



Scientific Electronic Archives (6): 7-17, 2014.

## Avaliação da Carbonização do Ouriço da Castanha-do-Brasil em Forno Tipo Tambor

## Evaluation of Carbonization of the Hedgehog of Brazil Nut in Oven Type Metal Drums

R. M. Nogueira<sup>1+</sup>, S. Ruffato<sup>1</sup>, J. S. Carneiro<sup>1</sup>, E. M. Pires<sup>1</sup>, V. S. Álvares<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Federal de Mato Grosso, Campus Sinop, Mato Grosso, Brasil.

<sup>2</sup> EMBRAPA - Acre, Brasil.

+ Author for correspondence: [roberta\\_nogueira@ufmt.br](mailto:roberta_nogueira@ufmt.br)

### Resumo

O objetivo desse trabalho foi avaliar a produção de carvão a partir do ouriço da castanha-do-Brasil utilizando-se tambores metálicos como reator, adaptáveis à característica de mobilidade, típica desta exploração. O tempo médio de carbonização foi relativamente curto, 4:45 horas, o que gerou um rendimento em carvão de 19,11%. O teor de material com carbonização incompleta foi de 35,77%. Sua densidade básica foi de 0,631 g.cm<sup>-3</sup>, já a densidade a granel foi de 0,231g.cm<sup>-3</sup>. O teor de umidade médio do carvão produzido foi de 4,71%. Materiais voláteis, totalizaram 20,79% da massa total. O teor de cinzas foi de 0,87% e, o carbono fixo foi de 78,33%. O poder calorífico do ouriço pirolisado fo de 7.252,98 kCal.kg<sup>-1</sup>. Dessa forma, pode-se concluir que o método do tambor é adaptado à produção de carvão a partir do ouriço da castanha-do-Brasil, porém, melhorias no isolamento térmico do reator podem ser propostas para trabalhos futuros; o rendimento gravimétrico em carvão foi baixo, quando comparado ao rendimento por outros métodos de carbonização, provavelmente, em virtude da falta de isolamento térmico; o tempo de carbonização no reator foi consideravelmente menor que os obtidos para a carbonização em mufla de laboratório de produtos similares; o carvão produzido pelo método do tambor obteve características químicas, físicas e térmicas comparáveis ao carvão de outras espécies madeireiras e não-madeireiras.

**Palavras-chaves:** Ouriço; Castanha-do-Brasil; Carvão.

### Abstract

This work aimed to evaluate the production of charcoal from the hedgehog of the Brazil nut using metal drums as a reactor, considering the adaptive feature for mobility, typical of this exploitation. The average time of carbonization was relatively short, 4:45 hours, which generated a yield of charcoal of 19.11%. The content of material with incomplete carbonization was of 35.77%. His basic density was 0.631g.cm<sup>-3</sup>, since the bulk density was 0.231 g.cm<sup>-3</sup>. The average moisture content of the charcoal produced was 4.71%. Volatile materials, amounted to 20.79% of the total mass. The ash content was 0.87% and the fixed carbon was 78.33%. The calorific value was 7252.98 kCal.kg<sup>-1</sup>. Thus, it can be conclude that the method of the drum is adapted to charcoal producing from the hedgehog of the Brazil nut, however, improvements in thermal insulation of the reactor can be proposed for future work; gravimetric yield in charcoal was low when its performance is compared to other methods of carbonization, probably by the lack of thermal insulation; carbonization time in the reactor was considerably lower than those obtained for the carbonization in muffle for similar products.

**Keywords:** Hedgehog; Brazil Nuts; Charcoal

## Introdução

O extrativismo é a base da economia dos povos que vivem na floresta Amazônica, sendo a coleta de castanha-do-Brasil uma das atividades de maior importância econômica na região.

Este modelo econômico é sazonal, sendo a renda obtida somente durante o período de safra. Durante a entressafra a renda das famílias que dependem desta atividade é bastante reduzida, sendo então necessária uma atividade alternativa que remunere o trabalhador.

Uma alternativa para aumentar a renda para o período de entressafra da castanha é a agregação de valor aos subprodutos gerados, como o ouriço (fruto da castanha), por exemplo.

Durante a coleta da castanha, o ouriço é deixado na mata em virtude de não possuir valor agregado e ser uma grande carga a ser levada para a residência do coletor. Oliveira & Lobo (2009) citam que o fruto da castanha-do-Brasil tem, em média, 2,4 kg, e que, aproximadamente, 1/3 de seu peso é constituído pelas sementes. Logo, para cada fruto coletado, tem-se, em média, 1,6 kg de resíduo, ou ainda, para cada 1 kg de castanha coletada, tem-se a geração de 2 kg de ouriço, que pode ser aproveitado.

Segundo dados do IBGE (IBGE, 2010) a produção de castanhas no ano de 2009 foi de 37.467 toneladas, sendo o estado do Amazonas responsável por 42,74% da produção, seguido pelo estado do Acre, com 27,53% da produção nacional. Atrás vem o estado do Pará (18,72%), Rondônia (5,62%), Mato Grosso (4,07%), Amapá (1,04%) e Roraima (0,28%).

Com base nesses dados, foram deixadas na mata 74.934 toneladas de ouriço, que poderiam servir como fonte de renda à população envolvida com a coleta e beneficiamento da castanha. Oliveira & Lobo (2009) estudaram o potencial para o uso energético do ouriço da castanha-do-Brasil e obtiveram um valor de Poder Calorífico Superior de 19.769 KJ.kg<sup>-1</sup>. Quirino *et.al.* (2004) estudaram o poder calorífico superior de 258 espécies

de madeiras e de 18 tipos de resíduos lignocelulósicos e citam valor médio de poder calorífico superior de 19.721 kJ.kg<sup>-1</sup> para as espécies florestais e de 18.941 kJ.kg<sup>-1</sup> para os resíduos lignocelulósicos. Assim, verifica-se o potencial do ouriço para o uso como fonte de energia.

Atualmente, o ouriço da castanha já vem sendo utilizado pelas comunidades tradicionais como fonte de calor a partir da combustão, principalmente para a cocção. Porém, o uso ainda está muito aquém do seu potencial, sendo o volume aproveitado, irrisório perante o total produzido.

Um processo com potencial para agregar valor ao ouriço da castanha-do-Brasil é a carbonização ou pirólise, que é um processo físico-químico no qual a biomassa é aquecida a temperaturas relativamente baixas (500-800 °C) em atmosfera não oxidante, dando lugar à formação de um resíduo sólido rico em carbono (carvão) e uma fração volátil composta de gases e vapores orgânicos condensáveis (líquido pirolenhoso). As proporções destes compostos dependem do método de pirólise empregado, dos parâmetros do processo e das características do material a ser tratado (BEENACKERS & BRIDGEWATER, 1989).

Moura & Nascimento (2007) estudaram a produção de carvão a partir do ouriço da castanha-do-Brasil e citam que este é um insumo energético viável, além de possuir potencial econômico atrativo, podendo ser transformado em um fator de inclusão social, desenvolvimento regional e de fixação do homem no campo.

O carvão produzido a partir do ouriço da castanha possui elevada massa específica quando comparada com madeiras tradicionalmente usadas para fins energéticos, com resultado de 838,4 kg.m<sup>-3</sup>, enquanto a massa específica do Eucalipto grandis, do Eucalipto saligna e da Acácia Mangiun foram de 391 kg.m<sup>-3</sup>; 476 kg.m<sup>-3</sup>; 596,1 kg.m<sup>-3</sup>, respectivamente. Com relação a densidade energética, o resíduo do fruto da castanha, apresentou

valor de 15.169 MJ.m<sup>-3</sup>, enquanto os outros exemplares apresentaram valores menores: Eucalipto grandis – 7.848 MJ.m<sup>-3</sup>; Eucalipto saligna – 9.751 MJ.m<sup>-3</sup> e Acácia mangiun – 12.019 MJ.m<sup>-3</sup> (MOURA & NASCIMENTO, 2007).

Como a pirólise é uma reação que acontece somente sob uma atmosfera aquecida e reduzida, são necessários equipamentos especiais chamados reatores ou fornos de carbonização para garantir as condições ideais do processo, que são assim descritos por López & Silva (1998).

Os fornos metálicos, de diferentes formas e tamanhos, têm a vantagem de serem móveis, podendo sempre estar instalados próximos às áreas de corte de lenha. Tem a desvantagem de perder muito calor pelas paredes, dando baixos rendimentos, quando comparados aos fornos de alvenaria. Já está sendo empregado com sucesso na região norte de Minas Gerais para a carbonização de coco de babaçu. Este tipo de forno é muito aconselhado para carbonização de resíduos de madeira, quer provenientes da exploração, quer provenientes da indústria, como serrarias e carpintarias.

Para o caso específico da carbonização de resíduos, como o ouriço da castanha-do-Brasil, Quirino (2002) cita que fornos simples e populares, construídos com tambores de aço, são largamente utilizados no pacífico sul para a produção de carvão vegetal de cascas de coco. Além do baixo custo, estes equipamentos permitem a produção de carvão no próprio local, sem a necessidade de transporte dos resíduos.

Alguns programas de sucesso estão em andamento no Brasil, para a produção de carvão a partir de resíduos não-madeireiros, como o caso do carvão do coco do babaçu produzido na região de Januária-MG, idealizado pelo IEF-Regional do Alto e Médio São Francisco. Tal projeto inspirou a realização deste trabalho, apresentando um elevado grau de adaptabilidade a outras matérias-primas.

Vale ressaltar que, durante a carbonização são formados, além do carvão, outros compostos (líquidos e

gasosos), que podem ter interesse industrial.

Dessa forma, a produção de carvão a partir do ouriço pode ser uma alternativa que atende às questões sociais envolvidas com os povos que dependem da coleta da castanha, bem como às questões ambientais que relativas à produção e consumo do carvão vegetal.

Atualmente, grande parte do carvão vegetal consumido no país, quer seja na indústria, comércio ou residências vem de áreas de desmatamento ilegal. Este fato toma suas devidas proporções quando observa-se que o total de multas aplicadas pelo IBAMA, até o ano de 2008, atingiu R\$ 8.012.018,60 referentes ao: transporte irregular de carvão, depósito ilegal de carvão, fornos irregulares, empresas funcionando sem Cadastro Técnico Federal (CTF), desmatamento de floresta nativa, corte raso de floresta e por terem em depósito 10.368 metros cúbicos de Castanheira (espécie protegida por Lei) (SILVA, 2008).

Assim, a utilização de resíduos para a produção de carvão pode reduzir, de sobremaneira, a pressão sobre as florestas para este fim.

Com base no que foi apresentado, neste trabalho teve como objetivo a adaptação do método do tambor para a carbonização dos ouriços da castanha-do-Brasil. Como objetivos específicos têm-se:

- Avaliar a adaptabilidade do método do tambor para a produção de carvão a partir do ouriço da castanha-do-Brasil;
- Analisar a qualidade do carvão produzido;
- Avaliar seu potencial quanto ao uso energético após carbonizado;

## Métodos

O ouriço utilizado neste trabalho foi obtido de áreas de produção de castanha no município de Sinop-MT, durante a safra 2010/2011. Foram realizados três testes de carbonização no laboratório de Energia e Pós-Colheita da Universidade Federal de Mato Grosso.

### Reator

Para a execução da carbonização foram utilizados tambores cilíndricos metálicos com volume de 0,2 m<sup>3</sup>, provenientes do reuso de recipiente de óleo lubrificante.

De forma a garantir a carbonização, as tampas foram removidas de ambas as extremidades, sendo uma removida totalmente e a outra parcialmente, de forma a garantir a permanência de uma borda de apoio, conforme mostra a figura 1 a e b.



**Figura 1** – Detalhe do reator para carbonização: (a) Detalhe superior, e; (b) detalhe do fundo do tambor.

Para o uso do tambor como reator, é necessário o controle do ar, assim, a peça retirada do fundo foi utilizada como tampa e apoiada na parte superior do reator, para garantir a vedação do sistema.

### Carbonização

A carbonização foi iniciada pela pesagem e abastecimento do reator com uma massa de ouriço da castanha de modo que a altura atingida pela massa correspondesse a, aproximadamente 80% da altura total do reator, conforme mostra a figura 2.

Para a realização do processo de carbonização é necessário o controle da entrada do comburente dentro do reator. Assim, no processo desenvolvido neste trabalho, o oxigênio presente no ar atmosférico (comburente) entrou no reator por aberturas na base do tambor, feitas cavando-se duas canaletas, em forma de cruz, com altura média de 10 cm, no solo imediatamente abaixo do tambor (Figura 3).

Tais entradas de ar também foram utilizadas para iniciar o processo de carbonização. O início da carbonização foi realizado com o auxílio de um maçarico conectado a um botijão de gás doméstico (13 kg) pela base do reator, de forma que os ouriços localizados na base do tambor sofressem combustão para fornecer calor suficiente para o processo de pirólise.

Transcorrido o tempo de carbonização determinado pela movimentação da frente de calor até a altura média da massa de ouriços, foi efetuada a vedação das entradas de ar na base do reator, de modo a garantir o ambiente reduzido necessário à carbonização.

A vedação total do reator foi realizada instalando-se a tampa metálica (Figura 4) e vedando-se a parte superior com uma massa formada por terra e água, de modo a reduzir a perda de calor e a entrada de oxigênio.

O momento da vedação do reator foi determinado pela presença de chamas na parte superior, de modo a garantir a

temperatura suficiente à carbonização ao longo de todo o reator.

Após a vedação do reator, ocorreu a pirólise, propriamente dita, e o resfriamento da massa carbonizada. Como

o reator não possui nenhum tipo de isolamento térmico, o resfriamento se deu por convecção natural pelo ar na superfície lateral do forno.



**Figura 2** – Pesagem e abastecimento do reator.



**Figura 3** – Detalhe das aberturas para entrada do comburente.



(a)



(b)

**Figura 4** – Vedação do reator com a tampa metálica (a) e com terra (b).

Finalizado o processo de pirólise e resfriamento, procedeu-se a abertura do

reator e a retirada da massa carbonizada, cuja amostra foi retirada para análise

química imediata e caracterização energética do carvão produzido.

### **Rendimento Gravimétrico**

A avaliação do rendimento gravimétrico foi realizada pesando-se a massa de ouriço no início da carbonização bem como a massa carbonizada no final do processo.

A partir da massa carbonizada foi separada a fração correspondente ao ouriço com carbonização incompleta (tiço), de modo que a fração sólida foi dividida entre carbonizada e não carbonizada.

Neste trabalho, não foram coletados os gases oriundos da carbonização, em virtude desse processo não ser adaptado à realidade de produção de carvão na mata. A análise da fração perdida na forma de gás foi obtida aplicando-se a equação 1.

#### **Eq. 1**

$$\%gases = 100 - (\% carvão + \% incompleto)$$

Em que,

$\%gases$  = Fração correspondente aos gases gerados na carbonização, %;

$\% carvão$  = Fração correspondente ao carvão gerado, %;

$\% incompleto$  = Fração correspondente ao material com carbonização incompleta, %.

### **Densidade Relativa Aparente e a Granel**

A densidade a granel foi obtida pesando-se a massa de carvão contida em um volume conhecido, conforme metodologia utilizada por Silva *et.al.* (2007). Como volume de referência utilizou-se um Becker com volume total de 3 litros.

Já a densidade relativa aparente foi determinada utilizando-se a metodologia da estereometria por imersão, que utiliza o princípio de Arquimedes.

Nesta metodologia, a amostra foi pesada diretamente em balança semi-analítica e, posteriormente, seu volume determinado pela variação de peso do líquido, em virtude da imersão da amostra de carvão em mercúrio metálico,

conforme descrito por Vital (1984) e ASTM D-2395 (1999).

### **Análise Química Imediata**

O material carbonizado obtido nos testes foi enviado ao laboratório de Painéis e Energia da Madeira (LAPEM) do Departamento de Engenharia Florestal, da Universidade Federal de Viçosa para análise do teor de umidade, teor de materiais voláteis, teor de cinzas e de carbono fixo, conforme a norma ABNT NBR 8112 (ABNT, 1986).

O material utilizado para a análise foi moído em moinho de facas e a fração utilizada para análise foi aquela com partículas recolhidas pelo material que passou pela peneira de 40 mesh e que ficou retida na peneira de 20 mesh.

A umidade foi determinada levando-se uma massa conhecida de carvão à estufa previamente aquecida a  $103 \pm 2^\circ\text{C}$  por 2 horas.

O teor de voláteis foi determinado levando-se a amostra preparada à mufla a  $950 \pm 10^\circ\text{C}$  por 11 minutos. A diferença de massa obtida pela pesagem do material antes e após o procedimento representa a fração de voláteis do material carbonizado.

Já para a análise do teor de cinzas, leva-se a amostra à mufla a  $600 \pm 10^\circ\text{C}$  por um período de 6 horas, até sua calcinação completa. A relação entre a massa do resíduo da calcinação pela massa inicial da amostra seca representa o teor de cinzas.

Finalmente, o teor de carbono fixo é determinado pela aplicação da equação 2.

#### **Eq. 2**

$$CF = 100 - (\% Voláteis - \% Cinzas)$$

Em que,

$CF$  = teor de carbono fixo, %;

$\% Voláteis$  = Teor de materiais voláteis, %;

$\% Cinzas$  = Teor de cinzas, %;

### Poder Calorífico Superior

Para a determinação do poder calorífico superior do carvão as amostras foram enviadas ao LAPEM-UFV.

O poder calorífico superior foi determinado de acordo com a metodologia descrita pela NBR 8633 (ABNT, 1984), utilizando-se uma bomba calorimétrica.

De modo a permitir uma análise da efetividade do processo de carbonização foi analisado, também, o poder calorífico superior do ouriço utilizado como matéria-prima para a carbonização.

### Análises Estatísticas

Devido ao fato de não haver tratamentos a serem avaliados, neste trabalho foram aplicados apenas os conceitos da estatística descritiva.

### Resultados e discussões

Na tabela 1 pode-se observar a análise de rendimento gravimétrico da carbonização.

Com base nos dados apresentados na tabela 1 pode-se observar que o teste 3 produziu a maior massa de carvão e, conseqüentemente, menor massa de material com carbonização incompleta. Vale ressaltar que este teste foi realizado com a base elevada, garantindo maior admissão de ar comburente no reator.

Na figura 5 pode-se observar o comparativo do rendimento gravimétrico para os três testes.

Com base na figura 5 percebe-se que o teste 3 foi o que garantiu o melhor rendimento gravimétrico em carvão.

A média de rendimento em carvão foi de  $19,11\% \pm 5,97\%$ ; de massa com carbonização incompleta foi de  $35,77\% \pm 9,70\%$ , e; da fração gasosa foi de  $45,12\% \pm 4,07\%$ .

Vilas Boas *et.al.* (2010) estudando a carbonização de endocarpo de macaúba, em mufla com temperaturas variando de  $450^{\circ}\text{C}$  a  $650^{\circ}\text{C}$ , encontrou rendimento gravimétrico médio do carvão de  $35,13\%$ . Silva *et.al.* (1986) comparam o rendimento gravimétrico do carvão de madeira de eucalipto, do endocarpo de babaçu e de macaúba, obtido a partir da carbonização em mufla, com temperaturas variando de  $300^{\circ}\text{C}$  a  $700^{\circ}\text{C}$ . Neste trabalho os autores encontraram valores de  $31,97\%$ ,  $33,49\%$  e  $39,37\%$  para o eucalipto, o babaçu e a macaúba, respectivamente. Assim, observa-se que os valores de rendimento gravimétrico encontrados neste trabalho estão abaixo dos encontrados para outros resíduos não-madeireiros. Vale destacar, porém, que neste trabalho não foi utilizada a mufla para a carbonização, sendo a análise do processo feita em condições reais de operação do sistema. Assim, não foi possível controlar as condições da carbonização, sendo os dados obtidos os que estão previstos na aplicação prática do método.

**Tabela 1** – Massa inicial, de carvão e com carbonização incompleta obtidas nos testes 1, 2 e 3.

Teste	Massa inicial (kg)	Massa de carvão (kg)	Massa de carbonização incompleta (kg)
1	51,10	7,55	22,75
2	50,20	8,35	18,80
3	43,40	11,25	11,00

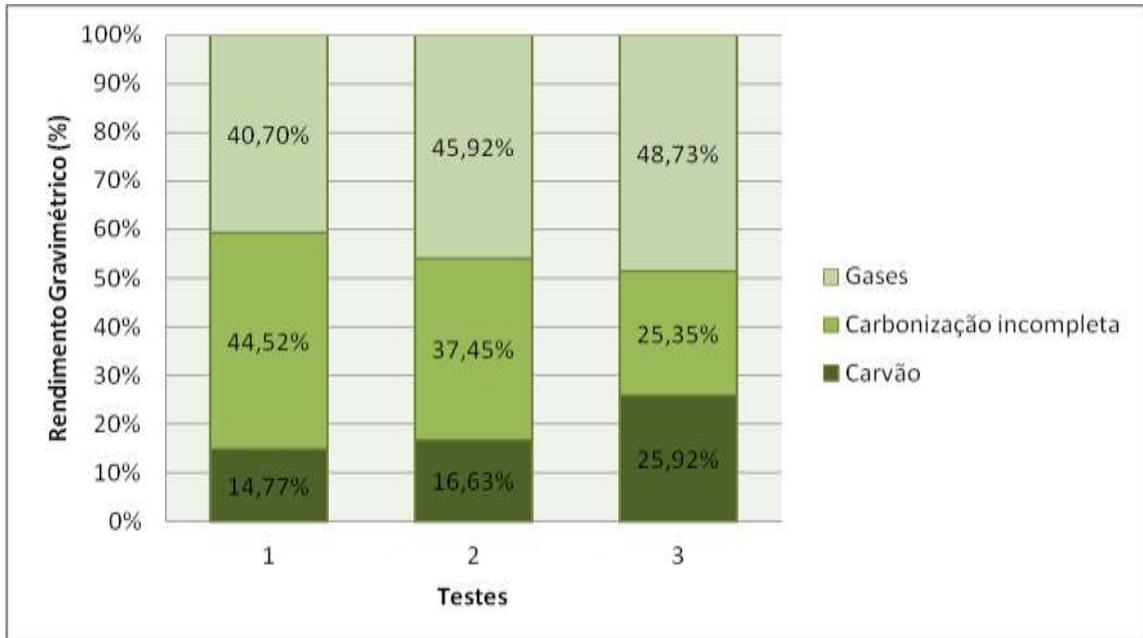
De forma a permitir um comparativo entre a matéria-prima e o produto final, na figura 6 (a) o carvão produzido a partir da carbonização deste ouriço. A figura 6 (b) mostra o aspecto do ouriço submetido à carbonização incompleta.

Com base nas figuras acima, destaca-se que, em virtude do ouriço não ser uma

estrutura maciça, o carvão produzido possui uma parede fina, quando comparado ao carvão de madeira, facilitando assim a quebra e a geração de um grande volume de materiais com pequenas dimensões.

Ressalta-se ainda que, o material considerado como carbonizado

incompletamente pode retornar ao reator, na parte superior, de forma a ser utilizado como fonte de calor ao processo de pirólise.



**Figura 5** – Comparativo do rendimento gravimétrico entre os testes.

Na tabela 2 estão apresentados os tempos decorridos durante a carbonização, nos testes executados.

Com base nos dados obtidos na tabela 2 é possível observar que o tempo de carbonização foi pequeno quando comparado ao tempo decorrido para a carbonização de endocarpo de Macaúba, que segundo Vilas Boas *et.al.*

(2010), para a carbonização em mufla, variou de 8 a 10 horas.

Ressalta-se que o fator tempo foi decisivo para o elevado teor de material não carbonizado na massa de ouriços, pois não houve tempo suficiente para a carbonização completa da massa antes do resfriamento do reator.



(a)



(b)

**Figura 6** – Carvão produzido a partir do ouriço (a); Ouriço com carbonização incompleta (b).

Assim, percebe-se que o fato do reator utilizado não possuir nenhum isolamento térmico fez com que o resfriamento fosse iniciado antes da completa carbonização.

Na tabela 3 estão demonstrados os valores de densidade básica e a granel do carvão obtido.

**Tabela 2** – Caracterização dos períodos de tempo transcorridos durante os testes de carbonização

Teste	Tempo de Ignição (h)	Tempo de Pirólise + Resfriamento (h)	Tempo Total (h)
1	0:40	3:45	4:25
2	0:45	4:00	4:45
3	0:40	4:55	5:35

Com base nestes resultados percebe-se que o carvão produzido pode ser considerado de média densidade quando comparado ao carvão produzido a partir de madeira e a partir do endocarpo de frutos de palmeiras, como a macaúba e o babaçu. Silva, *et.al.* (1986) encontrou valores de densidade básica de 0,457 g.cm<sup>-3</sup>, 1,085 g.cm<sup>-3</sup> e 1,161 g.cm<sup>-3</sup> para o carvão de madeira de eucalipto,

do endocarpo do babaçu e do endocarpo da macaúba, respectivamente. Já Vilas Boas *et.al.* (2010) encontrou valores médios de densidade básica de 0,906 g.cm<sup>-3</sup> para o carvão do endocarpo de macaúba. Silva *et.al.* (2007) encontrou valores de densidade básica de 0,53 g.cm<sup>-3</sup>, 0,52 g.cm<sup>-3</sup> e 0,38 g.cm<sup>-3</sup> para o carvão de Maçaranduba, Sapucaia e Timborana, respectivamente.

**Tabela 3** – Densidade básica e a granel do carvão do ouriço da castanha

Amostra	Densidade Básica (g.cm <sup>-3</sup> )	Densidade a granel (g.cm <sup>-3</sup> )
1	0,637	0,233
2	0,630	0,240
3	0,625	0,220
Média	0,631	0,231

Com relação à densidade a granel, neste trabalho os valores encontrados foram próximos aos citados por Silva *et.al.* (2007) para a Maçaranduba, Sapucaia e Timborana, que foram 0,231 g.cm<sup>-3</sup>, 0,202 g.cm<sup>-3</sup> e 0,178 g.cm<sup>-3</sup>, respectivamente.

O resultado da análise química imediata pode ser encontrado na tabela 4.

Com base nos resultados apresentados na tabela acima, verifica-se que o carvão produzido a partir do ouriço da castanha-do-Brasil possui propriedades químicas bastante aproximadas de carvão de madeira, quando comparada com dados obtidos por Silva *et.al.* (2007). Este autor analisando a carbonização de três espécies madeireiras encontrou teor de cinzas variando de 0,8 a 1,5%; teor de materiais voláteis variando de 24,44 a 26,00 %; o carbono fixo variou de 72,66 a 74,49%.

**Tabela 4** – Análise química imediata do carvão do ouriço da castanha-do-Brasil

Parâmetro	Resultado
Teor de Umidade	4,71 ± 0,12 %
Teor de Materiais Voláteis	20,79 ± 0,20 %
Teor de Cinzas	0,87 ± 0,08 %
Teor de Carbono Fixo	78,33 ± 0,28 %

Comparando-se, porém, tais valores com os encontrados por Vilas Boas *et.al.* (2010) para a carbonização do endocarpo da macaúba verifica-se valores superiores de carbono fixo, da ordem de 84,73%. Já para materiais voláteis, os autores encontraram valores médios de 9,11% e para cinzas 6,14%.

Vale ressaltar que os dados citados por Silva *et.al.* (2007) foram obtidos em condições de campo, já Vilas Boas *et.al.*

(2010) analisou a carbonização em condições de laboratório. Assim, os dados obtidos neste trabalho estão próximos às condições reais de carbonização.

Na tabela 5 verifica-se um comparativo entre o poder calorífico superior (PCS) do ouriço não carbonizado (*in natura*) e do carvão produzido pelo método do tambor.

**Tabela 5** – Valores médios do Poder Calorífico Superior do ouriço *in natura* e da biomassa carbonizada

Produto	Poder Calorífico Superior (kcal.kg <sup>-1</sup> )
Ouriço <i>in natura</i>	4.793,02
Carvão	7.252,98

Comparando-se o PCS do ouriço obtido neste trabalho com o resultado encontrado por Oliveira & Lobo (2002) para o mesmo produto, 4.721,74 kcal.kg<sup>-1</sup>, verifica-se um valor pouco maior que o citado.

Já Vilas Boas *et.al.* (2010) encontrou valores médios de 4.996,18 kcal.kg<sup>-1</sup> para a macaúba *in natura* e 7.819,29 kcal.kg<sup>-1</sup> para a biomassa carbonizada. Ressalta-se que os valores encontrados para a macaúba são ligeiramente superiores aos observados para o ouriço da castanha-do-Brasil.

Quando se compara os valores de PCS com o carvão de espécies de madeira nativa como a Maçaranduba, a Sapucaia e a Timborana, verifica-se que os valores obtidos para o ouriço foram, em média, 11,33 % maior (SILVA *et.al.*, 2007).

## Conclusões

Com base nos resultados obtidos neste trabalho pode-se concluir o seguinte:

- O método do tambor é adaptado à produção de carvão a partir do ouriço da castanha-do-Brasil, porém, melhorias no isolamento térmico do reator podem ser propostas para trabalhos futuros;
- O rendimento gravimétrico em carvão foi baixo, quando comparado ao rendimento por outros métodos de carbonização, provavelmente, em virtude da falta de isolamento térmico;
- O tempo de carbonização no reator foi consideravelmente menor que os

obtidos para a carbonização em mufla de laboratório de produtos similares;

- O carvão produzido pelo método do tambor obteve características químicas, físicas e térmicas comparáveis ao carvão de outras espécies madeireiras e não-madeireiras.
- O método testado pode ser considerado bastante simples e adequado às condições de produção em regime extrativista, podendo ser levado para o local de produção.

## Referências

- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8112:1986 Carvão vegetal - Análise imediata**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 5p.
- ABNT - ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 8633:1984 Carvão vegetal - Determinação do poder calorífico**. Rio de Janeiro: ABNT, 1986. 13p.
- ASTM - AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS. **ASTM D-2395**. Philadelphia, PA. 1999.
- BEENACKERS, A.A.C.M., E A.V. BRIDGEWATER. Gasification and Pyrolysis of Biomass in Europe. **Pyrolysis and Gasification**, p. 129-155. 1989.
- CETEC - Fundação Centro Tecnológico de Minas Gerais. Produção e Utilização de Carvão Vegetal. **Séries Técnicas CETEC**, Belo Horizonte, 393 p. 1982.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA**. Produção da Extração Vegetal e da Silvicultura. 2010. Disponível em: [HTTP://www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br) . Acesso em 01 de Julho de 2011.
- LÓPEZ, J.C.F.; SILVA, E.H.. Teoria e **Equipamentos da Carbonização e Propriedades do Carvão Vegetal**. Viçosa: UFV, 1998.
- MOURA, P.R.G.; NASCIMENTO, C.C. Fruto da castanha-do-Brasil: potencialidade de uso como fonte de matéria-prima para a rede energética do estado do Amazonas. **Anais da 59ª Reunião da SBPC**. 2007.

OLIVEIRA, J.M.C.; LOBO, P.C. Avaliação do potencial energético de resíduos de biomassa amazônica. **Anais do 4º Encontro de Energia no Meio Rural**. 2002.

PINHEIRO, P.C.; SAMPAIO, R.S.; REZENDE, M.A.; BASTOS FILHO, J.G. **Fundamentos e Prática da Carbonização de Biomassa**. Belo Horizonte: ed. Autores, 2001.

QUIRINO, W.F. Utilização energética de resíduos vegetais. **Apostila do curso de Capacitação de Agentes Multiplicadores em Valorização da Madeira e dos Resíduos Vegetais**, MMA/IBAMA, 2002.

QUIRINO, W.F.; VALE, A.T.; ANDRADE, A.P.A.; ABREU, V.L.S.; AZEVEDO, A.C.S. Poder calorífico da madeira e de resíduos lignocelulósicos. **Biomassa & Energia**. V.1; n.2; 2004.

SILVA, A.M.B.. Retratos sem sombras: Um esboço sobre as neo-senzalas carvoeiras no novo Mundo do Trabalho. **Revista da RET**. Ano I. N. 2. 2008.

SILVA, J.C.; BARRICHELO, L.E.G.; BRITO, J.O.. Endocarpos de babaçu e de macaúba comparados a madeira de *Eucalyptus grandis* para a produção de carvão vegetal. **IPEF**, n.34, p.31-34. 1986.

SILVA, M.G.; NUMAZAWA, S.; ARAUJO, M.M.; NAGAISHI, T.Y.R.; GALVÃO, G.R.. Carvão de resíduos de indústria madeireira de três espécies florestais exploradas no município de Paragominas, PA. **Acta Amazônica**. V. 37(1). P. 61 – 70. 2007.

VILAS BOAS, M.A.; CARNEIRO, A.C.O.; VITAL, B.R.; CARVALHO, A.M.L.; MARTINS, M.A.. Efeito da temperatura de carbonização e dos resíduos de macaúba na produção de carvão vegetal. **Scientia Forestalis**. V.38, n.87, p. 481-490. 2010.

VITAL, B. R. Métodos de determinação de densidade da madeira. **SIF (Boletim técnico, 1)**. Viçosa, p. 21. 1984.