Carbono fixo	Materiais voláteis	Cinzas
450	4,17	32,84	28,2	23,66	75,06	21,03	3,91
550	2,97	28,15	24,2	23,63	66,73	10,12	3,35
700	2,41	27,57	20,0	28,17	67,82	7,25	2,93

FORTE: CETEC – MG.
Espécie: *Eucalyptus grandis* – 5,5 anos.
* Cálculo por rendimento em carvão (base seca) x $\frac{\text{carbono fixo (base úmida)}}{100}$

Conforme pode-se observar na Tabela 02, o rendimento em carbono fixo, como consequência destes comportamentos, permanece constante. Isto pode ser explicado em função de ocorreram cada temperatura, dois fatores (rendimento em carvão e teor de carbono fixo), variando em sentidos opostos, mas em proporção tal que o rendimento em carbono fixo permanece constante. Isto ocorre se for mantida a mesma taxa de aquecimento.

2.3 Influência da velocidade de aquecimento na carbonização da madeira

O conhecimento do comportamento da madeira sob diferentes condições de carbonização é de fundamental importância, porque permitirá a prévia fixação das condições de operação com o intuito de se obter diferentes produtos.

Quando a carbonização é processada em diferentes velocidades de aquecimento ocorre uma sensível variação nos rendimentos em alcatrão, carvão e conseqüentemente carbono fixo. Estudos realizados pelo CETEC confirmam o comprometimento entre os rendimentos destes produtos e as diferentes velocidades ou taxas de aquecimento, na carbonização. Nestes estudos foram realizadas carbonizações na temperatura de 430°C em períodos de tempo da ordem de 3 horas, 6 horas e 3 dias, correspondendo à taxa de aquecimento de 2,3°C/min, 1,0°C/min e 6,0°C/hora, respectivamente. Estas taxas correspondem, aproximadamente, àquelas obtidas nas carbonizações em retorta contínua e em fornos de alvenaria. Os resultados destes estudos são apresentados na Tabela 03, mostrando que quanto mais lenta for conduzida a carbonização, maior será o rendimento em carvão.

Com os dados apresentados na Tabela 03, verifica-se que a diminuição da taxa de aquecimento é acompanhada de um aumento no rendimento em carvão e carbono fixo, ocorrendo o inverso com o rendimento em alcatrão insolúvel. Portanto, o aumento da taxa de aquecimento pode provocar uma recuperação de alcatrão da ordem de cinco vezes maior do que em uma carbonização mais lenta.

TABELA 03 – Rendimento em carvão, alcatrão e carbono fixo em carbonizações a 430°C, com diferentes taxas de aquecimento.

Taxa de aquecimento	Rendimento em relação à madeira (base seca) (%)			Análise química imediata do carvão (base seca) (%)		
	Carvão	Alcatrão	Carbono fixo	Carbono fixo	Materiais voláteis	Cinzas
2,3°C/min	34,1	9,6	26,30	79,15	19,94	0,91
1,0°C/min	35,5	8,0	27,73	79,36	19,50	1,15
6,0°C/hora	38,2	2,2	30,33	79,03	19,83	1,13

FORNTE: CETEC – Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais.
Espécie: *Eucalyptus grandis* e *paniculata*.

3. PROPRIEDADES E CARACTERÍSTICAS DO CARVÃO VEGETAL

As propriedades e características do carvão vegetal estão intimamente ligadas aos parâmetros do processo de produção e da matéria-prima que lhe deu origem. Vale ressaltar que no processo de carbonização a madeira não sofre apenas modificações químicas, mas ocorre também uma série de modificações físicas, tais como: diminuição da densidade relativa, abertura e coalescência dos poros, fissuração, modificações no tamanho e distribuição dos poros, etc. Estas modificações são consequências da espécie utilizada, tamanho e forma da madeira e método de carbonização empregado, influenciando diretamente na qualidade do carvão produzido.

Dentre as propriedades e características do carvão vegetal, as mais representativas, considerando o seu uso energético, são: composição química, densidade, resistência mecânica, friabilidade e poder calorífico. A seguir, será feito um breve comentário com respeito a cada uma destas propriedades, na produção do carvão vegetal.

3.1 Composição química

O carvão vegetal compõe-se de umidade, carbono fixo, matérias voláteis e cinzas. Conforme visto anteriormente, dos parâmetros que regulam a composição química do carvão, em termos de carbono fixo e materiais voláteis durante a carbonização da madeira, o principal é a temperatura. A Tabela 04 mostra os resultados alcançados por BERGSTROM & WESSLEN, na carbonização de madeiras duras em diferentes temperaturas. Nela pode-se observar a variação da composição elementar do carvão, com o teor de carbono elevando-se rapidamente com a temperatura de carbonização, enquanto os teores de hidrogênio e oxigênio decresceram. O rendimento em carvão diminui sensivelmente com o aumento da temperatura.

TABELA 04 – Composição elementar do carvão vegetal e rendimento em função da temperatura de carbonização.

Temperatura de carbonização (°C)	Composição elementar (%)			Rendimento (peso carvão/peso madeira seca) (%)
	C	H	O	
200	52,3	6,3	41,4	91,8
300	73,2	4,9	21,9	51,4
400	82,7	3,8	13,5	37,8
500	89,2	3,1	6,7	31,0
600	92,8	2,6	5,2	29,1
700	92,8	2,4	4,8	27,8
800	95,7	1,0	3,3	26,7
900	96,1	0,7	3,2	26,6
1.000	96,6	0,5	2,9	26,8

FORNTE: BERGSTROM & WESSLEN (1978).

O material volátil residual do carvão é composto, principalmente, de hidrogênio, hidrocarbonetos, CO e CO₂. Quando se faz a determinação do teor de material volátil no carvão, parte do carbono sai junto com os gases, como elemento formador das moléculas de CO, CO₂ e dos hidrocarbonetos. Uma outra quantidade de carbono é a responsável pela formação da massa amorfa e como não sai junto com o material volátil, permanecendo "fixo", recebe a denominação de carbono fixo, sendo que esta denominação tem o objetivo de distinguir a existência do carbono, como parte de compostos, sob a forma gasosa e amorfa. O teor de carbono fixo é calculado subtraindo-se os teores de materiais voláteis e cinzas.

O carvão é relativamente higroscópico e a sua umidade vai depender, basicamente, de dois fatores: da temperatura em que foi obtido e da umidade do ambiente no qual ele está exposto. Reporta-se como umidade a perda de peso (percen-

tual) experimentada pelo carvão, quando submetido a um aquecimento em estufa. A cinza é o resíduo de óxidos minerais obtido pela combustão completa do carvão. A determinação desses componentes (umidade, materiais voláteis, carbono fixo e cinzas) é objeto da análise química imediata.

3.2. Densidade

No carvão vegetal, a densidade é uma propriedade bastante importante e quando não ocorrer em prejuízo para as outras propriedades, deve ser a maior possível. Sendo o carvão um material bastante poroso (70-80% de porosidade), deve-se distinguir o que se quer dizer com densidade do carvão, que varia segundo a técnica utilizada na sua medida.

Se tomarmos uma caixa com volume de 1m^3 e a enchemos com carvão, teremos a relação peso obtido/volume (m^3), chamada de **densidade de granel** (bulk density) e expressa em kg/m^3 . Geralmente este valor está em torno de $250\text{kg}/\text{m}^3$, para este produto vegetal. Se desta medida diminuir-se o volume dos vazios entre os vários pedaços de carvão, ou seja, medir o volume dos vários pedaços de carvão, considerando os poros internos como ocupados pelo material do carvão, teremos então a **densidade relativa aparente** (specific gravity). A densidade relativa, embora seja fundamentalmente diferente da densidade de granel, é uma boa medida da quantidade de carvão presente na amostra.

Os parâmetros que atuam na densidade do carvão são a temperatura de carbonização, a densidade da madeira que lhe deu origem e a granulometria do carvão. Estudos realizados pelo CETEC permitem observar que a densidade relativa aparente do carvão será maior quando a densidade da madeira que lhe deu origem for também maior. Na densidade de granel, o fator de maior influência é a granulometria, ou seja, o peso de um determinado volume de carvão que varia com a sua granulometria.

3.3 Resistência mecânica – Friabilidade

A friabilidade de um material é a propriedade que ele possui de ser transformado em pó. No caso do carvão vegetal, entende-se como friabilidade a propriedade que este possui de gerar finos, quando sujeito à abrasão e queda. É fato bem conhecido que o carvão vegetal é altamente friável, sendo esta propriedade de alta preocupação para as pessoas envolvidas no seu processo de fabricação, transporte, estocagem, peneiramento e principalmente os seus consumidores.

Segundo dados de OLIVEIRA (1977), durante o manuseio do carvão, desde a produção até sua entrada no alto-forno, são gerados em torno de 25%, em peso de finos abaixo de 10mm.

A Tabela 05 mostra a distribuição dos finos gerados pelo carvão, nas várias etapas, desde a sua produção até o seu consumo.

O teste de tamboramento, que é normalmente utilizado

para medida da friabilidade do carvão, procura caracterizar este produto sob o ponto de vista da geração de finos durante o seu manuseio. Ele permite a comparação entre os carvões produzidos a partir de diferentes espécies e condições de carbonização, sendo possível estabelecer condições de carbonização e seleção de espécies que irão produzir mais carvão ou menos friável, dependendo do seu uso final.

TABELA 05 – Distribuição da geração de finos do carvão vegetal

Etapas	Geração de finos
Carvoarias	3,7%
Carregamento e transporte	5,8%
Armazenagem	6,3%
Peneiramento	9,4%
TOTAL	25,2%

FONTES: OLIVEIRA, J. V. *Análise Econômica do Carvão Vegetal* (1977).

Dentre os fatores que influenciam na friabilidade do carvão vegetal, podem ser citados: a umidade da madeira, a temperatura de carbonização, a taxa de aquecimento e o diâmetro e comprimento da madeira. Um alto teor de umidade da madeira proporcionará uma maior quantidade de finos gerados nos testes de tamboramento. Este comportamento indica que uma maior umidade da lenha pode ocasionar maior formação de trincas internas no carvão, ocorrendo maior geração de finos.

Os processos de carbonização em diferentes temperaturas implicam a obtenção de carvão com mudanças nas suas propriedades físicas e químicas. A friabilidade é uma das propriedades do carvão que varia em função da temperatura final de carbonização. Estudos realizados com madeiras de eucalipto de diversas idades mostram que existe uma tendência de o carvão produzido a 700°C gerar menor quantidade de finos, do que carvões produzidos em temperaturas próximas a 500°C . Outro aspecto importante é com relação à velocidade de aquecimento com que se faz a carbonização da madeira. Além de influenciar nos rendimentos de carvão e seus produtos, influencia também na friabilidade do carvão, isto é, um carvão produzido em carbonização rápida ($3,4^{\circ}\text{C}/\text{min}$) é muito mais friável (gera mais fino) que o carvão produzido em carbonização lenta ($0,1^{\circ}\text{C}/\text{min}$). Assim sendo, o carvão produzido em retorta contínua deve ser bem menos estável (baixa resistência mecânica), que o carvão produzido nos fornos de alvenaria.

É bastante conhecida a influência do diâmetro da madeira na susceptibilidade de formação de trincas durante a carbonização. As trincas e fissuras internas do carvão constituem-se em zonas de concentração de tensão que podem ser atribuídas à grande impermeabilidade do cerne das peças de madeira. Quando uma peça de madeira é carbonizada, o alburno seca rapidamente e a umidade do cerne é retirada com dificul-

dade, devido à sua menor permeabilidade. Nessas condições, a pressão do vapor dos gases aumenta no interior das fibras, podendo ocorrer ruptura das células fibrosas com desenvolvimento de trincas, sendo comum encontrar em peças carbonizadas áreas representativas de cerne fissuradas, enquanto as de alburno não.

3.4 Poder calorífico

Define-se o poder calorífico de um combustível como o número de calorias liberadas na combustão completa de uma unidade de massa do combustível, expresso em kcal/kg para combustíveis sólidos e líquidos. Esta propriedade é de grande importância, principalmente quando se pensa na utilização do carvão vegetal como fonte de energia. A determinação do poder calorífico pode ser feita teoricamente através da composição química elementar do carvão, ou experimentalmente em bomba calorimétrica.

Estudos realizados no CETEC mostram que o poder calorífico do carvão vegetal varia com a temperatura de carbonização. Conforme mostra a Tabela 06, o carvão vegetal produzido na temperatura de 500°C tem um poder calorífico maior do que os carvões produzidos a 300°C e a 700°C, enquanto o carvão produzido a 700°C tem um poder calorífico maior do que o produzido a 300°C. A explicação para este fato está em função da composição química elementar do carvão, ou seja, quando a temperatura de carbonização passa de 300°C para 500°C ocorre uma sensível queda no teor de oxigênio do carvão (como pode ser observado na Tabela 04).

TABELA 06 – Poder calorífico do carvão vegetal em função da temperatura de carbonização.

Temperatura de carbonização (°C)	Poder calorífico inferior* (kcal/kg)	Poder calorífico superior** (kcal/kg)
300	6.664	7.070
500	8.026	8.147
700	—	7.659

FONTE: CETEC (1982).

* Calculado a partir da análise química elementar do carvão.

** Determinado em bomba calorimétrica.

4. MATERIAL E MÉTODO

Conforme apresentado anteriormente, o objetivo deste estudo foi o de avaliar a performance de um forno portátil metálico na produção de carvão vegetal, utilizando-se madeiras da Região Amazônica. O estudo baseou-se nos seguintes parâmetros: ciclo de carbonização do forno, rendimento gravimétrico em carvão produzido, relação lenha/carvão vegetal, tipo de madeira carbonizada (espécie florestal) e uma avaliação da qualidade do carvão produzido com relação a sua composição química (carbono fixo, materiais voláteis, umidade e cinzas) e resistência mecânica.

4.1 Área de estudo e espécies utilizadas

O estudo foi realizado no estado do Pará, região de Tucuruí, onde está sediada a empresa Alpha Pastoral Ltda., na Fazenda Guaripé, margem direita do rio Caripé. As espécies utilizadas são apresentadas na Tabela 07, totalizando 8 espécies e distribuídas nas 22 fornadas realizadas, sendo que 7 fornadas foram feitas com o agrupamento destas espécies (mista) e com algumas espécies foram realizadas mais de uma fornada. Toda madeira enforada foi pesada e cubada.

TABELA 07 – Espécies utilizadas e volume médio em metro estéreo.

Fornada Nº	Nome comum	Nome científico	Volume médio (kg/mst)
01	Mista	—	630
02	Mista	—	590
03	Tachi preto	<i>Sclerolobium</i> sp.	610
04	Matá-matá jibóia	<i>Eschweilera amara</i>	672
05	Matá-matá jibóia	<i>Eschweilera amara</i>	680
06	Copaíba	<i>Copaifera reticulata</i>	572
07	Matá-matá jibóia	<i>Eschweilera amara</i>	840
08	Jatobá	<i>Hymenaea courbaril</i>	725
09	Tauari	<i>Couratari</i> sp.	564
10	Fava	<i>Parkia</i> sp.	414
11	Mista	—	966
12	Tauari	<i>Couratari</i> sp.	587
13	Molançeira	<i>Aloxa grandiflora</i>	588
14	Breu	<i>Trattinnickia burserifolia</i>	448
15	Mista	—	640
16	Mista	—	596
17	Mista	—	896
18	Mista	—	544
19	Mista	—	479
20	Tauari	<i>Couratari</i> sp.	532
21	Copaíba	<i>Copaifera reticulata</i>	603
22	Copaíba	<i>Copaifera reticulata</i>	585

Com exceção de 2 espécies, Tachi preto (*Sclerolobium* sp.) e o Matá-Matá jibóia (*Eschweilera amara*), que eram madeiras oriundas de desmatamento na fazenda da empresa, apresentando diâmetros menores, entre 15 e 25cm, as demais, por estarem em toras maiores de 40cm de diâmetro, foram rachadas para que pudessem ser carbonizadas.

A determinação do teor de umidade das espécies utilizadas foi feita em campo, com auxílio de um aparelho medidor de umidade contida na madeira, relacionado com a sua condutividade elétrica, o higrômetro. A umidade apresentada na Tabela 08 é uma média de várias determinações, tanto no cerne quanto no alburno.

4.2 Forno de carbonização

O forno ou câmara portátil utilizado no estudo é produzido por Mario Montani – Metalurgia Ltda, sendo constituído de uma campânula metálica inteira, com revestimento interno em fibra refratária. As dimensões da câmara de carbonização são

de 2,20m de altura e 2,86m de diâmetro, o peso é de aproximadamente 1.200kg., com volume nominal de 14m³ e volume de carga de 12m³. O forno possui orifícios e um sistema de tiragem central dos gases, não possuindo portas (ver Anexo I).

A operação de carbonização com este tipo de equipamento é realizada com auxílio de uma talha (manual/elétrica) ou qualquer tipo de guincho que faça erguer a câmara, colocar a lenha que será carbonizada em sentido vertical sob a câmara e abaixá-la sobre a pilha. Após esta operação o fogo é colocado através dos orifícios superiores, sendo o controle da carbonização feito por meio da abertura e fechamento dos orifícios instalados ao longo do corpo da câmara. Após a carbonização, todos os orifícios são fechados para que o processo de resfriamento possa ser iniciado. Segundo dados do fabricante, a operação de carbonização pode durar de 8 a 14 horas, dependendo da umidade e tipo de lenha e o resfriamento, dependendo da temperatura local, pode variar de 20 a 30 horas, podendo-se obter de 4 a 6m³ equivalentes de carvão por ciclo de 48 horas a partir de 12m³ de madeira, considerando-se o tipo de lenha e teor de umidade.

As operações de carvoejamento com o forno realizadas neste estudo seguiram as orientações do fabricante, com exceção do tempo de carbonização, que variou entre 15 e 26 horas e o sistema de movimentação do forno (levantar e abaixar), que foi improvisado com a ajuda de uma pá carregadora, funcionando como um guincho, mas que não prejudicou as operações de carbonização.

4.3 Avaliação do carvão vegetal produzido

O carvão vegetal obtido de cada fornada foi analisado quimicamente por meio da análise química imediata, quanto ao teor de umidade, carbono fixo, materiais voláteis e teor de cinzas, expressos em porcentagens, sendo esta análise feita segundo a norma ASTM D 1762-64 – **Chemical Analysis of Wood Charcoal** – American Society for Testing and Materials – ASTM. 1973.

A resistência mecânica – friabilidade do carvão – foi avaliada por meio de teste de tamboramento em escala de laboratório, conforme estudos do CETEC e utilizando-se para classificação dos resultados a mesma escala usada pelo Centre Technique Forestier Tropical – (França), quando da realização de estudos de carbonização com madeiras da Amazônia (1972), ou seja:

Classificação	% de perda abaixo de 20mm
Muito friável	≥ 30
Bastante friável	25 – 29
Friabilidade média	15 – 24
Forno friável	10 – 15
Muito pouco friável	< 10

Todos os testes de avaliação do carvão vegetal foram realizados no Laboratório de Produtos Florestais do IBAMA, em Brasília, DF.

5. RESULTADOS

São apresentados, a seguir, os resultados obtidos em todas as carbonizações realizadas, totalizando 22 fornadas. A Tabela 08 apresenta estes resultados relacionando a quantidade de madeira enfiada (peso e volume) e teor de umidade desta madeira, com o tempo gasto nas operações de carvoejamento (carga, carbonização, resfriamento e descarga do forno) e os rendimentos obtidos em carvão, tiços e finos (abaixo de 10mm). Os rendimentos são apresentados em peso na base úmida, pelo fato de ser esta a situação que se encontra na prática. Na Tabela 09, estes rendimentos são apresentados em peso na base seca, para fazer comparações e avaliar melhor os parâmetros envolvidos na carbonização, eliminando-se, assim, os diferentes pesos que um mesmo volume de madeira possa ter, conforme sua umidade, influenciando diretamente no rendimento do carvão. A Tabela 09 apresenta também análise química imediata do carvão vegetal produzido.

Na Tabela 10 são apresentados os resultados com as médias obtidas por espécie, com relação ao volume de madeira enfiada, período de carbonização, rendimento em carvão e análise química imediata. Nestes resultados incluiu-se também uma média para as 22 fornadas. Os dados referentes ao teste de tamboramento são apresentados na Tabela 11, sendo que mais de 70% do carvão produzido ficaram classificados na faixa de pouca e média friabilidade.

Devido ao baixo número de repetições não é possível fazer uma análise estatística dos resultados obtidos neste trabalho, servindo os mesmos de base para análises preliminares.

TABELA 08 – Resultados obtidos das 22 fomas apresentando a quantidade de madeira enformada, teor de umidade, tempo gasto nas operações de carvoejamento e rendimento dos produtos.

Fornada n°	Madeira enformada		Umidade da madeira enformada (%)	Operações de carvoejamento (horas)				Período total de carvoejamento (horas)	Produção*					
	Peso da madeira (kg)	Volume (st)		Carga do forno	Carbonização	Resfriamento	Descarga do forno		Carvão		Tiço		Finos	
									kg	%	kg	%	kg	%
01	3,805	6,04	42,2	2:50	16:00	28:30	2:30	49:10	825	21,7	115	3,0	75	1,9
02	3,006	5,09	38,5	2:30	15:00	32:00	2:30	52:00	735	24,4	156	5,2	78	2,6
03	3,581	5,87	35,4	2:40	21:00	22:00	3:00	48:40	855	23,8	480	13,4	75	2,1
04	5,929	8,82	37,5	3:10	16:00	28:00	2:40	49:50	960	16,2	1.543	26,0	180	3,0
05	4,016	5,90	38,0	3:00	18:30	24:00	2:30	48:00	846	21,0	889	22,1	118	2,9
06	3,904	6,82	34,6	2:30	22:40	21:00	2:20	48:30	765	19,6	361	9,2	85	2,2
07	4,874	5,80	38,4	3:00	23:00	24:00	2:30	52:30	1.155	23,7	378	7,8	329	6,7
08	4,623	6,37	47,7	3:00	16:00	28:00	2:30	49:30	750	16,2	1.172	27,5	96	2,0
09	4,493	7,98	36,3	3:00	22:10	23:40	2:30	51:20	864	19,2	493	10,9	84	1,9
10	3,312	7,99	28,6	2:50	21:00	25:00	1:50	50:00	328	9,9	320	9,6	77	2,3
11	5,646	5,84	42,2	2:20	20:30	27:30	2:10	52:30	1.360	24,0	661	11,7	104	1,8
12	5,485	8,25	35,2	2:15	23:00	22:30	2:30	50:15	816	16,8	373	7,7	97	2,0
13	4,389	7,46	37,8	3:00	20:40	23:00	2:00	48:40	560	12,8	242	5,5	100	2,3
14	3,481	7,77	32,5	2:10	20:00	24:30	1:40	48:20	530	15,2	227	6,5	94	2,7
15	5,307	8,28	37,0	2:30	18:30	26:00	2:30	49:30	546	10,3	585	11,0	102	1,9
16	4,327	7,25	36,2	2:30	20:30	23:00	2:00	48:00	520	12,0	452	10,4	98	2,3
17	4,627	5,16	35,4	2:40	20:00	25:00	1:50	50:30	520	11,2	446	9,6	135	2,9
18	4,391	8,06	40,6	2:20	19:00	26:30	2:00	49:50	585	13,3	177	4,0	105	2,4
19	4,664	9,72	38,7	2:10	21:40	26:00	2:10	52:00	533	11,4	539	11,6	144	3,0
20	4,118	7,73	31,2	2:25	21:00	24:20	2:00	49:45	872	21,2	279	6,8	95	2,3
21	4,372	7,24	34,8	2:30	24:30	23:00	2:00	52:00	750	17,1	941	21,5	94	2,1
22	4,300	7,34	36,5	2:40	21:30	26:00	1:45	51:15	720	16,7	228	5,3	102	2,4

* Rendimento gravimétrico em carvão, tiço e finos (base úmida).

TABELA 09 – Rendimentos em peso (base seca) do carvão, tiço e finos e a análise química imediata do carvão vegetal produzido.

Fornada n°	Madeira enformada		Peso do carvão (kg)	Rendimento gravimétrico (%)						Análise química imediata (%)			
	Peso verde (kg)	Peso seco (kg)		Base úmida			Base seca			Teor de umidade	Carbono fixo	Materiais voláteis	Teor de cinzas
				Carvão	Tiço	Finos	Carvão	Tiço	Finos				
01	3,805	2,200	825	21,7	3,0	1,9	37,5	5,2	3,4	5,65	81,71	16,27	2,00
02	3,006	1,849	735	24,4	5,2	2,6	39,7	8,4	4,2	5,93	84,11	14,79	1,09
03	3,581	2,314	855	23,8	13,4	2,1	36,9	20,7	3,2	4,24	72,81	25,46	1,73
04	5,929	3,706	960	16,2	26,0	3,0	25,9	41,6	4,8	4,47	73,04	19,63	7,31
05	4,016	2,490	846	21,0	22,1	2,9	33,9	35,7	4,7	3,68	84,53	9,12	6,34
06	3,904	2,554	765	19,6	9,2	2,2	29,9	14,1	3,3	4,35	76,74	22,24	2,01
07	4,874	3,003	1.155	23,7	7,8	6,7	38,4	12,5	10,9	8,31	90,21	8,36	1,42
08	4,623	2,372	750	16,6	27,5	2,0	31,6	53,5	4,0	6,70	82,77	11,02	6,20
09	4,493	2,863	864	19,2	10,9	1,9	30,1	17,2	2,9	7,95	88,69	8,44	2,85
10	3,312	2,365	328	9,9	9,6	2,3	13,8	13,5	3,2	6,68	88,44	8,63	2,92
11	5,646	3,264	1.360	24,0	11,7	1,8	41,6	20,2	3,2	6,13	80,24	18,76	0,98
12	5,485	3,555	816	16,8	7,7	2,0	22,9	10,5	2,7	6,78	88,59	8,97	2,42
13	4,389	2,730	560	12,8	5,5	2,3	20,5	8,8	3,6	7,30	89,19	9,29	1,51
14	3,481	2,350	530	15,2	6,5	2,7	22,5	9,6	4,0	8,17	89,40	8,87	1,71
15	5,307	3,344	546	10,3	11,0	1,9	16,3	17,5	3,0	9,02	83,08	15,50	1,40
16	4,327	2,761	520	12,0	10,0	2,3	18,8	16,3	3,5	9,56	92,08	6,88	1,03
17	4,627	2,990	520	11,2	9,6	2,9	17,4	14,9	4,5	6,21	85,63	12,58	1,78
18	4,391	2,609	585	13,3	4,0	2,4	22,4	6,8	4,0	7,77	88,81	8,95	2,22
19	4,664	2,860	533	11,4	11,6	3,0	18,6	18,8	5,0	6,30	85,07	13,15	1,76
20	4,118	2,834	872	21,4	6,8	2,3	30,7	9,8	3,3	7,65	88,97	8,59	2,43
21	4,372	2,851	750	17,1	21,5	2,1	26,3	33,0	3,2	8,84	84,09	12,88	3,02
22	4,300	2,731	720	16,7	5,3	2,4	26,3	8,3	3,7	8,76	84,51	12,10	3,38

TABELA 10 – Rendimento e análise química imediata do carvão em média, por espécie e agrupamento destas.

Espécie utilizada	Volume de madeira enforada (st)	Período total de carvoejamento (horas)	Rendimento em carvão (base seca) (%)	Análise química imediata de carvão (%)			
				Teor de umidade	Carbono fixo	Materiais voláteis	Teor de cinzas
Tachi preto	5,87	48:40	36,9	4,24	72,81	25,46	1,73
Matá-Matá jibóia	6,84	50:30	32,7	5,48	82,59	12,37	5,02
Copaíba	7,13	50:48	27,5	7,31	81,78	15,74	2,47
Jatobá	6,37	49:30	31,6	6,70	82,77	11,02	6,20
Tauari	7,98	50:30	27,9	7,46	88,75	8,66	2,56
Fava	7,99	50:00	13,8	6,68	88,44	8,63	2,92
Melancieira	7,46	48:40	20,5	7,30	89,19	9,29	1,51
Breu	7,77	48:20	22,5	8,17	89,40	8,87	1,71
Mista (todas agrupadas)	6,93	50:30	26,5	7,07	85,09	13,36	1,53
MÉDIA DAS FORNADAS	7,15	49:52	26,66	6,71	84,54	12,60	2,85

TABELA 11 – Resultados do teste de tamboramento para o carvão e sua classificação para a friabilidade.

Fornada nº	Espécie utilizada	Peso inicial (g)	Peso retido em peneira de 1/2" (g)	Peso de finos (g)	Finos (%)	Classificação**
01	Mista	503,8	412,3	91,5	18,16	Friabilidade média
02	Mista	503,2	390,7	112,5	22,33	Friabilidade média
03	Tachi preto	500,1	443,4	56,7	11,35	Pouco friável
04	Matá-Matá jibóia	500,2	423,0	77,2	15,40	Friabilidade média
05	Matá-Matá jibóia	500,0	362,6	173,4	34,68	Muito friável
06	Copaíba	501,4	438,7	62,7	12,50	Pouco friável
07	Matá-Matá jibóia	502,9	448,1	54,8	10,90	Pouco friável
08	Jatobá	501,6	407,6	94,0	18,74	Friabilidade média
09	Tauari*	366,2	326,5	39,7	10,84	Pouco friável
10	Fava*	308,7	269,2	39,5	12,80	Pouco friável
11	Mista	474,0	343,5	130,5	27,53	Bastante friável
12	Tauari	500,5	459,6	40,9	8,17	Muito pouco friável
13	Melancieira	413,6	333,5	80,1	19,37	Friabilidade média
14	Breu	500,0	346,3	153,1	30,74	Muito friável
15	Mista	500,6	425,4	75,2	15,02	Friabilidade média
16	Mista*	297,6	220,7	76,9	25,84	Bastante friável
17	Mista*	358,4	284,4	74,0	20,65	Friabilidade média
18	Mista*	380,9	334,6	46,3	12,16	Pouco friável
20	Tauari	500,7	417,9	82,8	16,54	Friabilidade média
21	Copaíba	499,9	459,9	40,0	8,00	Pouco friável

* Espécies com pesos de amostras inferiores ao solicitado na metodologia do teste de tamboramento, podendo influir nos resultados.

** Classificação feita de acordo com tabela apresentada na metodologia do trabalho.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados na Tabela 08, referentes à quantidade de madeira enforada (peso e volume) e tempo gasto nas operações de carvoejamento (carga, carbonização, resfriamento e descarga do forno), pode-se concluir que estes dados não correspondem em grande parte aos fornecidos pelo fabricante do forno, com referência a volume de carga do equipamento e período de carvoejamento.

Dentre os 22 ensaios, o volume de madeira enforado variou de 5,67 a 7,99 metros estéreos (st), com média de 7,15 mst correspondendo a 5,15m³ de madeira/fornada, enquanto o fabricante assegura um volume de carga de 12,6m³/fornada. O período de carvoejamento variou de 48:20 a 50:48 horas, com média de 49:52 horas, sendo que a operação de carbonização (queima de madeira) teve uma variação de 15:00 a 24:30 horas, contra um período de 8 a 14 horas estipulado pelo fabricante do forno. Mesmo com este período maior de carbonização, ocorreu ainda formação de muito tiço, como por exemplo nas fornadas 04, 05, 08 e 21, indicando que talvez seja necessário um período ainda maior para que a etapa de carbonização seja bem conduzida, aumentando o rendimento em carvão.

Com relação ao rendimento gravimétrico do carvão em peso na base seca, este variou de 328 a 1.360kg, com média de 731kg de carvão/fornada, correspondendo a 26,26%. Considerando-se para o carvão uma densidade média de 250kg/m³, teremos correspondentemente a 2,9m³ de carvão/fornada e uma relação de 2,5 mst de lenha/m³ de carvão produzido. Provavelmente, esta relação possa ser diminuída com uma melhor condução das operações de carvoejamento, principalmente em termos de maior tempo para a carbonização e como maior quantidade de lenha enforada, tendo esta lenha a menor umidade possível.

Levando-se em conta a média de 49:52 horas, por ciclo de carvoejamento e o rendimento de 2,9m³ de carvão/fornada, pode-se chegar a um rendimento diário de produção de carvão

da ordem de 0,35 toneladas, sendo que um forno de alvenaria com 5m de diâmetro, 240 horas por ciclo de carvoejamento e rendimento de 17m³ de carvão/fornada, terá rendimento diário da ordem de 0,42 toneladas. Portanto, pode-se dizer que um forno metálico com as dimensões e volume iguais ao utilizado neste estudo não terá competitividade na produção de carvão vegetal em grande escala, podendo ser utilizado com bastante êxito na produção de carvão vegetal em escala reduzida.

Outro aspecto importante é quanto à qualidade do carvão vegetal produzido. Com relação a sua composição química, os dados apresentados nas Tabelas 09 e 10 mostram que esta apresentou, em média, 6,7% de umidade, 84,5% de carbono fixo, 15,6% de materiais voláteis e 2,8% de cinzas. Estes dados revelam ser este carvão de excelentes características para uso energético, quanto a sua composição química. Com relação à resistência mecânica, friabilidade do carvão, os dados contidos na Tabela 11 demonstram que a maior parte das amostras testadas em laboratório obteve a classificação de friabilidade média 38% e pouco friável 33%. Utilizando-se na carbonização madeiras com menor teor de umidade, abaixo de 30%, seguramente a resistência do carvão produzido será maior.

Apesar dos dados apresentados neste trabalho permitirem apenas uma avaliação preliminar, pode-se dizer que na produção de carvão vegetal com madeiras da Região Amazônica, em fornos metálicos, consegue-se um carvão de boa qualidade mas com rendimento em carvão vegetal produzido, médio.

7. AGRADECIMENTO

O autor gostaria de expressar os seus agradecimentos à empresa ALPHA PASTORIL LTDA., sediada em Tucuruí (PA), pelo apoio e interesse demonstrados no desenvolvimento do presente trabalho, possibilitando que o mesmo fosse realizado.

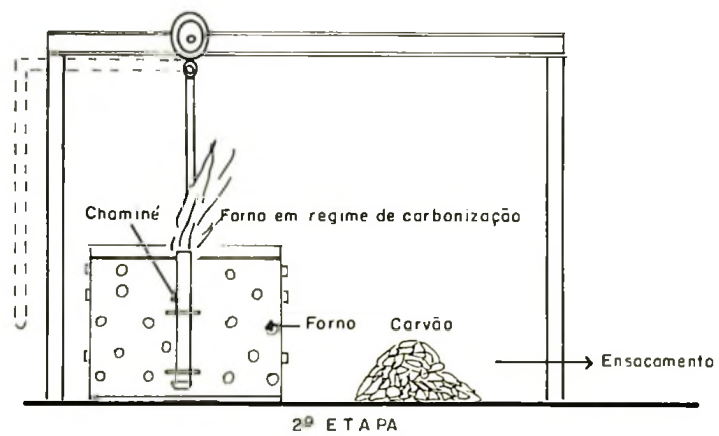
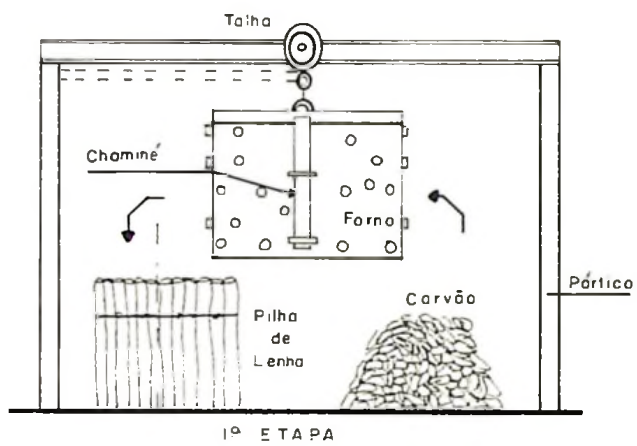
8. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

1. BEALL, F. C. & EICKNER, H. W. **Thermal degradation of wood components**. Forest Products Laboratory, Forest Service, US Department of Agriculture. 1974.
2. BRITO, J. O. & BARRICHELO, L. E. G. Correlações entre características físicas e químicas da madeira e a produção de carvão vegetal. I. Densidade e teor de lignina da madeira de Eucalipto. *IPEF*, (14): 9-20. Piracicaba, SP. 1977.
3. DOAT, J. & PETROFF, G. La carbonization des bois tropicaux. Essais de laboratoire et perspectives industrielles. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 159. França. 1975.
4. FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS FERREIS – CETEC. **Produção e Utilização de Carvão Vegetal**. Série Publicações Técnicas, 8. Belo Horizonte, MG. 1982.
5. OLIVEIRA, J. C. Análise econômica do carvão vegetal – **Seminário sobre carvão vegetal**. IBS/ABM/BDMG. Belo Horizonte, MG. 1977.
6. PETROFF, G. & DOAT, J. Pyrolyse des bois tropicaux, influence de la composition chimique de bois sur les produits de distillation. *Revue Bois et Forêts des Tropiques*, 177:51-64. França. 1978.



ANEXO I

SISTEMA DE CARBONIZAÇÃO



ENDEREÇO DO EDITOR

**Diretoria de Incentivo à Pesquisa e Divulgação
Departamento de Divulgação Científica
Divisão de Divulgação Técnico-Científica
W/3 Norte – Q. 510
Edifício Cidade de Cabo Frio – 3º andar
70750 – Brasília-DF**

LABORATÓRIO DE PRODUTOS FLORESTAIS – IBAMA

Endereço: SAIN – Av. L4 Norte – Lote 04 – CEP 70770

Fones: (061) 224-4789/224-5337/223-5664

Telex: (061) 2120/1711 – Fax: 224-5206

Caixa Postal 152874 – CEP 70919

BRASÍLIA-DF