

## RESUMO

Nesta pesquisa é relatada a qualidade do carvão fabricado com madeiras do Distrito Agropecuário da Suframa, e do briquete manufaturado tendo como adesivo a tapioca. Mostra-se, as dificuldades para a conversão mecânica das madeiras de terra firme da proximidade de Manaus, assim como, a impossibilidade da conversão química para a produção de celulose e furfural. Postula-se ser o carvoejamento a transformação mais compatível com as características dessas madeiras. Menciona-se o processo de fabricação do carvão vegetal. Caracteriza-se a sua qualidade considerando os parâmetros: carbono fixo, cinzas, materiais voláteis, poder calorífico, umidade, densidade aparente, densidade verdadeira, friabilidade e porosidade. Descreve-se o processo de fabricação do briquete, fazendo-se considerações sobre as características do adesivo. Compara-se a qualidade do carvão versus a qualidade do briquete. Discute-se as informações existentes na literatura sobre o uso do briquete para gásogênio automotivo. Infere-se várias conclusões entre as quais que o carvão vegetal e o briquete seriam produtos florestais alternativos para regiões detentoras de florestas e de condições ecológicas propícias ao desenvolvimento da cultura da mandioca, como a Amazônia brasileira.

## INTRODUÇÃO

A floresta amazônica, biologicamente rica, extremamente exuberante e portentosamente luxuriante é, no entanto, economicamente, pobre em madeiras de valor comercial. Suas espécies vegetais, que detêm preço, no mercado, não chegam a meia centena e estão, difusamente, espalhadas na heterogeneidade da floresta.

Desta forma, a conversão do seu estoque lenhoso em produtos finais, seja de forma mecânica ou química e que tem sido fruto de exaustivas pesquisas, ainda não redundaram em empreendimentos florestais, que viabilizem o seu aproveitamento auto-suficiente.

As razões desses insucessos são inúmeras, mas entre estas destacam-se: a heterogeneidade da floresta e a dureza das madeiras. Estas duas características, têm, praticamente, limitado tanto a conversão mecânica (madeiras, serradas, laminadas, faqueadas,

---

(\*) Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Manaus - AM.

compensadas, etc), bem como a conversão química, que utiliza tecnologia complexa e de capital intensivo: celulose, álcool de madeira, furfural.

Entretanto, uma forma de conversão química da madeira simples é usada desde tempos imemoriais: a carbonização não é compatível com a heterogeneidade da floresta, muito menos com a dureza das madeiras, constituindo assim uma oportunidade real de utilização das madeiras da floresta amazônica, principalmente as de terra firme e especialmente aquelas espécies, que o mercado não elegeu para usos mais nobres.

O produto final da carbonização da madeira: o carvão tem relevante aplicação nas regiões com diferentes estágios de cada região. Nos países mais pobres, como o Senegal, por exemplo, ele é utilizado como combustível doméstico. No Brasil a utilização se faz, principalmente, na indústria siderúrgica, como termo-redutor e na cimenteira, como combustível. Nos países desenvolvidos, que dispõem de outros energéticos sólidos, o carvão vegetal é utilizado, principalmente, no lazer, especialmente, para assar churrasco.

Quanto a forma física de utilização esta se faz, no formato de pedras granuladas, carvão pulverizado e briquetes. O briquete é fabricado com carvão pulverizado associado a um aglutinante, que pode ser sintético ou natural.

A avaliação da fabricação e qualidade dos briquetes e do carvão vegetal oriundo de madeiras do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus, tendo como aglutinante raspas de mandioca (amido) é descrito neste trabalho.

#### **Composição dendrométrica das florestas do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus**

No Quadro nº 1, mostra-se os tipos florestais, bem como a cubagem lenhosa, área e volume total de madeiras, nas diferentes tipologias. O maior volume médio situa-se ao redor de 228m<sup>3</sup>/ha, um pouco inferior a média Amazônica, que é estabelecida, em torno de 250m<sup>3</sup>/ha.

No Quadro nº 11, estão agrupados os volumes das madeiras por famílias. Como se pode observar, mais de 65% da composição dendrológica da floresta de Terra Firme I é representado por 5 famílias, cujos indivíduos representativos, com exceção de alguns gêneros da família Leguminosae, como os "Ingas", "Faveiras" são de densidade acima de 700kg/m<sup>3</sup>, bem como bastante silicosas. A maioria dessas espécies, jamais se prestariam para uma conversão mecânica, muito menos para a indústria de conversão química, que exige homogeneidade de matéria prima, como a indústria de celulose. Uma possibilidade de seu aproveitamento seria o carvoejamento.

**Quadro 1.** Volumes totais dos tipos florestais inventariados na área do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus.

Tipo Florestais	Volume por hectare			Área ha.	Volume Total m <sup>3</sup>
	Mínimo m <sup>3</sup>	Médio m <sup>3</sup>	Máximo m <sup>3</sup>		
Floresta Terra Firme I	225,757	228,399	231,041	58,014,0	13.097.066,598

Quadro I. (continuação).

Tipo Florestais	Volume por hectare			Área ha.	Volume Total m <sup>3</sup>
	Mínimo m <sup>3</sup>	Médio m <sup>3</sup>	Máximo m <sup>3</sup>		
Floresta Terra Firme II	192,999	197,391	201,783	445.133,0	85.910.223,867
Carrasco de Campina	84,258	90,444	96,630	1.196,0	101.010,960
Floresta de Alagadiço	170,420	185,752	201,084	84.992,0	14.484.336,640
<b>Volume Total</b>					<b>113.592.638,065</b>

Fonte: Proflama, 1972.

Quadro II. Famílias botânicas dominantes na floresta da terra firme I do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus.

Famílias	Volume Médio m <sup>3</sup> /ha	( % ) Por Família
Chrisobalanaceae	22,79	9,97
Humiriaceae	24,30	10,66
Lecitidaceae	34,08	14,92
Leguminosae	41,56	18,19
Sapotaceae	29,31	12,83
<b>Sub-total</b>	<b>152,04</b>	<b>66,57</b>
36 outras Famílias	76,35	33,43
<b>Total</b>	<b>228,39</b>	<b>100,00</b>

Fonte: Proflama, 1972.

### Fabricação e qualidade do carvão

Das madeiras da área florestal mencionadas anteriormente foi fabricado o carvão vegetal em forno de alvenaria convencional (Fig. 1), com capacidade de carga para 16m<sup>3</sup> de lenha, obtendo-se em média 8 - 10 m<sup>3</sup> de carvão por fornada.

A caracterização do carvão vegetal foi realizada de acordo com os métodos estabelecidos pela Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais - CETEC, geralmente, aceitos tanto por fabricantes de carvão vegetal como por utilizadores.

Os resultados estão mostrados no Quadro nº III.

F.A.O. 1983, menciona que o teor de umidade é um adulterante, que baixa o valor calorífico, o grau de aquecimento e quando o carvão é comercializado, por peso, o teor de umidade é motivo de controvérsia delituosa. Assegura o mesmo autor que os limites da especificação de umidade para um carvão de boa qualidade pode estar entre 5% a 15% do volume bruto.

No caso do carvão analisado, o teor de umidade esteve abaixo do limite inferior, o que constitui uma vantagem, levando-se em consideração a alta taxa de umidade relativa do ar, na região amazônica, ao redor de 80%, associada a elevada pluviometria superior a 2.000 mm anual. Assim seria de se esperar que a umidade do carvão fabricado, que esteve sempre armazenado com cobertura de lona plástica, seria superior a dos carvões manufaturados, em equipamentos semelhantes, na região sudeste do Brasil.

Confrontando, entretanto, o resultado, com os que são apresentados por Araújo, 1952, e Gomes et al., 1982, nota-se uma certa equivalência de resultados, no que concerne a umidade. A variável climática, que poderia influenciar para o equilíbrio desta equivalência seria a radiação solar, que chega em determinada fase do dia ser superior a 500 watt/m<sup>2</sup>, conforme avalia Filho et al., 1985.

O teor de voláteis representa os compostos remanescentes do alcatrão que não se desprenderam durante o processo de carbonização, permanecendo assim como componente químico do carvão. Earl, 1975, menciona que os voláteis do carvão, durante o processo de carbonização, desaparecem antes de começar a oxidação do carbono e são compostos, principalmente, por hidrocarbonetos e frações de Nitrogênio e que sua porcentagem (de 10% a 40%) varia em proporção inversa a temperatura de carbonização.

Por outro lado, F.A.O. *ibidem* registra que um carvão comercial de boa qualidade poderia ter um teor de voláteis líquido, considerando o carvão livre de umidade, ao redor de 30%.

Pelo resultado mostrado, o teor de voláteis do carvão oriundo das madeiras da área pesquisada é, perfeitamente, compatível com a variação proposta por Earl, *ibidem* e próximo da marca assinalada pela F.A.O. *ibidem*.

No que concerne a confrontação dos resultados obtidos com os valores registrados na literatura, verifica-se que este foi quase o dobro do valor médio encontrado por Araújo, *ibidem*, para a média dos carvões da zona metalúrgica de Minas Gerais e bem próximo dos resultados de Gomes et al., 1982, obtidos em forno de alvenaria convencional tendo como matéria prima **Eucalyptus** spp. de 10 anos de idade.

O teor de carbono fixo expressa a quantidade do carbono puro existente, no carvão. Segundo a F.A.O. *ibidem* o seu teor varia desde 50% para o valor mais baixo até 90% para o mais alto. No carvão a ser utilizado, em siderurgia, o teor de carbono fixo é muito importante, porque é através desta característica que se processa a redução do ferro.

Earl, *ibidem*, afirma que o conteúdo de carbono fixo, no carvão vegetal depende, principalmente, das condições de carbonização e em menor grau da quantidade de carbono contida, na carga original da madeira. Menciona o mesmo autor que uma carbonização lenta e a alta temperatura são eliminados todos os voláteis, então, o conteúdo fixo é alto ao redor de 90%. O inverso aconteceria para uma carbonização rápida a baixa temperatura, que teria valor de voláteis alto e quantidade de carbono fixo baixa, aproximado a 50%.

Associando os resultados obtidos aos conceitos expostos, nota-se que o carvão pesquisado, no que concerne aos parâmetros estabelecidos pela F.A.O. *ibidem*, aproxima-se do estrato superior e seria, portanto, um carvão factível de ser utilizado em siderurgia. Observa-se também, segundo os conceitos de Earl, *ibidem*, que a carbonização foi mais

lenta do que rápida e que a temperatura de carbonização não foi desprezível, porque o valor obtido esteve menos de 16 unidades percentuais de 90% - valor máximo de carbono fixo considerado por esse pesquisador.

No que diz respeito ao encontro do dado obtido com os resultados da literatura salienta-se que: Araújo, *ibidem*, para a média do carvão oriundo de 10 localidades diferentes, da zona metalúrgica de Minas Gerais, obteve um valor de carbono fixo de 82,7% superior, portanto, a 7,80% do carvão pesquisado. Entretanto, Gomes *et al.*, 1982, citam o valor de 73,40% de carbono fixo em carbonização convencional de *Eucalyptus spp.* com 10 anos. Em razão, se infere que não há incongruência do resultado obtido com os dados apresentados pela literatura.

Segundo Doat, 1983, o poder calorífico do carvão vegetal depende, fortemente, da técnica de carbonização e varia no entender do mesmo autor de 6.500 Kcal/kg - carvão de caieira à, aproximadamente, 8.000 Kcal/kg carvão de retorta. Em contrapartida, Earl, *ibidem*, afirma que o valor calorífico do carvão vegetal é equivalente ao do carbono. Menciona, também, que o carvão vegetal, com maior teor de voláteis, apresenta poder calorífico superior ao carvão detentor de maior porcentagem de carbono fixo. Relata o mesmo autor que os resultados do carvão vegetal fabricado, em fornos metálicos transportáveis indicaram uma tendência para uma relação inversa entre a temperatura máxima do forno e o valor calorífico do carvão vegetal produzido; porém, como afirma o autor, não se encontrou correlação significativa, entre o poder calorífico e a porcentagem de substâncias voláteis presentes.

Analisando-se o resultado obtido, em função dos conceitos acima expressos, nota-se que o poder calorífico está perfeitamente, compatibilizado com os valores de Doat, *ibidem*. No que diz respeito ao conceito de Earl, *ibidem*, o resultado obtido, em relação ao poder calorífico "vis à vis" os teores de carbono fixo e voláteis para o forno de alvenaria, teria o mesmo significado do forno metálico.

As características físicas de um carvão vegetal são entre outras: a densidade aparente, a densidade verdadeira, a friabilidade, e a porosidade. Amorim *et al.*, 1978, considera que as propriedades físicas do carvão vegetal tem grande importância para indústria siderúrgica, porque segundo o mesmo autor o carvão vegetal é o insumo mais caro do alto forno. Observa, também, que as propriedades físicas influenciariam no rendimento do alto forno; enquanto que, as propriedades químicas teriam importância, na quantidade de carvão necessário para produzir 1 ton. de ferro e na composição final do ferro ou aço.

No que diz respeito a cada propriedade *per si*, Doat, *ibidem*, relata que o carvão vegetal é característico, geralmente, por sua densidade e considera que a sua massa específica pode variar desde 0,2 à 0,6 g/cm<sup>3</sup> e está segundo este pesquisador, intimamente ligado a madeira que deu origem. Como afirma Doat, *ibidem*: madeira densa dá origem a carvão denso. Madeira leve origina carvão leve. Tendo um coeficiente de transformação de massa madeira/carvão, da ordem de metade.

O resultado do carvão pesquisado, relacionado ao conceito de Doat, *ibidem*, é portanto, oriundo de madeira com densidade básica, provável acima de 700 kg/m<sup>3</sup>.

Oliveira *et al.*, 1982, caracterizam a densidade verdadeira como a mensuração da densidade da substância que compõe o carvão. Isto é: o carbono. Consideram, também, que a densidade verdadeira é a densidade aparente descontando-se o volume da porosidade interna. Afirmam que relacionando a densidade verdadeira com a aparente ter-se-á, então a medida de porosidade do carvão.

Considerando este conceito e comparando as densidades com as relatadas na literatura, observa-se no que diz respeito os resultados de Araújo, *ibidem*, este encontrou para a densidade relativa aparente e verdadeira, no seu ensaio sobre carvão vegetal da zona metalúrgica de Minas Gerais, valores médios de  $0,43\text{g/cm}^3$  e  $1,53\text{g/cm}^3$ , respectivamente.

Por outro lado, Oliveira *et al.*, *ibidem*, no trabalho sobre a normalização de teste de controle de qualidade de carvão vegetal, encontraram para o carvão de *Eucalyptus* spp. e carvão oriundo de madeira desconhecida do cerrado brasileiro, valores médios para a densidade relativa aparente de  $0,42\text{g/cm}^3$ ,  $0,43\text{g/cm}^3$  e  $0,45\text{g/cm}^3$ , para a densidade relativa verdadeira, os autores encontraram valores de:  $1,39\text{g/cm}^3$ ,  $1,33\text{g/cm}^3$ ,  $1,35\text{g/cm}^3$ .

Os valores da literatura, contraposto aos resultados da pesquisa, caracterizam que o carvão da mata de terra firme da Amazônia Central, como mais denso do que os mencionados pelos autores citados. Isto é, perfeitamente, normal e aceitável, haja visto serem de uma forma geral, as madeiras da floresta de terra firme da região amazônica, mais duras do que as madeiras de outras tipologias florestais do Brasil.

Oliveira *et al.*, *ibidem*, nas considerações sobre o teste de tamboramento de carvão vegetal, mencionam que sendo o carvão vegetal um material bastante friável, por essa razão produz quantidade razoável de finos, durante o manuseio. Afirmam esses pesquisadores que, normalmente, é calculado em 25% a 30% a geração de finos, entre a fabricação e o enformamento, no alto forno.

Sobre o conceito do teste de tamboramento, propriamente dito, consideram os autores citados que: "o teste de tamboramento é utilizado pelos consumidores de coque e carvão mineral com objetivo de se determinar a resistência dessas matérias primas à ação combinada da abrasão e queda". Este teste segundo os mesmos autores dá uma indicação do índice de friabilidade, produção de finos, quando solicitado, mecanicamente, durante o manuseio.

Dentro das considerações dos autores supracitados e considerando a origem do carvão motivo da pesquisa, faz-se supor, por ser este originário de madeiras mais densas do que as utilizadas, normalmente, na fabricação de carvão vegetal, na região sudeste e sul do Brasil, seriam menos friáveis e em conseqüência gerariam uma porcentagem menor de finos. Esta observação é verdadeira, tomando em consideração o trabalho de Araújo, *ibidem*, que encontrou para o carvão da zona metalúrgica de Minas Gerais 65,7% e 48,8%, para os testes de tamboramento com tambor A.S.T.M. e L.P.M., respectivamente. Contra 12,48% do carvão pesquisado, com o teste efetuado, em tambor construído com chapa de aço de 6,4 mm de espessura, com 30 cm de diâmetro e 25 cm de comprimento, possuindo uma tampa de 12 cm x 22 cm, com rotação de 35 rpm e número de rotação total de 500.

Por ser mais denso, o carvão vegetal, oriundo das madeiras do Distrito Agropecuário

da Suframa são menos porosos do que os provenientes da madeira da região de Minas Gerais. Isto é comprovado, comparando o resultado de Araújo, *ibidem*, em relação a este parâmetro foi da ordem de 72%, contra 67% do originário das madeiras da área pesquisada.

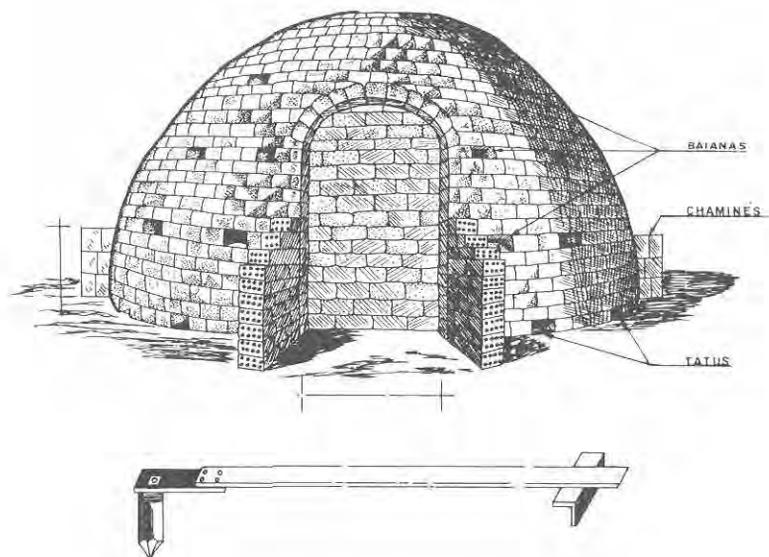


Fig. 1. Forno de alvenaria convencional utilizado na fabricação do carvão vegetal.

Quadro III. Caracterização analítica do carvão fabricado com madeiras do Distrito Agropecuário da Suframa /Superintendência da Zona Franca de Manaus - AM).

ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA - BASE SECA				
Carbono fixo - %	Cinzas - %	Materiais voláteis - %	Poder calorífico superior kcal/kg	Umidade - %
74,78	2,71	22,51	6.602	5,32

ANÁLISE FÍSICA - BASE SECA			
Densidade relativa aparente	Densidade relativa verdadeira	Friabilidade - % (finos gerados abaixo de 12 mm)	Porosidade - %
0,510	1,47	12,48	68,45

#### Fabricação de briquete

Antunes, 1982, considera que a principal utilização do briquete de carvão vegetal na atualidade, no ocidente, é para uso doméstico. Sendo usado, segundo o autor na pre-

paração de churrasco e em lareiras residenciais. Menciona o mesmo autor que a produção com esta finalidade foi, em 1982, para o mundo, ao redor de 1.000.000 toneladas correspondendo, segundo o pesquisador citado, 1/4 da produção, naquele ano no Estado de Minas Gerais. Relata o mesmo autor que os países produtores foram os Estados Unidos da América do Norte, Alemanha Ocidental, México, Equador, Iugoslávia e África do Sul. Nos Estados Unidos, segundo Antunes, *ibidem*, a produção foi, em 1982, cerca de 700.000 toneladas e esteve concentrada, nos estados da Carolina do Norte e Carolina do Sul, sendo a matéria prima resíduos agrícolas, serragens e aparas de madeiras. A este carvão são adicionados finos de carvão importados de outros países inclusive o Brasil, conforme relata Antunes, *ibidem*.

Os fenômenos mecânicos envolvidos na fabricação de briquetes são os de pulverizar, misturar, prensar e secar. Como é evidente, cada uma dessas atividades tem um fim específico. No caso da pulverização, o objetivo é tornar o carvão de granulos na forma de pó, sendo o limite da granulometria abaixo de 3 mm, conforme especifica Antunes, *ibidem*. Na ação de misturar é onde se processa a associação do carvão com os ligantes. Para efetuar esta ação existe inúmeros tipos de equipamentos, bem como diversas formas de aglutinantes, que de acordo com Antunes, *ibidem*, estão catalogados em dois grandes grupos: os não emissores de fuligem tais como o amido, melço de cana, cimento e licor sulfúricos e os emissores de fuligem, onde se incluem o pixe do petróleo, o alcatrão do carvão vegetal e ou mineral. Finalmente, a formação do briquete é devido a ação da prensagem que se realiza, em termos gerais, na aplicação de pressão sobre a massa, através de cilindros giratórios. A consolidação do briquete se faz por meio da secagem. Na indústria, isto se realiza, fazendo passar o briquete formando por secadores a 270°C.

Tomando em consideração estes conceitos, foi fabricado o briquete utilizando-se uma planta piloto de briquetagem composta de um pulverizador, um misturador e uma prensa (Fig. 2). O carvão pulverizado utilizado na mistura, detinha uma granulometria que ultrapassou a peneira de 60 Mesh. O aglutinante empregado na massa foi o amido proveniente da mandioca cujo resultado da análise realizada, segundo o método TAPPI-T 688 m - 53 (Technical Association of the Pulp and Paper Industry), é evidenciado no Quadro IV.

Considerando ser o amido o recurso escasso procurou-se maximizar o aglutinante minimizando a sua participação, na mistura. Desta forma, no misturador, foram preparados três tipos de massa, como estabelecida, no Quadro V. Preparadas as massas, estas foram passadas, na prensa, obtendo-se briquetes (Fig. 3), que foram secos em estufa a 105±5°C até peso constante. Sobre os briquetes secos foram realizados os mesmos ensaios efetuados no carvão granulado. O resultado é mostrado no Quadro VI.

A Enciclopédia of Polymer ... v. 1, p. 415 define adesão (aderência) como sendo o fenômeno, no qual superfícies são uniformemente, ligadas por forças interfaciais. Segundo a Enciclopédia, a adesão pode ser mecânica, eletrostática ou por atração molecular e depende, sobretudo, da ligação se esta força de atração é de cargas eletrostática ou de forças de valência. A mesma Enciclopédia ressalta a importância da natureza química do adesivo, como sendo uma substância capaz de ligar, completamente, materiais através de superfície de contato e define aderentes como as superfícies dos corpos ligados pelos

adesivos.



Fig. 2. Planta piloto utilizada na fabricação do briquete.

Quadro IV. Análise do Amido.

Materiais solúveis em água fria - % -	Materiais es-tranhos - % -	Teor de cinzas - % -	Teor de pro-teínas - % -	Teor de Umida-de - % -	Valor do ph
0,12	0,85	0,16	1,50	31,52	6,7

Quadro V. Composição de diferentes massas elaboradas para a fabricação do briquete.

MASSA I		
Água - %	Amido - %	Carvão - %
34	9	57
MASSA II		
Água - %	Amido - %	Carvão - %
30	8	62
MASSA III		
Água - %	Amido - %	Carvão - %
25	6	69

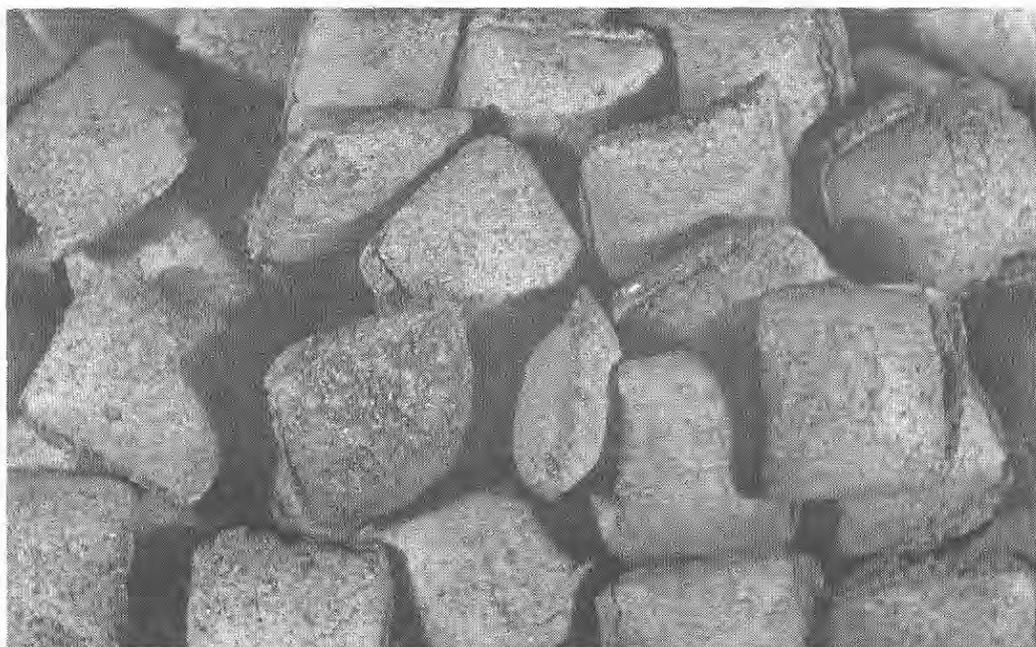


Fig. 3. Briquetes fabricado.

Quadro VI. Caracterização analítica dos briquetes fabricados com carvão do Distrito Agro pecuário da Suframa, tendo como aglutinante amido de mandioca. Resultado dos médios das três massas.

ANÁLISE QUÍMICA IMEDIATA - BASE SECA				
Carbono fixo - %	Cinzas - %	Materiais voláteis - %	Valor calorífico Kcal/kg superior	Umidade - %
69,83	3,09	27,08	6.168	4,95
ANÁLISE FÍSICA - BASE SECA				
Densidade - aparente kg/m <sup>3</sup>	Densidade verdadeira kg/m <sup>3</sup>	Friabilidade - %	Porosidade - %	
-	1.550	20,73	-	

O amido, na definição da mesma Enciclopédia p. 490, é um polímero da glicose con- tendo duas estrutura molecular: a amilopectina e a amilose. As moléculas de amilopecti- nas são ramificadas, geralmente, longas amorfas, e, facilmente, solúvel. Enquanto que, o grupamento de amilose é de cadeia reta e não é facilmente solubilizado. A grande

maioria do amido usado para adesivo é derivado de cereais, tapioca ou batata. Ele tem, predominantemente, estrutura amilopectina gelatinosas necessárias para melhor uso do adesivo.

Segundo a mesma Enciclopédia o amido não modificado pode ser dispersado em água, e cozinhado porém a viscosidade torna-se excessiva, exigindo uma baixa concentração de amido, acarretando uma certa debilidade, na aglutinação.

Os conceitos supramencionados servem para qualificar o adesivo e como pano de fundo para se melhor analisar a aglutinação do aderente ao adesivo usados, na fabricação do briquete. Quimicamente, não houve uma ligação entre o carvão e o amido, mas uma interação entre o carvão (aderente) e adesivo (amido) levado a efeito por força eletrostática tipo de Van Der Waals, ponte de Hidrogênio e atração de polo. A própria Enciclopédia of Polymer pg. 448 já define mucilagem como o adesivo preparado com goma e água e afirma que no sentido amplo é o adesivo que detém menor resistência de ligação. Isto é corroborado quando se compara os resultados dos testes de friabilidade, onde o briquete foi pelo menos mais friável do que o carvão.

Analisando os demais resultados do briquete e do carvão "vis-à-vis" os resultados da análise do adesivo pode-se fazer as inferências seguintes.

No que diz respeito ao teor de carbono fixo, verifica-se que houve uma queda de 4,5% do carvão para o briquete. A explicação causal seria devido ao próprio fenômeno de adesão. Uma vez que, com as interações, havida entre a amilose e a amilopectina com os átomos de carbono do carvão e com os átomos de Fenóis e Cresóis, remanescentes do alcatrão, incrustado no carvão, teriam modificado a estrutura cristalina original do carvão, resultando uma rede cristalina própria do briquete. Nesta nova estrutura, as ligações carbono-carbono seriam em menor número, ocasionando, em consequência, um menor teor de carbono fixo, no briquete.

O teor de cinza foi maior no briquete do que, no carvão. Isto ficou por conta, também, do adesivo, porque além do teor de cinza do carvão adicionou-se o teor de cinza do adesivo mais uma quantidade concernente a materiais estranhos.

A superioridade do teor de voláteis do briquete, sobre o carvão mostrado, no resultado é concernente, porque a nível da temperatura em que é realizado o ensaio para a determinação do teor de voláteis, os componentes do adesivo se queimam e os compostos despreendidos da combustão são adicionados aos teores remanescentes dos voláteis do carvão.

Antunes, *ibidem*, mostra que o valor calorífico do carvão é superior ao do briquete. O resultado da pesquisa seguiu este diapasão. A razão é a maior quantidade de átomo de carbono no carvão do que no briquete.

O carvão vegetal é mais poroso do que o briquete. Possibilitando, portanto, uma retenção maior do teor de umidade. Isto foi verificado, nos resultados obtidos.

No que diz respeito as densidades, a aparente do briquete não foi considerada, porque devido a solubilidade rápida da amilopectina e mais lenta da amilose, considerando ainda que na tapioca há uma predominância maior da amilopectina, fizeram com que os corpos de provas do briquete se esfarelasse. Entretanto, pela própria presença do adesivo a densidade verdadeira do briquete foi superior a do carvão.

O briquete foi mais friável do que o carvão, em razão da própria natureza do adesivo, que só proporciona ligação mecânica, como já foi mencionado. Este tipo de ligação é muito fraca, quando comparando com as ligações químicas. Não é por outras razões, que muitas vezes o amido é tratado mais como um aglutinante, do que um adesivo, propriamente dito.

Além da utilização doméstica para assar churrasco, o briquete, segundo Antunes, *ibidem* apresenta vantagens interessantes com combustível em gasogênio portátil. O autor analisa estas vantagens a partir dos seguintes parâmetros: 1º - A densidade de carga. Segundo ele a densidade de carga do combustível briquetado varia de 450 kg/m<sup>3</sup> à 800 kg/m<sup>3</sup>, contra 200 kg/m<sup>3</sup> à 280 kg/m<sup>3</sup> do carvão. Desta maneira, segundo o autor, a autonomia do veículo pode ser aumentada, em torno de três vezes, ou o reservatório de carvão poderia ser reduzido, na mesma proporção, mantendo-se a ação anterior, 2º) - Antunes, *ibidem*, considera que a uniformidade, traz sensível melhora, na regularidade da potência motora evitando a formação de "gaiolas", que provocam vazios, na zona de gazeificação, chegando a paralisar a produção do gás. 3º) - Higroscopia - o autor cita, que a absorção da umidade atmosférica é muito reduzida. Considera este fator de grande importância, nos períodos chuvosos. 4º) - Resistência mecânica - afirma Antunes, *ibidem*, que devido uma maior resistência mecânica, proporciona em consequência, uma menor formação de finos, no manuseio, estocagem e na distribuição do combustível. Esta afirmação para o briquete tendo como adesivo a tapioca é pelo menos questionável, porque o resultado da pesquisa, no teste de tamboramento, mostra ser o briquete mais friável do que o carvão.

No Quadro VII, Antunes, *ibidem*, relata as características de diferentes combustíveis sólidos para gasogênios automotivos. Por ele observa-se que o briquete de carvão vegetal aglutinado com a tapioca apresenta uma performance relevante, quando comparado com demais energéticos mencionados. Assim, o briquete de amido é superior a lenha, ao tipo de lenha, em todas as características tabuladas. E, também, maior do que o carvão vegetal, na densidade de ocupação do tanque de combustível. No entanto, é inferior ao carvão vegetal nas outras características. Em relação ao briquete aglutinado com alcatrão da madeira o briquete de amido apresenta características semelhantes a este, com pequenas variações para mais ou para menos entre os dois. No que diz respeito ao Antracito o briquete de carvão vegetal tendo como adesivo o amido tem potência superior.

Estas características associadas a outros parâmetros já analisados indicam as possibilidades do briquete de carvão vegetal, tendo como aglutinante a tapioca de constituir-se um produto florestal alternativo a mais, para regiões detentoras de florestas e de condições propícias para o desenvolvimento da cultura da mandioca, como no caso específico da Amazônia Brasileira.

**Quadro VII.** Características de diferentes combustíveis para gasogênios automotivos.

MOTOR 40 CV À GASOLINA - TAXA DE COMPRESSÃO 10/1				
Tipo de Combustível	Densidade kg/l	Poder calorífico superior kcal/kg	Umidade (%)	Potência Média CV
Lenha	0,350	4.100	20	28
"Tiço de lenha"	0,240	5.700	7	31
Carvão vegetal	0,200	7.300	7	30,8
Antracito	0,600	7.500	5	28,5
Briquete Cv + Alcatrão	0,500	7.100	5	30
Briquete Cv + Amido	0,600	7.000	5	32

Fonte: Antunes, 1982.

## CONCLUSÃO

A discussão dos resultados permitem estabelecer as seguintes conclusões:

- O rendimento médio da mata do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus é um pouco inferior ao rendimento médio estabelecido para a floresta Amazônica como um todo.

- As madeiras da floresta da Terra Firme I são representadas por cinco famílias, cujas madeiras, com exceções, são constituídos por indivíduos, que apresentam densidades elevadas e bastante sílica.

- A umidade do carvão vegetal pesquisado esteve abaixo do limite inferior mencionado pela F.A.O., mostrando, também uma certa equivalência, com os resultados, mencionados, na literatura, das umidades dos carvões fabricados, na região sudeste do Brasil, em equipamento similares.

- O resultado do teor de voláteis do carvão pesquisado foi o dobro do valor médio citado, em pesquisa anterior, para carvões de mata nativa da zona metalúrgica de Minas Gerais e próximo do teor de voláteis de carvão oriundo de *Eucalyptus* spp. com 10 anos de idade. O resultado mostrou, também, que o teor de voláteis seguiu os padrões de variação estabelecidos por especialistas em pesquisas anteriores.

- O resultado do carvão, no que concerne ao teor de carbono fixo, evidencia que o carvão pesquisado é factível de ser utilizado em siderurgia. Confirma que a carbonização foi mais lenta do que rápida e que a temperatura da carbonização não foi baixa.

- O teor de carbono fixo obtido mostra que há compatibilidade com o teor de carbono fixo de carvões de mata nativa e de espécies de reflorestamento fabricado, na região sudeste do Brasil.

- O poder calorífico do carvão mostrou equivalência com os valores mencionados por autores na literatura especializada.

- Os resultados das densidades asseguram ser o carvão pesquisado mais densos do que os fabricados com madeiras do cerrado brasileiro e essências de reflorestamento. O valor da densidade aparente do carvão confirmam ser este oriundo de madeiras duras.

- O teste de tamboramento revelou ser o carvão fabricado com as madeiras do Distrito Agropecuário da Zona Franca de Manaus, mais resistente a abrasão e a queda, tendo portanto a possibilidade de gerar menos finos do que os carvões, normalmente usados nas siderúrgicas do sudeste do Brasil.

- Foi possível fabricar briquete utilizando a metodologia específica na literatura especializada.

- As forças de ligação entre o carvão pulverizado e a tapioca, provavelmente, foram forças eletrostática, fazendo com que o briquete fosse mais friável do que o carvão.

- O estudo comparativo entre as propriedades do carvão e do briquete revelou: ter o briquete um menor teor de carbono fixo, maior teor de cinzas, maior percentagem de voláteis, menor poder calorífico e maior densidade verdadeira do que o carvão.

- As características do briquete aglutinado com amido, mencionado na literatura, como combustível para gasogênio automotivo, associadas as propriedades que o caracterizam como um bom combustível doméstico, permite afirmar ser mais um produto florestal alternativo para regiões detentoras de florestas e de condições ecológicas propícias ao desenvolvimento da cultura da mandioca, como o plantea a Amazônia Brasileira.

#### **SUMMARY**

*This paper is about the quality of the charcoal made of woods from the "Distrito Agropecuário of Suframa", as well as the briquete manufactured from this charcoal, which has tapioca as an adhesive.*

*Shown, in the first place. Are the difficulties for the mechanical conversion from high land woods found near Manaus, as well as the impossibility of chemical conversion the production of pulp and furfural.*

*The characteristics of the woods found in the Distrito Agropecuário show that it is the best suited for making charcoal.*

*Mentioned is the process for making charcoal it. Quality is characterized by considering the properties: Moisture content, ash, volatile matter, fixed carbon, bulk density, bulk density pulverised, gross calorific value, friability and porosity.*

*The fabrication process of briquettes is described by making considerations on the characteristics of the adhesive.*

*Compared is the quality of the charcoal against the quality of the briquettes.*

*The existing informations in the literature on the use of the briquette as a automotive producer gas are discussed.*

*Various conclusions are inferred among which that charcoal and briquette could be alternative forest products for regions possessing forests and propitious ecological conditions towards the development of the cultivation of manioc such as the Brazilian Amazon.*

## Referências bibliográficas

- Antunes, R. da C. - 1982. Briquetagem de carvão vegetal. In: **Produção e Utilização de carvão vegetal**. Fundação Centro Tecnológico Minas Gerais - CETEC. pp. 197 - 206.
- Amorim, T. & Neto, A. S. - 1978. **Produção de carvão vegetal e sua utilização em altos fornos do Brasil**. Congresso "ILAFA" - Altos Fornos - Instituto Latin - Americano del Fierro. O. P. Cit. - FAO. In simple technologies for charcoal making. FAO. Forestry paper, 41 - p. 105.
- Araújo, L. B. de - 1952. **Carvão vegetal para altos fornos, alguns dados nacionais e estrangeiros**. Ministério da Agricultura. Departamento Nacional de Produção Mineral. Laboratório de Produção Mineral. Boletim, 36 - p. 48.
- Briane, D. & Doat, J. - 1985. **Guide technique de la carbonisation. La fabrication du carbon de bois**. Agence Française pour la maîtrise de L'energie. Association bois de Feu. Centre Technique Forestier Tropical. Édisup. pg. 32.
- Earl, D. E. - 1975. **Informe sobre el carbon vegetal**. F.A.O. - p. 5.
- Encyclopedia of polymer science and technology - 1964. v. 1, pp. 445, 490, 491. Copyright by John Willy & Sons. Inc. Library of congress. Catalog card number 64-22 188.
- F.A.O. - 1983. **Simple technologies for charcoal making**. F.A.O. Forestry paper, 41. p. 101.
- Filho, A. de M.; Ribeiro, M. de G.; Fattori, A. P.; Fisch, G. F.; Januário, M. - 1985. Evaporação potencial de florestas. In: **Anais do VI Simpósio Brasileiro de Hidrologia e Recursos Hídricos** - v. 6. p. 301.
- Gomes, P. A.; Oliveira, J. B. de; Mendes, M. G.; Pinheiro, W.; Falconi, W. B. - 1982. Desenvolvimento de Fornos de Alvenaria não convencionais. In: **Carvão Vegetal. Destilação. Carvoejamento. Propriedades. Controle de Qualidade**. Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais/CETEC. Publicações Técnicas. p. 146.
- PROFLAMA, PROJETOS FLORESTAIS DA AMAZÔNIA - 1972. **Inventário Florestal do Distrito Agrário da Zona Franca de Manaus**. p. 111 - 132.

(Aceito para publicação em 28.03.1988)