

ESTUDO DE VIABILIDADE TÉCNICO-ECONÔMICA PRELIMINAR PARA PRODUÇÃO DE CARVÃO ATIVADO NO BRASIL A PARTIR DOS RESÍDUOS DO COCO: ESTUDO COMPARATIVO DOS CENÁRIOS DE PRODUÇÃO¹

Preliminary Technological-Economic Viability Study for Activated Charcoal Production in Brazil From Residual Coconut Biomass: A Comparative Study of Two Production Scenarios

Brunno Henrique Souza Santiago² e Pagandai Vaithianathan Pannir Selvam²

Resumo: O objetivo da pesquisa foi desenvolver uma rota para utilização de resíduos de coco para produção de carvão ativado com co-produção de energia, visando o máximo aproveitamento e máximo rendimento energético, com o mínimo de perdas de matéria-prima. Depois de realizadas pesquisas bibliográficas sobre o atual estado de tecnologia na produção de carvão ativado com base na biomassa residual do coco, ou seja, processos de termoconversão, reator de ativação e equipamentos, foram desenvolvidos projetos de engenharia básica, com a utilização da ferramenta *Super ProDesigner 4.9*. Foram realizadas diversas simulações de processos de pirólise lenta, separação de bioóleo e geração de energia, incluindo sistema de integração de produção de energia como inovação do trabalho proposto. Dois cenários foram desenvolvidos, sendo um o atual processo de produção e o outro inovador, que consiste na recuperação de energia na produção de carvão ativado, tendo sido estudado em detalhes o projeto de investimento. Também foram desenvolvidos e estudados em detalhes o projeto de investimento e custos, a análise de viabilidade e o fluxo de caixa, utilizando o *software* Orçamento 2004. Os resultados de diversos parâmetros técnico-econômicos desse cenário foram comparados e analisados, e constatou-se o baixo rendimento energético e material de processo convencional praticado no País. Considerando a viabilidade e o baixo custo desse processo e os diversos parâmetros econômicos analisados, pretende-se contribuir para o desenvolvimento energético em ambientes rurais no Brasil.

Palavras-chaves: Energia, materiais e agroindústria.

Abstract: The objective of this work is to develop a new way to process coconut residues for activated charcoal production with energy co-production, aiming to maximize use and energy yield and minimize raw material loss. Following bibliographic review of the state of the art of technological production of activated charcoal using residual coconut biomass, i.e., heat conversion processes, and activation reactor and equipment, basic engineering projects were developed using the tool *Super Pro Designer 4.9*. Several innovative simulations of slow pyrolysis process, bio-fuel separation and energy generation, including integrated systems of energy production, were carried out in this work. Two scenarios were developed: one, the current production process, and the other, an innovative process consisting of energy recovery in the production of activated coal, with project investment being studied in detail. Project investment and costs, viability analysis and cash flow, using software *Orc2004* were also studied in detail. The results obtained from the various technological-economic parameters of this scenario were compared and analyzed, and low energy yield and a practice of conventional material process in the country were confirmed. Considering the viability and low cost of this process and the various economic parameters analyzed, it can be concluded that it can contribute to energy development in agricultural environments.

Keywords: Energy, materials and agro-industry.

¹ Recebido para publicação em 26.9.2006 e aceito em 24.10.2006.

² GPEC/DEQ/CT – Universidade Federal do Rio Grande do Norte – UFRN, Campus Universitário – 59072-970 Lagoa Nova-RN, FONE: (084) 215-3769 FAX: (084) 215-3770, <bunnohenrique@yahoo.com.br>.

1 INTRODUÇÃO

Existem diversos adsorventes comerciais, dentre eles a sílica gel, alumina ativada etc., como também o carvão ativado (C.A.). A importância desses produtos depende de sua elevada capacidade de adsorção. Os processos convencionais de produção de carvão ativado consistem em projetos de alto investimento, envolvendo ativação física a elevadas temperaturas e pressão, sob condições controladas.

Esse projeto tem importância devido à elevada geração de resíduos de coco oriundos dos processos produtivos e do consumo populacional no Nordeste. A produção de coco no País, em média, tem sido em torno de 974 milhões de frutos por ano (EMPARN, 2000), sendo a Região Nordeste responsável por quase 78% desse total. Isto representa mais de 1 bilhão de resíduos produzidos por ano, muitas vezes subaproveitados ou dispostos no meio ambiente de forma inadequada.

O presente trabalho teve como objetivo equacionar um problema relacionado com o aproveitamento técnico-econômico dos resíduos do endocarpo do coco (casquilho ou casca interna) gerados da agroindústria, a partir de nova síntese de processos, cujos propósitos são a produção de carvão ativo e a recuperação de co-produtos.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho objetivou a síntese e a análise comparativa dos processos de produção de carvão ativo com o método proposto de conversão por pirólise lenta (carbonização na ausência de ar).

Preendeu-se com esta pesquisa desenvolver um novo processo para utilização de resíduos de coco para produção de carvão ativado com co-produção de energia, objetivando o máximo aproveitamento de materiais e um rendimento energético satisfatório, minimizando perdas.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA: ESTADO-DA-ARTE

O carvão ativado é geralmente obtido por meio da decomposição térmica de materiais carbonáceos (como: madeira, endocarpo do coco, ossos de animais, turfa etc.), seguidos pela ativação com ar, CO₂, vapor d'água, etc., a elevadas temperaturas (700-1.100 °C), sendo esse caracterizado pela sua alta superfície específica, que varia de 100-2.000 m² g⁻¹.

A aplicação na indústria vai desde a purificação da água até o refino de produtos derivados do petróleo, devido a suas propriedades hidrofóbicas e organofílicas (Quadro 2). É comercializado sob a forma de pelotas ou grânulos de 0,1-12 mm, com 50-60% de porosidade e densidade média entre 0,45 e 0,85 t m⁻³ (Quadro 1).

Quadro 1 – Análise comparativa das propriedades de alguns adsorventes comerciais

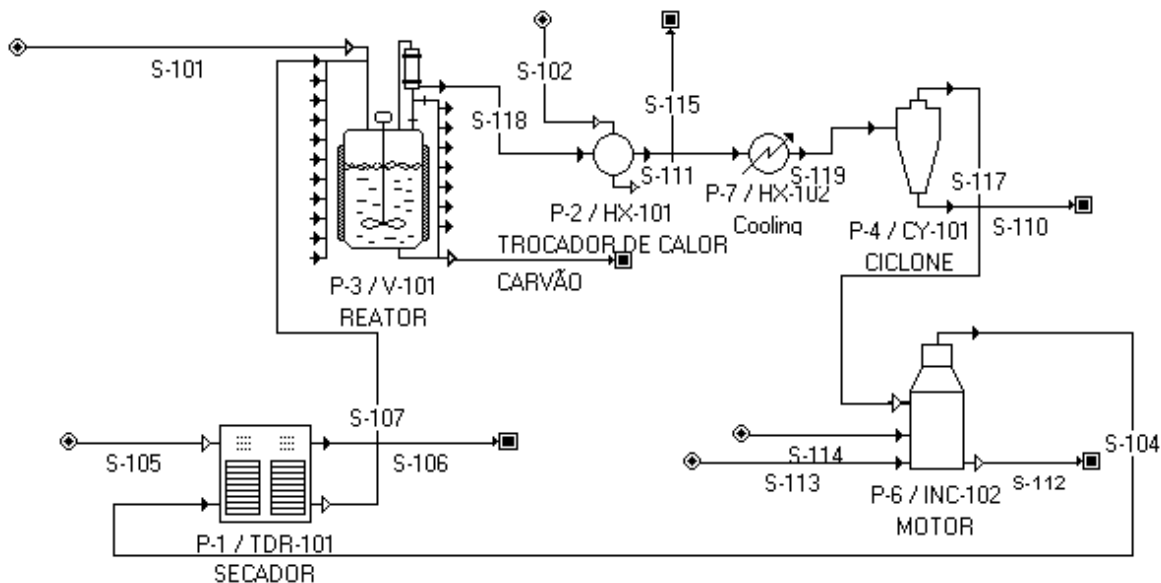
Table 1 – Comparative analysis of the properties of some commercial adsorbents

Adsorvente	Área Superficial (m ² g ⁻¹)	Diâmetro do Poro (Å)
Carvão Ativado*	600-1200	20-5000
Sílica Gel	600-800	20-50
Alumina Ativada	200-500	20-140
Polímeros	-	-

Fonte: Neto (2002).

* Indústrias Químicas Carbomafra S. A. (2004).

Muitos resíduos gerados, sobretudo na agroindústria do coco, são utilizados como combustíveis alternativos em fornalhas. Os resíduos do coco já são utilizados no País para produção de carvão ativado, porém os sistemas de carbonização em fornalhas, até mesmo os sofisticados fornos, inviabilizam uma cadeia produtiva, seja do ponto de vista energético ou econômico.



Fonte: Prasad et al. (1996) e Patil et al. (2000) (adaptado).

Figura 1 – Fluxograma de termoconversão do endocarpo para produção do carvão ativado e recuperação de co-produtos.

Figure 1 – Endocarp heat conversion flow graph for production of activated charcoal and recovery of by-products.

Rojas et al. (2003) estudaram materiais adsorventes para o armazenamento de gás natural veicular.

Jaguaribe et al. (2002) produziram carvão ativado obtido do bagaço de cana-de-açúcar por ativação com vapor d'água.

Diversos trabalhos estão sendo realizados com o objetivo de aproveitar os resíduos como o endocarpo do coco, coco-do-babaçu, entre outros, para produção sustentável de carvão ativado.

4 METODOLOGIA

Foram realizadas pesquisas bibliográficas sobre a biomassa residual do coco, os processos de gaseificação e pirólise, os produtos e co-produtos gerados, bem como os equipamentos utilizados.

4.1 Metodologia computacional para processo de produção

Foram estudados em detalhes a viabilidade técnico-econômica (Orc2004 por meio do Projeto Fácil vs 1.0) (PANNIRSELVAM et al., 1998) e o desenvolvimento do desenho inovador para o sistema de integração energética com base nos processos de pirólise e gaseificação (SANTIAGO, 2004), com o uso de métodos inovadores de análise e síntese de processos (*softwares* simulador *Super Pro-Designer 4.9*) adequados à realidade, de baixo custo e de fácil implementação no ambiente rural.

4.2 Metodologia experimental

As amostras de endocarpo coco foram coletadas no Distrito de Bebida Velha – Pureza-RN, por meio de visita técnica

realizada pelo Projeto Integrado do Agropênegócios de Frutas MCT/CNPq, e, em seguida, foram acondicionadas.

As amostras foram primeiramente submetidas à pesagem e secas em uma estufa a 105 °C, a fim de obter amostras com 10 e 15% de umidade. Uma das três amostras foi analisada como da coleta. Todas foram, então, pesadas, separadas igualmente e devidamente identificadas.

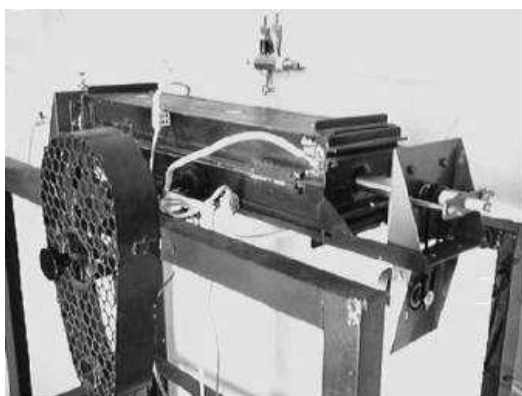


Figura 2 – Protótipo do reator de leito fixo utilizado no experimento.

Figure 2 – Prototype of the fixed bed reactor used in the experiment.

Foram realizadas a montagem e a limpeza do sistema de reator de leito fixo (Figura 2).

As reações foram realizadas em um protótipo de reator de leito fixo (FONTES, 2003), na Unidade Experimental do Laboratório de Termodinâmica e Reatores da UFRN/CT/NT, com o objetivo de simular a reação de pirólise lenta. Este experimento contou, também, com controlador de temperatura; distribuidor de gases, para ativação; borbulhador, para recuperação de co-produtos; e válvulas de segurança.

Para reação foram utilizadas três barquinhas metálicas, onde foram dispostos cerca de 5 g de material em cada. A introdução das amostras foi feita com equipamento auxiliar, sendo essas colocadas na parte mais quente do reator, a fim de garantir uma taxa de aquecimento uniforme.

Deu-se início à reação, ativando-se o programa de temperatura do controlador, sendo os parâmetros tempo de reação e taxa de aquecimento definidos previamente. Foi efetuado um pré-aquecimento até 160 °C (CASTOR, 1985).

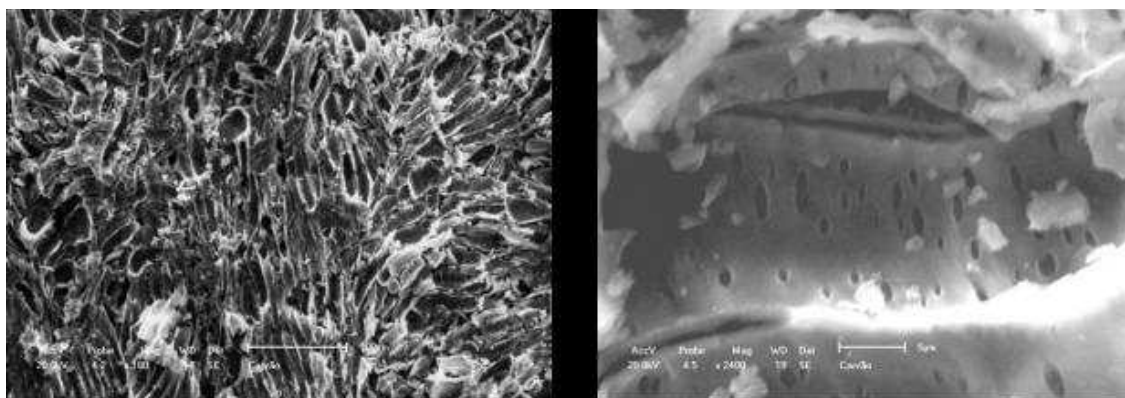


Figura 3 – À esquerda, distribuição de poros no C. A., MEV, 180, e à direita, superfície porosa do C.A. Distribuição de poros, MEV, 2400x.

Figure 3 – Pore distribution in C.A.MEV, 180, (on the left) and C.A. porous surface (on the right). Pore distribution, MEV, 2400x.

Ao fim do processo, o material sintetizado foi retirado, para análise no Centro de Tecnologia do Gás – Ctgás/RN, onde foram realizados ensaios de MEV (Figura 3).

5 RESULTADOS

O sistema de pirólise lenta demonstrou rendimentos superiores, em média 40%, aos dos métodos convencionais de queima, onde se trabalhou com temperaturas abaixo do comumente empregado e taxa de aquecimento baixa, sendo possível a ativação, o que representa a diminuição de custos. Foram feitas análises em MEV (Figura 3).

A simulação da reação de pirólise lenta foi feita no reator de leito fixo, sendo possíveis o controle da atmosfera e a recuperação de co-produtos por meio de alto valor agregado.

O sistema de pirólise lenta demonstrou rendimentos superiores aos dos métodos convencionais de queima, onde se trabalhou com temperaturas abaixo das comumente empregadas e com taxa de aquecimento baixa (CASTOR, 1985), sendo possível a ativação, o que representa a diminuição de custos (Quadro 2).

Quadro 2 – Resultados de parâmetros econômicos para unidade de produção industrial de carvão ativado -1 t por dia

Table 2 – Economic parameter results for the industrial production of activated charcoal – 1 ton per day

Parâmetro Econômico	Valor
Investimento (R\$)	99.954,58
Preço produto (R\$ kg ⁻¹)	5,00
Receita (Anual)	1.560.000,00
Custo (Anual)	445.016,46
Custo do processo (R\$ kg ⁻¹)	1,43
Lucro bruto (Anual)	1.114.983,54
Tempo de retorno (Anos)	0,09
Taxa de retorno (%)	11,15

6 CONCLUSÕES

O projeto de sistema integrado proposto permite a valorização da biomassa residual do coco, até então desperdiçada ou explorada de forma ineficiente, a partir de processo de pirólise com rendimentos de C. A. superiores a 70%, permitindo também a recuperação de gás e co-produtos.

Uma das alternativas viáveis para maximizar o processo de carbonização seria a utilização de co-produtos (gases) no próprio processo, para suprir a demanda energética do sistema. A valorização de “subprodutos” e a redução de emissões foram conseguidas, com base na síntese de processos que usam inovações. Sob efeito da baixa temperatura, foi possível obter um C. A. com tamanho de poro de 5µm o que garante ao material elevada área superficial dando qualidade ao produto sintetizado com maior eficiência energética.

O sistema que envolver a inovação em usar simulação de bioprocessos (SPD vs 4.9) industriais modernos, nos setores de energia e meio ambiente, favorece a ampliação de pequena para grande escala, com objetivo econômico e produção mais limpa.

7 AGRADECIMENTO

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq, à UFRN/GPEC/PPGEQ/DEQ/CT, ao Laboratório de Termodinâmica e Reatores e ao Laboratório de Ensaios de Materiais - CTGás-RN.

REFERÊNCIAS

PRASAD, S. B. Modeling charcoal production system fired by the exhaust of diesel engine. Physics Department, School of Pure and Applied Sciences, University of South Pacific, Elsevier Science, p. 1535-1546, 1996. (Energy Conver, 37).

- PATIL, K. N.; RAMANAP. V.; SING, R. N. Performance evaluation of natural draff based agricultural residues charcoal system. In: **Biomass and bioenergy**. Lecturer at Sardar Vallabhai Patel Institute of Technology, Elsevier Science, 2000, v.18, p. 161-173.
- FONTES, F. A. **Protótipo de reator de cilindro rotativo para obtenção de nbc**: cinética e desempenho da redução e carbonetação. 2003. f. 156. Tese de Doutorado em Engenharia e Ciência dos Materiais – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2003.
- NETO, Q. A. C. **Análise do processo de adsorção de água do gás natural com desenvolvimento de um sistema de calibração**. 2002. f. 135. Dissertação de Mestrado em Química – Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 2002.
- CASTOR, J. P. A. **Modelos para aproveitamento técnico-econômico do endocarpo do coco-da-baía**. 1985. f. 264. Tese de Doutorado em Engenharia Florestal – Universidade de São Paulo São Paulo, 1985.
- INDÚSTRIAS QUÍMICAS CARBOMAFRAS. A. Paraná: 2004. (Informe Técnico)
- EMPARN. Novembro, 2000. (Informe Técnico).
- SANTIAGO, B. H. S.; PANNIRSELVAM, P. V.; MARINHO, J. N. Conservação e cogeração de energia com produção de biocombustíveis derivados da lenha. In: AGRENER, 4., 2002, Campinas. Campinas: Unicamp/Nipe, 2002. p. 35-36.
- SANTIAGO, B. H. S.; PANNIRSELVAM, P. V. Estudo comparativo do uso do processo de pirólise e gaseificação para integração energética no ambiente rural na agroindústria do coco. In: BIENNIAL INTERNATIONAL WORKSHOP ADVANCES IN ENERGY STUDIES, 4., 2004, Ribeirão Preto. **Biennial...** Ribeirão Preto: 2004. p. 24.
- PANNIRSELVAM, P. V. et al. Process, cost modeling and simulation for integrated project development of biomass for fuel and protein. **Journal of Scientific and Industrial Research**, v. 57, p. 567-574, 1998.
- ROJAS, L. O. A. et al. Estudo de materiais adsorventes para o armazenamento de gás natural veicular. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE PETRÓLEO E GÁS, 2., 2003, Rio de Janeiro. **Anais...** Rio de Janeiro: UFRJ, 2003. p. 54.
- JAGUARIBE, et al. Carvão ativado obtido do bagaço de cana-de-açúcar por ativação com vapor d'água. In: CBCIEMAT, 15., 2004. **Anais...** Natal: UFRN, 2004. p. 53.