

# PROCESSAMENTO DE CASCA E FIBRA DE COCO VERDE POR CARBONIZAÇÃO PARA AGREGAÇÃO DE VALOR

## PROCESSING OF COCONUT SHELL AND FIBER FOR ADDING VALUE

**LUIS A. B. CORTEZ\***<sup>1</sup>

**JUAN M. M. PEREZ**<sup>2</sup>

**JOSÉ D. ROCHA**<sup>3</sup>

**RODRIGO A. JORDAN**<sup>4</sup>

**HENRY R. M. MESA**<sup>5</sup>

### RESUMO

Atualmente o Brasil é o maior produtor de coco verde, com uma área plantada equivalente a 57 mil hectares, onde a maior parte da parte da produção (66,5%) se concentra na região Nordeste. O descarte do coco depois do consumo da água representa um problema para os sistemas de coleta e tratamento de lixo, pela sua lenta degradação devido ao alto teor de fibras. Neste trabalho são mostrados os resultados da pirólise lenta da fibra e da casca do coco verde. Os experimentos foram conduzidos em um forno experimental de pequena capacidade, a uma temperatura de 350°C. Os resultados mostraram que o rendimento em carbono fixo foi de 74,43% para o endocarpo verde e 58,07% para o mesocarpo verde. O teor de cinzas, para as mesmas amostras, foi de 14,13% e 13,03%, respectivamente. Os teores de voláteis foram de 11,40% para o carvão obtido do endocarpo verde e, de 28,90% para o carvão obtido do mesocarpo verde. Ficou demonstrado que o resíduo do coco verde apresenta potencial para a produção de carvão vegetal. Porém ainda é preciso estudar o rendimento, utilizando para isto, sistemas em maior escala, avaliando também o emprego integral (casca e fibra), além de estudos econômicos que considerem os custos de logística e acondicionamento.

**Palavras Chaves:** pirólise lenta, carbonização, resíduos de coco.

---

<sup>1</sup> Prof. Titular da Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP, Campinas-SP. E-mail: cortez@feagri.unicamp.br

<sup>2</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Diretor Técnico da Empresa Bioware Tecnologia, Campinas-SP

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia Mecânica, Pesquisador da EMBRAPA-Agroenergia, Brasília-DF.

<sup>4</sup> Doutor em Engenharia Agrícola, Pesquisador Colaborador da Faculdade de Engenharia Agrícola, UNICAMP.

<sup>5</sup> Mestre em Engenharia Elétrica, Técnico da Empresa Bioware Tecnologia, Campinas-SP.

## ABSTRACT

Currently Brazil is the largest producer of green coconut, with a planted area equivalent to 57 thousand hectares, where most of the production (66.5%) is concentrated in the Northeast region. After consumption of the coconut water, the residue is a problem for waste disposal systems. Due to its slow natural degradation, the coconut fiber lasts a long time. This research shows the results of slow pyrolysis of the fiber and the green coconut shell. The experiments were conducted in a small experimental furnace at a temperature of 350°C. The results showed that the fixed carbon yield as 74.43% for green cored and 58.07% for green mesocarp. The ash contents of the same samples were 14.13% and 13.03% respectively. The levels of volatiles were 11.40% for charcoal produced from the green core, and 28.90% for charcoal from the green mesocarp. The experiments demonstrated that the green coconut residue has potential for charcoal production. The results found in this research can change in industrial production scale, a pilot plant is highly recommended to prove the raw material and technology performances. The overall yields must also be studied carefully for larger scale systems. Aspects such as costs, logistics, and raw material pre-treatment need also be assessed in case that a future production plant is decided to be built.

**Keywords:** slow pyrolysis, carbonization, coconut residues.

## INTRODUÇÃO

A partir de 1998 o coco verde começou a despontar como um produto bastante promissor no mercado brasileiro, com crescimento de consumo estimado em 20% ao ano.

Atualmente, o Brasil é líder mundial na produção de coco verde, com uma área equivalente a 57 mil hectares (EMBRAPA, 2004).

Porém, esse aumento de consumo gera também, a cada ano, mais de 6,7 milhões de toneladas de casca de coco, transformando-se em um grande problema ambiental, principalmente para as grandes cidades. Cerca de 70% do lixo gerado nas praias do Nordeste é composto por cascas de coco verde, material de difícil degradação e foco para proliferação de doenças, diminuindo a vida útil de aterros sanitários e lixões (EMBRAPA, 2004).

Portanto, a utilização da casca de coco verde processada, além da importância econômica e social, é também importante do ponto de vista ambiental. Segundo ROSA et al. (2001) citados por CARRIJO et al. (2002), de 80% a 85% do peso bruto do coco verde é considerado lixo.

De acordo com NOGUERA et al. (2000), o teor de lignina presente na fibra de coco se encontra entre 35 e 45%, e o de celulose, entre 23 e 43%. Já a quantidade de hemicelulose, que é a fração prontamente atacada por microorganismos é pequena. Esse componente é de 3 a 12% do peso total do material, justificando a sua grande durabilidade na natureza.

O uso como energético se mostra como uma alternativa, tendo em vista o teor elevado de lignina presente na casca e nas fibras do coco verde. Pois de acordo com RAVEENDRAN et al. (1996), na degradação térmica dos componentes da biomassa, a lignina é a que apresenta o maior rendimento em carvão, entre 40,63 e 47,09%, fato que confere ao coco verde um enorme potencial para a produção de carvão vegetal.

Assim, este trabalho teve o objetivo de produzir e caracterizar amostras de carvão de fibra e de casca de coco verde, através de análises imediata e elementar e poder calorífico superior. As análises demonstraram resultados satisfatórios quanto à qualidade do carvão obtido tanto da casca como da fibra.

## MATERIAIS E MÉTODOS

### Equipamento utilizado

Os testes foram realizados usando um forno adaptado, fabricado pela empresa Termoquip (Figura 1), construído em chapa de aço carbono de 3 mm e revestido com material refratário com espessura de 10 mm. Um sistema centrífugo para recuperação de alcatrão foi conectado ao forno. O alcatrão também é produzido no processo de

carbonização (pirólise lenta). Ele era extraído por uma saída na base do extrator enquanto que os gases eram enviados para a chaminé, onde existia um queimador de gases instalado na sua parte superior usando uma chama piloto mantida com GLP.



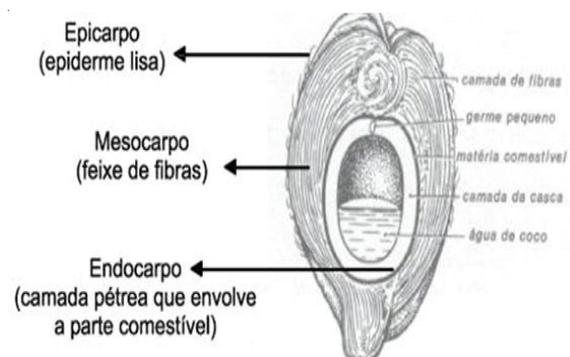
**FIGURA 1A.** Vista frontal do forno: 1-Grelha I (fornalha); 2-Grelha II (biomassa); 3-Válvula I (Entrada de ar para a grelha 1); 4-Termopar.



**FIGURA 1B.** Vista lateral do forno: 5-Sensor do Termopar; 6-Sistema de recuperação de bio-óleo; 7-Botijão de GLP.

### Procedimento experimental

Geralmente, toda a parte verde do coco que envolve a água é tratada como casca. Porém, conforme pode ser visto na Figura 2, que mostra um coco em corte longitudinal, a maior fração do coco é composta pelas fibras ou mesocarpo, que é a parte externa do fruto. A casca é composta por uma fina camada pétrea que protege a parte comestível (castanha e água). Para o experimento a casca (endocarpo) foi separada das fibras (mesocarpo).



**FIGURA 2.** Corte Longitudinal do coco, com suas partes (ERHARDT et al., 1976).

Os frutos foram cortados em quatro partes iguais para facilitar a separação manual entre a casca e a parte fibrosa. Em seguida, foi realizada a secagem natural ao sol para obter a menor

interferência possível da umidade. As análises elementar e imediata das duas amostras foram feitas em duplicata. A Figura 3 mostra a fibra e a casca de coco já secas e separadas.



**FIGURA 3A.** Fibra de coco seca



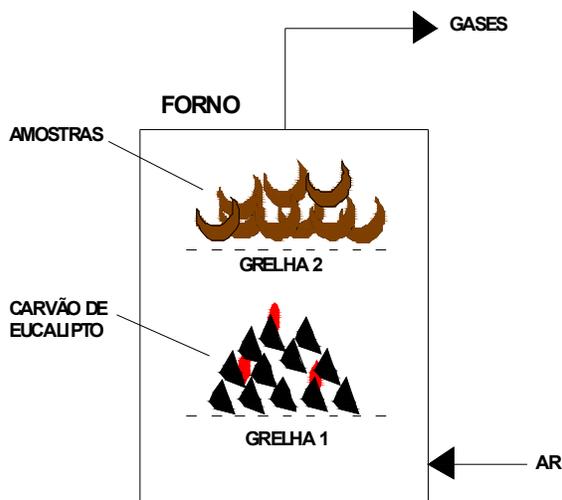
**Figura 3B.** Casca de coco seca

Os testes de carbonização da fibra e da casca foram realizados em triplicatas (Tabela 1). O aquecimento do forno de carbonização foi utilizado carvão vegetal de eucalipto como

combustível. No forno, as amostras foram colocadas na grelha superior (grelha II) e o carvão vegetal na grelha inferior (grelha I) conforme ilustra o esquema da Figura 4.

**TABELA 1.** Peso das amostras utilizadas nos testes.

<b>Amostra</b>	<b>Casca de coco (kg) (12 % de umidade)</b>	<b>Fibra de coco (kg) (12% de umidade)</b>
1	12,5	5,0
2	16,0	6,0
3	14,0	5,0
Média	14,17	5,33



**FIGURA 4.** Esquema do procedimento experimental.

A partida do processo de carbonização dava-se com o acendimento do carvão vegetal, através de um queimador utilizando GLP. Depois disso, o forno era fechado e ar era injetado para manter a combustão do carvão vegetal de eucalipto.

A temperatura do forno foi monitorada por um termopar conectado a um termômetro digital Salvterm, modelo 1200 K. A entrada de ar era controlada pela válvula I (Figura 1), até atingir uma

temperatura entre 300°C e 350°C, que foi mantida durante o tempo de duração do processo de carbonização nos testes. O comportamento da temperatura também serviu como parâmetro para determinar o término do processo, pois a devolatilização da amostra é seguida por uma redução de temperatura.

A descarga das amostras de carvão vegetal de fibra e casca de coco era realizada após o completo resfriamento do forno até temperatura ambiente. Novamente, as análises elementar e imediata para cada tipo de carvão vegetal (casca ou fibra) foram realizadas em duplicata. As amostras analisadas foram compostas da mistura das triplicatas. As análises foram realizadas nos laboratórios certificados da ABCP - Associação Brasileira de Cimento Portland em São Paulo, SP.

## RESULTADOS E DISCUSSÕES

### Caracterização das amostras de casca e fibra de coco

A Tabela 2 mostra os dados da análise química elementar das amostras de casca e fibra de coco. Os teores de carbono e hidrogênio se mostraram um pouco mais elevados para a casca. Já os teores de nitrogênio e enxofre se mostraram um pouco mais elevados para a fibra.

**TABELA 2.** Valores médios da análise elementar das amostras de casca e fibra de coco.

Amostra	Composição elementar [% m/m]			
	C	H	N	S
Fibra de coco	42,11	5,35	0,95	0,13
Casca de coco	45,48	5,65	0,44	382,91 ppm

JENKINS (1990) citado por CORTEZ et al. (2008) encontrou os seguintes valores para a análise elementar da casca de coco: C (48,23%), H (5,23%), N (2,98%) e S (0,12%). Na bibliografia consultada não foi possível identificar se estes dados são referentes ao coco verde ou seco, à casca integral (endocarpo mais mesocarpo) ou apenas ao endocarpo.

O teor de carbono observado para a casca e a fibra de coco utilizadas no testes, se mostrou um pouco abaixo do valor encontrado por JENKINS, assim como o teor de nitrogênio, pois estes valores podem variar em função de algumas características, como a variedade e grau de maturação (coco verde ou seco). O teor de enxofre da fibra se mostra similar ao encontrado por JENKINS.

Na Tabela 3 tem-se os dados da análise química imediata das mesmas amostras. Observa-se que a umidade e os voláteis apresentam-se de forma similar em ambas as amostras, que por sua vez apresentam diferenças significativas para carbono fixo e cinzas, logo que

a casca de coco contém uma maior quantidade de cinzas em relação à fibra, que por sua vez apresenta uma maior porcentagem de carbono fixo, daí um valor mais elevado de poder calorífico superior (PCS).

**TABELA 3.** Valores médios da análise imediata das amostras de casca e da fibra de coco.

Amostras	PCS (MJ/kg)	% em base seca [m/m]		
		Carbono Fixo	Voláteis	Cinzas
Fibra de Coco	17,419	23,49	73,30	3,21
Casca de coco	16,746	17,69	71,60	10,71

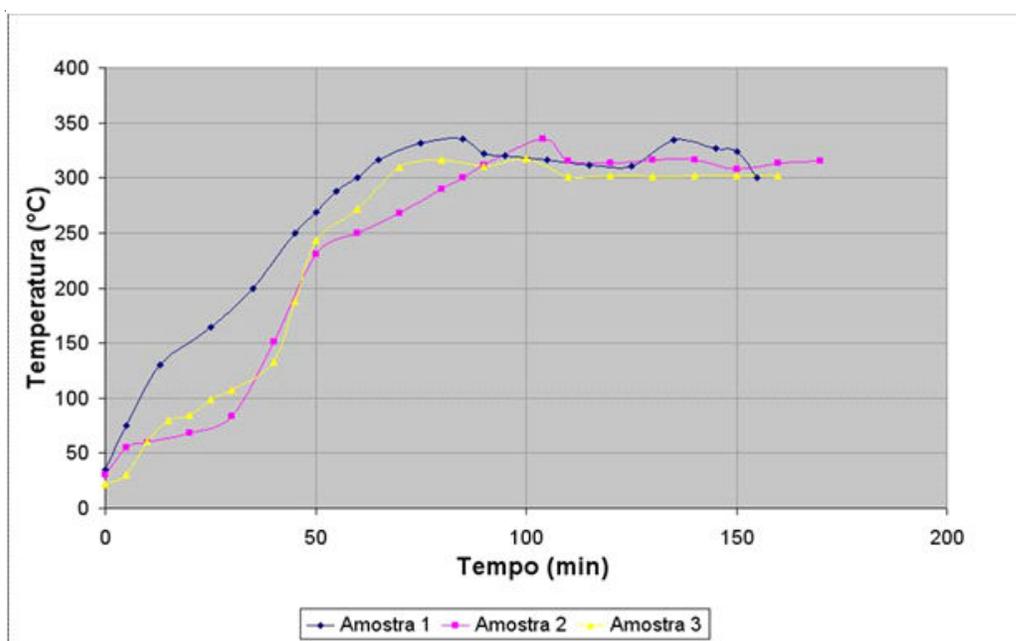
Para análise imediata da casca de coco, JENKINS encontrou os seguintes valores: carbono fixo (23,80%), voláteis (67,95%) e cinzas (8,25%). O valor de poder calorífico superior (PCS) para a casca de coco encontrado por este autor foi 19,04 MJ/kg. Assim, os valores encontrados na análise imediata da casca e da fibra de coco utilizadas nos testes se mostram coerentes.

De forma geral, o elevado teor de voláteis é comum para a biomassa. Assim, a casca e a fibra de coco não fugiram muito aos valores

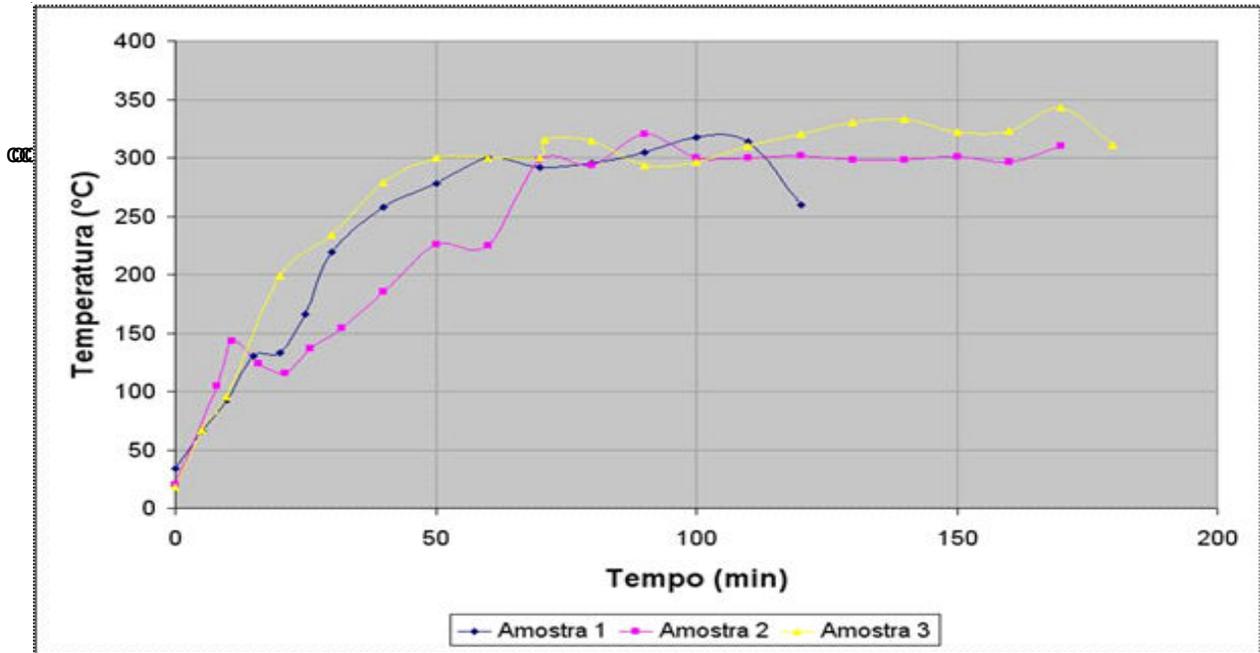
reportados na bibliografia para outras amostras de biomassa.

### Comportamento da temperatura durante os testes

O comportamento da temperatura do forno durante os testes de carbonização observado em intervalos de 10 minutos é mostrado nos gráficos das Figuras 5 e 6, que representam as curvas obtidas durante a carbonização da casca de coco e da fibra do coco, respectivamente.



**FIGURA 5.** Curvas de temperatura durante os testes de carbonização da casca de coco.



**FIGURA 6.** Curvas de temperatura durante os testes de carbonização da fibra de coco.

Analisando as curvas mostradas na Figura 5 (amostra 1) e Figura 6 (amostras 1 e 3), verifica-se a existência de 3 estágios, sendo que o primeiro é caracterizado pela elevação de temperatura até o valor adequado para o processo de carbonização (300 a 350°C). O segundo estágio é caracterizado por uma temperatura praticamente constante, onde ocorre a devolatilização. O último estágio é caracterizado pela redução da temperatura evidenciando o final do processo de devolatilização da amostra.

Percebe-se que em todos os testes a temperatura desejada (300°C) só foi atingida depois de uma hora do início dos testes, porém o controle da temperatura (300-350°C) foi obtido com êxito em todos os testes, sendo que tanto

para a fibra como para a casca, o comportamento da temperatura em relação ao tempo foi similar.

#### Amostras de carvão vegetal produzidas

Na Figura 7 têm-se as amostras de carvão produzidas a partir da casca de coco (a) e da fibra de coco (b). Tal como entre as matérias-primas (casca e fibra de coco), o carvão obtido também apresenta diferenças físicas nítidas. O carvão resultante da casca de coco é composto por fragmentos menores, mais quebradiços, enquanto que o carvão da fibra de coco apresenta fragmentos maiores, geralmente em forma côncava, assim como a matéria-prima (fibra de coco).



**FIGURA 7A.** Carvão da casca de coco.



**FIGURA 7B.** Carvão da fibra de coco

A Tabela 4 mostra os valores médios da análise química elementar das amostras de carvão resultantes da carbonização da casca e da fibra de coco. Na Tabela 5 têm-se os valores médios para a análise química imediata das

mesmas amostras.

Seguindo o comportamento da matéria-prima, o teor de nitrogênio apresentado pelo carvão de fibra de coco foi o dobro do teor verificado para a casca de coco.

**TABELA 4.** Valores médios da análise elementar das amostras de carvão de casca e fibra de coco.

Elemento % [m/m]	Carvão de casca de coco	Carvão de fibra de coco
C	75,71	73,55
H	3,68	3,19
N	0,48	1,09
S	<0,1	<0,1

**TABELA 5.** Valores médios para a análise química imediata das amostras obtidas a partir da casca e da fibra de coco.

Propriedades	Carvão de casca de coco	Carvão de fibra de coco
Umidade % [m/m]	4,35	4,85
Carbono fixo % [m/m]	74,43	58,07
Voláteis % [m/m]	11,44	28,90
Cinzas % [m/m]	14,13	13,03
PCS [MJ/kg]	<b>29,68</b>	<b>18,03</b>

Obs.: Os teores de carbono fixo, voláteis e cinzas foram determinados em base seca.

Verifica-se na Tabela 5 que o carvão da casca de coco apresentou um valor de poder calorífico superior (PCS) expressivamente maior que o apresentado para o carvão da fibra. Isto se deve ao menor teor de voláteis e ao maior teor de carbono fixo apresentado pelo carvão da casca de coco.

O uso de um processo de termoconversão se justifica pela necessidade de melhorar as características físicas e químicas de um material para uso energético, principalmente no que diz respeito ao aumento da densidade energética (MJ/kg). Comparando o valor de poder calorífico superior da fibra in natura (17,42 MJ/kg) com o do seu carvão (18,03 MJ/kg), verifica-se que a conversão energética foi baixa, quando avaliado o caso da casca.

O elevado teor de voláteis do carvão

O elevado teor de voláteis do carvão resultante da fibra de coco pode limitar o seu uso em algumas aplicações, como por exemplo, como redutor siderúrgico. Este alto teor de voláteis está associado ao elevado teor de cinzas presentes no carvão.

Tanto para o carvão da fibra como para o carvão da casca de coco, os valores de poder calorífico superior se mostram dentro da faixa reportada para carvão resultante de outras biomassas. Em processo de pirólise em escala de bancada, RIZZETI et al. (2008) encontrou valores de poder calorífico superior de 16,33 MJ/kg para o carvão de resíduo de palha de arroz e, de 17,16 MJ/kg para o carvão de serragem de eucalipto.

Comparado ao teor apresentado pela fibra in natura (3,21%) o carvão resultante desta

apresentou um acréscimo significativo no teor de cinzas. Já para a casca, comparado aos valores do material *in natura* (10,71%), o acréscimo no teor de cinzas apresentado pelo carvão foi menor. Isto demonstra certa influência do processo de carbonização tal como foi conduzido. O que também pode explicar o fato da fibra ter resultado em um carvão de qualidade inferior, mesmo tendo apresentado melhores características enquanto matéria-prima *in natura*.

Segundo BOURGEOIS (1984) as propriedades da biomassa torrefeita variam em função do tempo e da temperatura de processamento. Para cada combinação destas variáveis pode-se obter produtos de diferentes propriedades energéticas, pois os teores de voláteis e carbono fixo variam em função de cada combinação realizada.

Em resultados apresentados por FELFLI et al. (1999) sobre torrefação de madeira de eucalipto, verificou-se a influência predominante da temperatura no processo. O aumento desta de 220 para 270°C favoreceu o aumento do teor de carbono fixo (de 19% para 49%), do poder calorífico superior (de 21 para 23 MJ/kg) e do teor de cinzas (de 6,6 para 9,8%) das amostras torrificadas. Estas comparações foram feitas para um tempo de residência de 1,5 horas, semelhante ao utilizado na carbonização das amostras de casca e fibra de coco.

Já com relação aos rendimentos, tendo em vista o fato dos testes terem sido conduzidos em um forno experimental, com pequenas quantidades de material, não foi possível produzir resultados para uma avaliação aplicável a uma escala maior de produção.

Também, o fato de usar gás de combustão como agente de pirólise a partir da queima de carvão, dada às características do forno utilizado, implica na possibilidade de parte do oxigênio não reagido com o carvão de eucalipto provocar a combustão de parte do carvão produzido pelas amostras de fibra e de casca de coco, afetando assim o rendimento, prejudicando alguma análise neste sentido.

## CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que tanto o carvão obtido da casca, como da fibra de coco verde, apresentam, pelo menos em termos qualitativos, viabilidade para uso energético. No caso do carvão da casca, em termos de poder calorífico superior, este apresentou resultados superiores ao carvão da fibra e, conforme a bibliografia consultada, ao carvão obtido de outras biomassas, inclusive superior ao carvão vegetal de eucalipto.

Ficou evidenciado com base na análise imediata das amostras antes e após a carbonização, que as condições do processo de termoconversão influenciam nas características do carvão obtido. Isto demonstra a necessidade de estudos onde as condições de processo (tempo e temperatura) sejam variadas.

Para avaliar a questão do rendimento, novos estudos, em escala piloto, devem ser realizados. Estes estudos devem considerar, também, o uso integral do resíduo de coco verde (casca e fibra).

Para comprovação da viabilidade técnica e econômica é necessário um estudo mais aprofundado, que leve em consideração, também, aspectos quantitativos, além de questões técnicas e econômicas relacionadas à coleta, acondicionamento, pré-tratamento, ao processo de carbonização empregado e ao mercado consumidor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BOURGEOIS, JP. Torrefied wood from temperate and tropical species, advantages and prospects. In: Egnéus, H.; Ellegard, A. (Eds). BIOENERGY 84, 1984. London. *Proceedings...* London: Elsevier, 1984. v.3, p.153-9.

CARRIJO, O.A.; LIZ, R.S.; MAKISHIMA, N. Fibra da casca do coco verde como substrato agrícola. *Horticultura Brasileira*, Brasília, DF, v. 20, n. 4, p. 533-5, dezembro 2002.

CORTEZ L. A. B., LORA E. E. S., CASTAÑEDA, J. A. Biomassa no Brasil e no mundo. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. E. S. e OLIVAREZ GÓMEZ, E. *Biomassa para energia*. Campinas: Editora da Unicamp, 2008. Cap. 13, p. 435 a 473.

EMBRAPA. *Tecnologia para o aproveitamento da casca de coco verde é mostrada na Amazontech 2004*. Disponível em: <http://www.embrapa.gov.br/imprensa/noticias/2004/agosto/bn.2004-11-25.2909531514/>, Acesso em: 6 mai. 2009.

ERHARDT, T.; BLUMCKE, A.; BURGER, W.; MARKLIN, M.; QUINZLER, G. *Curso técnico têxtil: física e química aplicada, fibras têxteis, tecnologia*. São Paulo: EPU / EDUSP; 1976. v. 1 , 88 p.

ELFLI F. F., LUENGO C.A, BEATON P, SUAREZ A. Efficiency test for bench unit torrefaction and characterization of torrefied biomass. 4.ed. In: BIOMAS CONFERENCE OF AMERICAS, 4., 1999, California. *Proceedings...*California: Pergamon Press, 1999. Vol 1, p. 589-592.

NOGUERA, P; ABAD, M; NOGUERA, V; PURCHADES, R; MAQUIERA, A. Coconut coir waste, a new and viable ecologically-friendly peat substitute. *Acta Horticulturae*, Leuven, BE, p. 279-286. 2000

RAVEENDRAN, K. A., GANESH, A. e KHILAR, C. Pyrolysis characteristics of biomass and biomass components. *Fuel: the science and technology of fuel and energy*, Elsevier, vol. 75, nov., p. 987-997, 1996.

RIZZETI, T. M.; Diniz J.; Cardoso, A. L.; Villetti M. A.; Martins A. F.; Martini P. R. R.; Rambo, M. K. D.; Belivaqua, D. B. Poder calorífico de bio-óleo e carvão da pirólise de biomassas residuais. In: ENCONTRO DE QUÍMICA DA REGIÃO SUL, 16, novembro de 2008. *Anais...* Rio de Janeiro, UERJ, 2008. Disponível em [http://www.furb.br/temp\\_sbqsul/\\_app/\\_FILE\\_RESUMO\\_CD/453.pdf](http://www.furb.br/temp_sbqsul/_app/_FILE_RESUMO_CD/453.pdf). Acesso em: 21 mai. 2009.