

CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA E DO CARVÃO VEGETAL DO COCO-DA-BAÍA (*Cocos nucifera* L.) PARA USO ENERGÉTICO¹

*Characterization of Biomass and Charcoal *Cocos nucifera* L. for Energetic Use*

Ailton Teixeira do Vale², Rodrigo Almeida Barroso³ e Waldir Ferreira Quirino⁴

Resumo: O consumo de água de coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) no Distrito Federal foi estimado em torno de 11 mil toneladas em 2000, sendo um importante gerador de resíduo urbano na forma de biomassa. O presente trabalho teve como objetivo a caracterização desta biomassa e do carvão vegetal oriundo dela, comparando-os com as características do coco maduro. As amostras foram coletadas no setor urbano de Brasília. As características analisadas foram: massa específica, poder calorífico e análise imediata (material volátil, cinzas e carbono fixo). A biomassa constituída de coco maduro apresenta melhores qualidades para uso energético, pois resulta em maior produção de calor por unidade de volume e menor teor de cinzas. A massa específica aparente do carvão vegetal de coco maduro é cinco vezes maior e tem maior poder calorífico, em consequência do maior teor de carbono fixo.

Palavras-chaves: Resíduo, biomassa, energia e coco-da-baía.

Abstract: The consumption of coconut water in Brasilia-DF, Brazil was estimated to be around eleven thousand ton. during the year of 2000. Coconut has been an important source of biomass residue. The objectives of this work were to characterize biomass and charcoal of green and ripe coconut. The characteristics analyzed were: specific density, heat combustion, volatile matter, ashes and fixed carbon. Results show that ripe coconut biomass is better than green coconut for energy production. Charcoal density, heat combustion and fixed carbon in the ripe coconut are greater than in the green coconut.

Key words: Residue, biomass, energy, and coconut.

1 INTRODUÇÃO

Uma das alternativas de utilização do lixo urbano está na geração de energia, sendo o coco-da-baía (*Cocos nucifera* L.) uma importante fonte, por ser um recurso renovável e nativo em certas regiões, podendo proporcionar a produção direta de energia, com a queima, ou indireta, transformando-o em carvão vegetal.

O coqueiro (*Cocos nucifera* L.) pertence à família Palmae, uma das mais importantes da classe Monocotyledoneae. Seu fruto é, botanicamente, uma drupa, formada por uma epiderme lisa ou epicarpo, que envolve o mesocarpo espesso e fibroso. No interior do fruto há uma camada fina, muito dura, marrom, denominada endocarpo. Abaixo do endocarpo, recobrimdo o albúmem sólido (castanha), encontra-se uma membrana de

¹ Recebido para publicação em 24.9.2004 e aceito em 16.12.2004.

² Departamento de Engenharia Florestal, Universidade de Brasília, 70910-900 Brasília, <ailtonvtv@unb.br>. ³ Eng. Florestal, SQSW 101, Bloco "F" Ap. 204 – Sudoeste, 70.670-106 Brasília, <almeida@agricultura.gov.br>. ⁴ Laboratório de Produtos Florestais (LPF/IBAMA), 70818-90 Brasília-DF, <waldir@lpf.ibama.gov.br>.

coloração marrom, chamada tegumento. O albúmem sólido é uma camada carnosa, branca, muito oleosa, que forma uma grande cavidade onde se encontra a água de coco, que é o albúmem líquido.

Segundo Cuenca (1997), praticamente tudo é aproveitado do coqueiro: raiz, estipe, inflorescência, folhas, palmito e principalmente o fruto, que ao passar por uma simples transformação gera diversos subprodutos ou derivados, que podem ser classificados em três grupos:

- a) Produtos utilizados para alimentação, pelo aproveitamento do albúmem sólido e líquido do fruto.
- b) Produtos fibrosos, utilizados principalmente pela indústria têxtil.
- c) Outros produtos de menor importância.

Da casca do coco são extraídas fibras de diferentes comprimentos, que servem para fabricação de uma diversidade riquíssima de artigos como vestuário, tapetes, sacaria, almofadas, colchões, escovas, pincéis, cordas marítimas, dentre outros. No entanto o que vem despertando grande interesse é a sua utilização pela indústria automobilística, como estofamento para assentos de carros e caminhões, uma vez que sua qualidade é bem superior à das fibras sintéticas, pois permite a circulação de ar, dando maior conforto ao motorista e passageiros, além de poder, depois de usado (descartado), virar adubo.

Segundo Figueira (1995), os resíduos do coco não só podem ser bem aproveitados como também contribuem para preservação do meio ambiente, já que os resíduos do coco não aproveitados levam cerca de oito anos para se decompor na natureza. No Brasil, apenas 10% das cascas de coco são aproveitadas pelas indústrias, sendo o restante desperdiçado.

O objetivo deste trabalho foi caracterizar o resíduo do coco-da-baía na condição verde e madura, na forma *in natura* e transformado em carvão vegetal.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Foram coletados resíduos de coco-da-baía na condição verde (resíduo da comercialização da água de coco) e madura (resíduo da fabricação de doces) no setor urbano de Brasília. Os frutos verdes foram divididos ao meio, sendo removido todo o albúmem sólido (castanha), e em seguida eles foram expostos ao sol, durante dois meses, para uma secagem natural. O material tanto na condição verde quanto madura foi dividido em duas porções, que foram utilizadas em duas fases.

Em uma primeira fase, para análise na condição *in natura*, determinou-se a massa específica básica das porções de coco verde (tratamento 1) e maduro (tratamento 2), e após a moagem e classificação em peneiras de 40 e 60 mesh realizou-se a análise imediata, determinando os teores de carbono fixo, materiais voláteis e cinzas segundo a norma ASTM D-1762/64 e o poder calorífico, segundo a norma ABNT NBR 8633/84.

Em uma segunda fase, foram feitas carbonizações com as porções de coco verde (T1) e coco maduro (T2), que foram divididos em cinco amostras (repetições) para cada tratamento, totalizando dez carbonizações. Cada carbonização foi realizada em 3h5min (210 minutos), à temperatura máxima de $460 \pm 10^\circ\text{C}$, em forno mufla acoplado a um sistema de recuperação de gases. Controlou-se a carbonização, medindo a temperatura em função do tempo a cada 30 minutos, até um total de 1 hora. Em seguida, com o início das reações exotérmicas e a conseqüente aceleração no aumento das temperaturas, passou-se a medir o tempo em função da temperatura a cada 20°C , sempre ajustando o termostato de forma a atingir a temperatura desejada de $460 \pm 10^\circ\text{C}$ no interior da retorta, o que foi feito com o auxílio de um termopar, conectado a um termômetro digital introduzido no seu interior.

Após cada carbonização determinou-se a massa de carvão vegetal e de licor pirolenhoso

para posterior cálculo dos rendimentos gravimétricos: em carvão vegetal (RC), em licor pirolenhoso (RLP) e em gases não-condensáveis (RGNC). Através do método do deslocamento de mercúrio, utilizando o aparelho de Brinnel, foi determinada a massa específica aparente. Posteriormente, os carvões foram moídos e classificados em peneiras de 40 e 60 mesh para a análise imediata, segundo a norma ABNT NBR 8112/83, obtendo-se: teores de carbono fixo (CF), materiais voláteis (MV) e cinzas (CZ); e o poder calorífico superior (PCS) foi determinado em função do teor de carbono fixo, pela seguinte expressão: $PCS = 4934,43 + (33,27 \times CF)$, segundo Vale et al. (2002).

Os dados foram submetidos à análise de variância, segundo Gomes (1982).

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 Características do resíduo na condição *in natura*

No Quadro 1 estão as características físicas do coco, na condição verde e madura. A massa específica básica do coco maduro ($0,99 \text{ g cm}^{-3}$) foi superior e significativamente diferente da do coco verde, a 5% de probabilidade.

O poder calorífico depende da constituição química do material, que por sua vez independe do estado do material, se verde ou

Quadro 1 – Características físicas do coco *in natura*

Table 1 – Physical characteristics of coconut "in natura"

Tratamento	Massa Específica (g cm^{-3})			PCS* (cal g^{-1})
	Seca (0%)	Saturada	Básica	
Coco verde	0,43	0,99	0,11	5.636
Coco maduro	1,17	1,28	0,99	5.662

Obs.: *poder calorífico superior.

maduro. Isto explica o fato de não haver diferença significativa do poder calorífico superior entre o coco verde (5.636 cal g^{-1}) e o maduro (5.662 cal g^{-1}). No entanto, a quantidade de calor produzido por unidade volumétrica (cal cm^{-3}) pelo coco maduro é 2,9 vezes maior, devido à diferença na massa específica a 0% de umidade. Enquanto a queima de 1 cm^3 de coco maduro a 0% de umidade produz 6.624 cal, o mesmo volume de coco verde, nas mesmas condições de umidade, produz 2.423 cal.

Na análise imediata do fruto *in natura* não houve diferença significativa entre os tratamentos (coco verde e maduro) para os teores de carbono fixo e para os teores de materiais voláteis a 5% de probabilidade, como mostra o Quadro 2. Por outro lado, o teor de cinzas apresentou-se maior no fruto verde e significativamente diferente do obtido com o coco maduro a 5% de probabilidade, pelo teste "F". O maior teor de cinzas no coco verde deve estar relacionado com a presença de substâncias minerais, como cálcio, potássio, fósforo, magnésio, ferro, sódio, entre outros. Neste caso, parece que essas substâncias estão mais concentradas no mesocarpo (camada espessa rica em fibras), que está ausente no coco maduro. Menor produção de cinzas é desejável na queima de um combustível, portanto mais uma vez o coco maduro se sobressai em relação ao verde.

Quadro 2 – Valores médios de matéria volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) do coco *in natura*

Table 2 – Mean values of volatile matter (MV), ash (Cz) and fixed carbon (CF) of coconut "in natura"

Tratamento	Análise Imediata		
	MV %	Cz %	CF %
Coco verde	75,12	3,80	21,08
Coco maduro	77,73	0,40	21,87

MV- teor de materiais voláteis, Cz- teor de cinzas e CF- teor em carbono fixo.

3.2 Rendimentos da carbonização

No Quadro 3 estão os resultados dos rendimentos gravimétricos em carvão. O carvão do coco verde apresentou maior rendimento (39,65%), provavelmente pela carbonização de todo o fruto (epicarpo, mesocarpo e endocarpo), enquanto na carbonização do coco maduro foi utilizado apenas o endocarpo, o que indica que a presença do mesocarpo (camada muito espessa e fibrosa) aumenta a produção de carvão.

No Quadro 4 estão os valores de "F" da análise de variância para os rendimentos estudados. Para todos os rendimentos houve diferença significativa a 1% de probabilidade entre as médias.

3.3 Qualidade do carvão

No Quadro 5 estão os resultados de características físicas do carvão: o poder calorífico superior (PCS) e a massa específica aparente a 0% de umidade.

A massa específica aparente do carvão vegetal do coco maduro foi superior à do coco verde, seguindo o comportamento da massa específica básica na condição *in natura*, uma vez que maior massa específica básica do material de origem (coco) implica maior massa específica aparente do carvão.

O poder calorífico superior (PCS) tem uma relação direta com o teor de carbono fixo do carvão vegetal. Desta forma, o carvão do coco maduro com teor de carbono fixo maior apresenta poder calorífico superior maior que o do coco verde, que por sua vez apresenta um elevado teor de cinzas. Esta superioridade do coco maduro reflete também na massa específica. As médias para massa específica aparente e poder calorífico superior foram significativamente diferentes a 1% de probabilidade (Quadro 6).

Quadro 3 – Valores médios dos rendimentos da carbonização do coco

Table 3 – Mean values for carbonization yield of coconut

Tratamento	Rendimento (%)		
	Carvão	LP	GNC
Coco verde	39,65	34,18	26,17
Coco maduro	36,11	43,70	20,20

LP- licor pirolenhoso e GNC- gases não-condensáveis nas CNTP.

Quadro 4 – Valores de "F" para os rendimentos da carbonização do coco

Table 4 – "F" values for carbonization yields

Fonte de Variação	GL	Valor de "F"		
		RC	RLP	RGNC
Tratamento	1			
Resíduo	8	13,66**	36,51**	18,30**
Total	9			

** significativo a 1% de probabilidade.

Quadro 5 – Características do carvão do coco

Table 5 – Coconut coal characteristics

Tratamento	Massa Específica Aparente (g cm ⁻³)	PCS (cal g ⁻¹)
Coco verde	0,18	7.056
Coco maduro	0,99	7.433

Quadro 6 – Valores de "F" para massa específica aparente e poder calorífico superior de carvão de coco

Table 6 – "F" values for specific density and heat combustion of coconut coal

Fonte de variação	GL	Valores de "F"	
		Massa específica aparente	PCS
Tratamento	1		
Resíduo	8	1811,98**	19,82**
Total	9		

Obs.: ** significativo a 1% de probabilidade.

No Quadro 7 está o teor de carbono fixo do carvão vegetal do coco verde e do coco maduro. Estes valores ficaram abaixo daqueles encontrados para frutos de palmáceas analisados por Bataus et al. (1989), cujo menor valor encontrado foi de 76,16% de carbono fixo para o babaçu e o máximo de 86,10% para o dendê. O teor de cinzas foi de 1,50% para o coco maduro, contra 10,78% para o coco verde. Tienne et al. (2004), ao carbonizarem casca de laranja e casca com bagaço de laranja, associaram os altos valores de cinzas encontrados (9,5 e 10,25%, respectivamente) à presença de ferro, zinco, cobre, potássio, cálcio, fósforo, sódio e magnésio. Assim como para o coco *in natura*, uma possível explicação para o alto teor de cinzas no carvão de coco verde é que para este carbonizou-se biomassa completa, contendo epicarpo, mesocarpo e endocarpo, sendo o mesocarpo rico em fibras, possivelmente contendo a maior quantidade de sais minerais, ao contrário do coco maduro onde foi carbonizado somente o endocarpo.

Quadro 7 - Valores médios de material volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) do carvão de coco

Table 7 - Mean values of volatile matter (MV), ash (Cz) and fixed carbon (CF) of coconut coal

Tratamento	Análise Imediata (%)		
	MV	Cz	CF
Coco verde	25,44	10,78	75,10
Coco maduro	23,41	1,50	63,78

Não houve diferença significativa entre as médias de materiais voláteis, no entanto os teores de cinzas e carbono fixo apresentaram diferença significativa a 1% de probabilidade (Quadro 8).

4 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos permitem concluir pela viabilidade de uso tanto do coco-da-baía

Quadro 8 - Valores de "F" para matéria volátil (MV), cinzas (Cz) e carbono fixo (CF) do carvão de coco

Table 8 - "F" values for volatile matter (MV), ash (Cz) and fixed carbon (CF) of coconut coal

Fonte de Variação	GL	Valores de "F"		
		MV	Cz	CF
Tratamento	1			
Resíduo	8	0,58 ^{ns}	1.052,68**	19,82**
Total	9			

** significativo a 1% de probabilidade e ^{ns} - não-significativo.

na forma *in natura* quando na forma transformada pela carbonização, como fonte alternativa para geração de energia.

Apesar de existir diferença significativa entre o carvão do coco verde e do coco maduro, os tratamentos apresentaram bom rendimento gravimétrico em carvão.

O coco maduro apresentou características mais favoráveis para a finalidade em questão, tanto para a biomassa quanto para o carvão, por apresentar maior quantidade de carbono fixo, maior poder calorífico, massa específica aparente alta e baixo teor de cinzas.

O coco verde *in natura* e o seu carvão apresentaram características inferiores às do coco maduro. Um fator de forte peso no seu uso seria a grande disponibilidade de coco verde.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8112/83 – Carvão vegetal – análise imediata. 6 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. NBR 8633/84 – Determinação do poder calorífico superior. 13 p.

AMERICAN SOCIETY FOR TESTING AND MATERIALS – ASTM. D – 1762–64 (Reapproved 1977). p. 578.

BATAUS, Y. S. L. et al. Carbonização integral de frutos de palmáceas. Brasília, IBAMA, LPF, 1989. 15 p. (Série Técnica, 2).

CUENCA, M. A. G. Importância econômica do coqueiro. In: **A cultura do coqueiro no Brasil**. 2.ed. Brasília: Embrapa – SPI; Aracaju, Embrapa CPATC, 1997. p. 17-56.

FIGUEIRA, J. L. G. Casca do coco: aproveitamento industrial. In: **Coco da Bahia: Uma alternativa agroindustrial e de reflorestamento para o noroeste do Paraná**. Curitiba, Caniatti Rodrigues 1995. p. 73-77.

GOMES, F. G. **Curso de estatística experimental**. 10.ed. Piracicaba: Nobel, 1982. 430 p.

ANÁLISE QUÍMICA DO COCO. SÉSAMO REAL ALIMENTOS LTDA. Indústria e Comércio de Produtos Alimentícios. Disponível em: <sesareal@uol.com.br/análise.thm>. Acesso em: 10 set. 2004.

TIENNE, L.; DESCHAMPS, M. C.; ANDRADE, A. M. Produção de carvão e subprodutos da pirólise da casca e do bagaço da laranja (*Citrus sinensis*). **Biomassa & Energia**, v. 1, n. 2, p. 191-197, 2004.

VALE, A. T. et al. Estimativa do poder calorífico superior do carvão vegetal de madeiras de *Eucalyptus grandis* em função do teor de carbono fixo e do teor de materiais voláteis. **Brasil Florestal**, v. 21, n. 73, p. 47-54, 2002.