

# **SISTEMA INTEGRADO DE GERAÇÃO DE ENERGIA ALTERNATIVA PARA AGROINDÚSTRIA DE FRUTA E PEIXE USANDO TECNOLOGIA LIMPA**

Pannir Selvam, P. V<sup>1</sup>  
Santiago, B. H. S<sup>2</sup>  
Bayer, M.<sup>3</sup> e Queiroz, W.F.<sup>4</sup>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Professor Ph.D em Engenharia Ambiental<sup>1</sup>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte - Graduando em Engenharia de Materiais<sup>2</sup>

Centro Tecnológico do Gás - CTGás - Engenheiro Químico<sup>3</sup>

Universidade Federal do Rio Grande do Norte – Engenheiro Mecânico<sup>4</sup>

Grupo de Pesquisa em Engenharia de Custos e Processos – GPEC  
Campus Universitário – Lagoa Nova, CEP:59.072.970 FONE: (084)  
215-3769 R-30 FAX: (084) 215-3770  
e-mail: bunnohenrique@yahoo.com.br<sup>1</sup>  
www.ufrnet.br/biocombustiveis

**RESUMO:** No presente trabalho busca-se o estudo de reaproveitamento dos resíduos de biomassa vegetal para beneficiamento em comunidades rurais, em especial nas micro-usinas ligadas ao agronegócio aplicando o conceito de produção mais limpa e buscando inovação tecnológica e de baixo custo. Desenvolve-se neste trabalho estudo e otimização de processos para produção de energia e co-produtos utilizando-se síntese e análise de projetos sendo o resíduo de biomassa processado em reator de pirólise para produção de carvão, gás e bioóleo. Esse gás irá beneficiar a micro-usina já que o mesmo será utilizado para a secagem, processos de defumação, e beneficiamentos em geral. O projeto iniciou-se com uma pesquisa bibliográfica para verificação, estudo e seleção de tecnologias já existentes e equipamentos envolvidos. Iniciou-se a simulação de processos através do Software Super Pro Design 4.9 para termos a confirmação dos estudos feitos através de revisão bibliográfica. Estão em fase de desenvolvimento as simulações no Software Orçamento 2004, programa desenvolvido pela nossa base de pesquisa, para a análise de viabilidade econômica aplicada ao ambiente rural. Foram criados dois cenários, onde um utilizou o sistema convencional de reaproveitamento do coco e o outro com a nossa inovação em estudo, que utiliza o resíduo de caju tendo em vista a grande produção do fruto no Estado e região Nordeste. Considerando a viabilidade desse processo pretende-se aplicar essa tecnologia em comunidades rurais como Bebida Velha, Parazinho, Serra do Mel e Pureza, todos municípios do RN, proporcionando-os uma fonte energética de ampla utilidade, resultantes do processo, trazendo inúmeros benefícios à população como diminuição de problemas de energia e melhoramento nos aspectos ambientais.

**PALAVRAS-CHAVES:** Bioenergia, Engenharia Ecológica, Resíduos e Tecnologia Limpa.

**ABSTRACT** - In the present work the study of again exploitation of the residues of vegetal biomass for improvement in agricultural communities searches, in special in agrobusiness micron-plant applying the concept of cleaner production and searching technological innovation and of low cost. One develops in this work study and optimized of bioprocesses for energy production and co-products using itself synthesis and analysis of projects. Where the biomass residue is processed in reactor of pyrolysis for coal production, gas and biooil. This gas will go to benefit the micron-plant since the same it will be used for the drying, processes of smoking, and improvements in general. The project was initiated with a bibliographical research for verification, study and involved election of existing technologies already and equipment. It was initiated a simulation of bioprocess through

the Super Software Pro Design 4.9 for term the confirmation of the study make through bibliographical revision. They are in phase of developments the simulations in Software Orc2004 developed by our base of research with validation of the economic viability for agricultural environment. Two scenes had been created, where one used the conventional system of again exploitation of the coconut and the other with our innovation in study that uses the cashew residue in view of the great production in the State and Northeast region. Considering the viability of this process it is intended to apply this technology in agricultural communities as Bebida Velha, Parazinho, Serra do Mel and Pureza, cities of the RN, providing them an energy source of ample utility, resultants of the process, bringing innumerable benefits to the population as reduction of energy problems and improvement in the ambient aspects.

KEYS - WORDS - Bioenergy, Ecological Engineering, Residues and Clean Technology.

## 1. INTRODUÇÃO

Cerca de 38% da energia consumida no Rio Grande do Norte é derivada de biomassa da lenha, fato comum em quase todos os estados da região Nordeste o que é um percentual significativamente positivo frente a atual crise energética. No entanto, o crescimento dos setores de produção de cerâmica e agroindústrias de frutas tropicais nessa região, por requererem elevada quantidade de energia, envolve problemas de desmatamento e desertificação para obtenção da mesma, o que prejudica as condições ambientais. A queima da lenha como fonte alternativa de energia consiste numa sub-utilização dos recursos energéticos disponíveis no Estado, pois apresenta uma baixa eficiência energética e é uma forma predatória de produção.

As pesquisas na área de bioenergia e engenharia ambiental têm alta relevância para o país, pois se estima que cerca de 440 milhões de toneladas de resíduos e subprodutos agro-industriais, agrícolas e animais são gerados anualmente no país. Mas apenas uma pequena fração destes, em torno de 5 a 8%, é bem aproveitada no Brasil, enquanto esse aproveitamento chega a 36% em outros países. O desenvolvimento de tecnologias alternativas pelo nosso grupo de pesquisa visa a utilização adequada destes recursos naturais, buscando soluções inovadoras, envolvendo menor risco, através de pesquisas aplicadas, com viabilidade econômica e ecológica buscando a aplicação prática destes recursos. O Brasil como um todo tem enfrentado problemas no que se refere à geração de energia elétrica para suprir a demanda. Esta carência é comum principalmente na área rural, devido, entre outros, aos custos de implantação de redes de transmissão de energia elétrica.

A cogeração de energia é muito difundida em outros países. No entanto, seu desempenho em pequena escala é pouco conhecido e documentado. Porém, acontece o contrário com bioconversão e termoconversão, pois é difundida apenas em pequena escala e pouco aplicada em escala industrial no Brasil.

A problemática atual reinante no país é a crise energética, onde apenas 18% das propriedades rurais do Brasil dispõem de energia elétrica, das quais 4% no Nordeste e 1% no Norte. Além da falta de energia para produção de alimentos, existe um acentuado desperdício de recursos naturais de biomassa residual no Nordeste e no país. Nosso projeto de sistema integrado de produção proposto neste trabalho consiste na produção de energia de forma sustentável, baseado no alto valor agregado de seus "sub-produtos".

Assim, o projeto proposto tenta buscar inovação para reduzir os riscos dos projetos de valorização da biomassa, possibilitando a capacitação tecnológica nas áreas de simulação industrial computadorizada e na área de engenharia ambiental, onde há carência de recursos humanos no país, além de contribuir na inovação que consiste, em desenho novos, baseado em processos industriais, nos setores de energia e meio ambiente voltados para a pequena e média escala.

## 2. OBJETIVOS

Avaliar os parâmetros operacionais de consumo energético em empresas e indústrias, buscando soluções de sistema térmicos, econômicos e ecologicamente corretos (T + L), aliado a um estudo de viabilidade técnica e econômica com base no aproveitamento de resíduos sólidos (biomassa).

Desenvolvimento de um sistema de aproveitamento de biomassa residual usando termoconversão no que se refere a desenhos inovadores e construção de equipamentos para produção de carvão, bioóleo, gás e energia térmica.

Analisar as alternativas na redução da emissão de gases buscando a valorização do bioproduto derivado de biomassa como: bioóleo e gás bem como melhoramento energético, com recuperação de energia térmica.

## 3. METODOLOGIA DE DESENVOLVIMENTO DE PROJETO

### 3.1 Levantamento Bibliográfico e Coleta de Dados

Foram realizados levantamentos bibliográficos sobre o estudo da arte atual do agronegócio de frutas e peixe, local, a respeito de diversos processos, produtos e matérias-primas, matriz energética, equipamentos via Internet, Communt, livros didáticos, teses e trabalhos publicados, Cd Rom e revista.

Diante da escassez de informações, de dados termodinâmicos e de custos de equipamentos efetuou-se um levantamento item a item das principais etapas de processos.

Foram realizados balanços de massa e energia usando simulador Super Pro Designer vs 4.9, proporcionando a obtenção das informações referentes à emissão de poluentes, produtos e co-produtos produzidos, no intuito de melhorar o rendimento energético e minimizar emissões para o meio ambiente com objetivo econômico.

### 3.2 Desenvolvimento de Sistemas de Termoconversão

Estudos foram iniciados para atender a demanda de energia elétrica e térmica de indústrias de frutas e peixe, foram usados neste caso, três alternativas/cenários estudados em detalhes. Desenvolveu-se um estudo comparativo ver Tabela 01, através de cenários, para o aproveitamento da biomassa residual do coco e caju, usando métodos inovadores de análise e síntese de processos adequando-os a pequena e média escala e de baixo custo.

Cenário 1 – Sistema de gaseificação direta (Carioca, 1990.);

Cenário 2 – Sistema de pirólise “flash” ou rápida (Sistema inovador UFRN/GPEC);

Cenário 3 – Sistema de convencional de carbonização (pirólise lenta).

O cenário 1 trata-se do processo de gaseificação que consiste na geração de gases pobres a partir da queima do carvão vegetal. Este processo requer um monitoramento da temperatura do reator e uma unidade de purificação dos gases tendo em vista a geração de fuligem o que pode acarretar problemas com o motor; Através da pirólise “rápida” (cenário 2) o desempenho térmico é otimizado, sendo os rendimentos de 25% de carvão e 40% de gases. A garantia da temperatura, de 450°C, é proporcionada pelos próprios gases gerados. A recuperação de frações de bioóleo garantir um melhor desempenho por Kg/biomassa. Os gases, denominados “pobres” (CO, H<sub>2</sub> e CH<sub>4</sub>), representam em média 40% da mistura, estes alcançam temperatura em torno de 60-80°C, possíveis de ser aproveitados em sistemas de secagem e defumação de alimentos bem como serem queimados em sistemas de combustão; A terceira opção em estudo apresenta baixa eficiência energética (75%), pois consiste na queima incompleta de biomassa residual em sistema convencional/rudimentar, além de requerer grande quantidade de ar. Os rendimentos são de cerca de 18-25% de carvão. Parte da energia térmica é eliminada pela emissão de gases, principalmente CO<sup>2</sup>.

Tabela 01 – Estudo de casos para processamento de 1t/dia.

<b>Parâmetros</b>	<b>C1</b>	<b>C2</b>	<b>C3</b>
<b>Sistema de produção de carvão</b>	controlado	controlado	controlado
<b>Rendimento de carvão (%)</b>	30*	25	25
<b>Rendimento de bioóleo (%)</b>	-	35	-
<b>Rendimento gás (%)</b>	~60	40	-
<b>Eficiência energética global (%)</b>	50	65	~ 45
<b>Co-produtos</b>	Sólido (cinzas)	Líquidos e sólidos	-

### 3.3 Desenvolvimento de Metodologias para Modelagem Computacional

Foram estudadas as modelagens dos processos, para os cenários em estudo, através de análise comparativa, avaliando assim a capacidade energética de cada sistema com a aplicação de fontes de energia alternativas para produção de energia tais como resíduos do coco e caju.

Através de simulação foi possível a elaboração de desenhos de equipamentos, tais como trocadores de calor, forno de pirólise de baixo custo, ciclone, etc.

### 3.4 Avaliação das Opções Tecnológicas do Sistema Desenhado

A partir do fluxograma de produção de agroindústria de fruta e peixe associados com o uso de biomassa residual do coco e caju foram feitas avaliações tanto do ponto de vista energético quanto impacto ambiental para um sistema de integração energética. Foi feito estudo através do software Super Pro Designer vs 4.9 para os diversos cenários (C1, C2 e C3) com o aproveitamento de biomassa residual do coco e caju. Os aspectos mais relevantes para escolha de um sistema de produção foram os rendimentos de produtos e co produtos (bioóleo e gás), e também custo benefício de produção para atender demanda energética (e térmica) de comunidades rurais.

### 3.5 Sistema Proposto

#### DESCRIÇÃO DO PROCESSO

O processo, GPECenergia, de pirólise ver Figura 01consiste nos seguintes processos:

1. Processo de pirólise em reator
2. Secagem
3. Sistema de recuperação de bioóleo
4. Sistema de combustão
5. Armazenagem de adubo líquido e água (quente)

#### Secagem

O processo de secagem consiste na utilização dos gases oriundos do reator de pirólise (1) a partir da diminuição da temperatura por meio da passagem em trocador de calor (ar-gás), bem como dos gases “pobres” que em sistema de combustão são queimados gerando assim outra fonte térmica (2). O processo foi simulado e otimizado com o auxílio de moderna ferramenta de software Super Pro Designer vs 4.9.

Os gases (1) são utilizados de maneira indireta na passagem destes pelo trocador de calor, a temperatura de 60-800°C, após a queima de parte dos gases (2) do processo em sistema de combustão. Estes gases gerados da queima, 40-600°C, são utilizados de maneira direta na secagem.

#### Reator de pirólise

O reator de pirólise é carregado com biomassa (resíduos) em base seca de 10-15% de umidade. A operação de queima, da biomassa, em reator de pirólise se processa a uma temperatura de cerca de 450 °C, onde a matéria orgânica é fracionada dando origem a frações líquida, gasosa e sólida. As proporções estão para o tempo de residência do material no reator devendo ser observados temperatura, oxigênio em excesso, água, etc. estes são determinantes para o desenvolvimento do processo.

Em geral, a queima da biomassa em reator de pirólise, o fator mais crítico é a manutenção da temperatura que requer um controle maior na operação, evitando assim a queima incompleta e/ou a geração de produtos indesejáveis conseqüentemente perdas para isso a queima de parte da biomassa em forno (queimador) garante uma temperatura constante. Além disto essa queima traduz esta biomassa enfiada em carvão.

#### Sistema de recuperação

A separação (ou recuperação) de bioóleo ocorre em duas partes: os gases passam, gases condensáveis e não-condensáveis, passam em trocador de calor alcançando temperatura de 2200C, sistema proposto faz com que na passagem em trocador de calor seja a troca óleo-gás ou gás-ar permite a obtenção de bioóleo a temperaturas em torno de 80-1100°C. A temperatura na recuperação de bioóleo requer bom controle caso contrário ocasiona a polimerização de compostos orgânicos. O sistema é flexível a utilização de trocadores do tipo água-gás, assim havendo a possibilidade de obtenção de água quente (800°C).

#### Sistema de combustão

Este modelo foi possível a partir de simulação, onde os gases não-condensáveis ao final do processo são utilizados em sistema de combustão (queima). Devido a elevada temperatura em que se acontece os gases (GNC) se faz necessário a utilização de ar para diminuição da temperatura, favorecendo a queima, cerca de 450C.

O gases de queima, parte é utilizada no secador e outra é destinada para o reator afim de garantir melhor desempenho no processo de queima (termoconversão), bem como do sistema integrado.

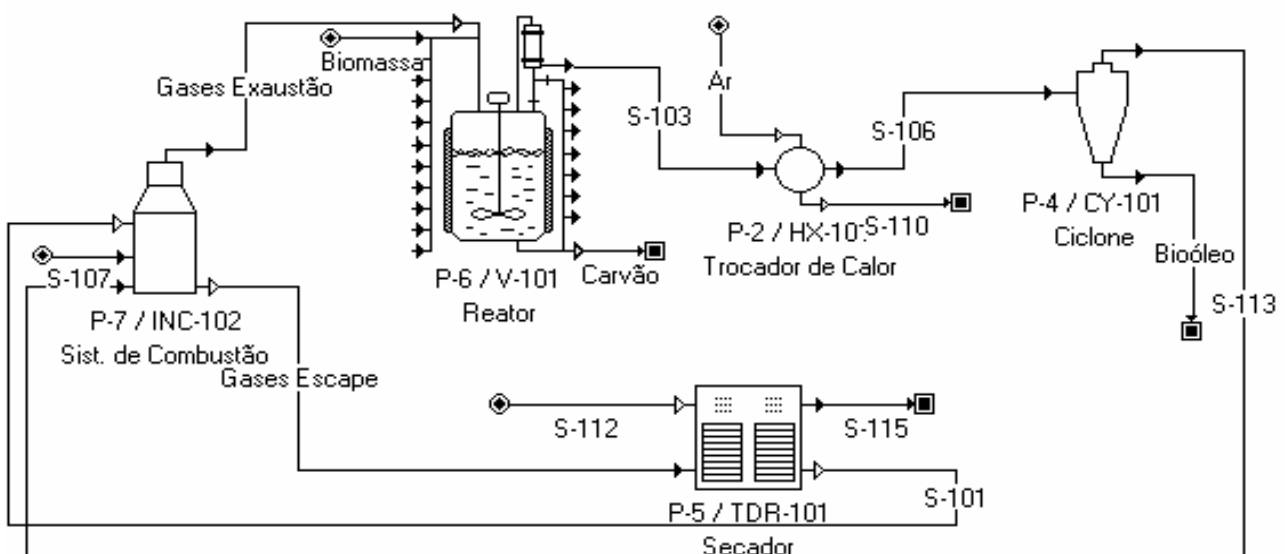


Figura 01 - Processo GPECenergia de sistema integrado para agroindústria.

### 3.6 Simulação de Risco Tecno-Financeiro e Otimização de Sistema de Integração Global

Para a simulação econômica do projeto utilizou-se o Orc2004 por meio de “Projeto Fácil vs 1.0”, com software desenvolvido, pelo nosso Grupo de Pesquisa – GPEC, para calcular a viabilidade econômica do projeto proposto de engenharia.

Para desenvolvimento do projeto calculou o custo de operação variável, matéria-prima, mão-de-obra direta e indireta, equipamentos e máquinas, depreciação, seguros, etc, auxiliado por computador.

## 4. RESULTADOS

Os conhecimentos adquiridos foi possível elaborar um estudo de viabilidade técnica e econômica para produção de carvão, bioóleo, gás e recuperação de energia térmica visando à parceria com unidade de beneficiamento através de termoconversão dos resíduos usando reator debaixo custo, com separação de bioóleo (líquido de fumaça) e recuperação de energia térmica para processo de beneficiamento.

Através, do estudo do processo de pirólise rápida para fabricação de carvão, foi desenvolvido sistema com alto rendimento, esse resultados denotam a cogeração de energia, a partir da biomassa do coco e caju, e o uso desta na forma de sólidos, líquidos e gás em pequena escala para a região rural. A análise econômica mostrou que o sistema desenhado pode ser operado com um lucro tal, e ao alcance do pequeno e médio produtor tendo em vista o valor agregado dado aos diversos “sub-produtos” gerados.

## 5. CONCLUSÕES

Foram compilados informações em um banco de dados sobre biomassa residual mais abundante do Brasil e elaborados projetos. Trabalhos recentes comprovaram a viabilidade econômica desta biomassa sub utilizada no país para produção de energia e co-produtos.

A produção de bioóleo usando fumaça, assim como o uso de carvão tornou o custo de produção de energia na pequena empresa bastante atrativo de ponta de vista econômica e ecológico com o uso de tecnologia em desenvolvimento na nossa pesquisa. Este projeto tem aplicação prática para a área rural. O melhoramento no rendimento de produtividade no controle de poluição foi possível através de síntese de projeto auxiliado por computador caso fossem descartados em forma de voláteis (vapores e gases) para a atmosfera a poluição representaria cerca de 75% da biomassa.

## 6. AGRADECIMENTOS

Agradecemos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), PPGEQ/DEQ/CT e ao IEL/RN

## 7. REFRÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

CARIOCA, J. D. B. et al. **Biomassa: Fundamentos e Aplicações**, BNB, UFC, 1982.

CARIOCA, J. O. B., PANNIRSELVAM, P. V. et al, **Energy from Biomass**. Impact of Sciences on Society, p.148-305, 1988.

- CASTOR, J. P. A., **Modelos para Aproveitamento Técnico-Econômico do Endocarpo do Coco-da Baía**. Dissertação Doutorado, USP, São Paulo/SP, 1985.
- NGUYEN, Q. A., SADDLER, J. N. An **Integrated Model for the Technical and Economic Evaluation of an Enzymatic Biomass Conversion Process**. *Bioresource technology*, No. 35, p. 275-282, 1991.
- NOGUEIRA, L. A. H. & SANTOS, A.H.M. **A Viabilidade Econômica da Cogeração Industrial. Eletricidade Moderna**. São Paulo-SP, 16 (73): p. 19-20, 22-25, Jul., 1988.
- PANNIR SELVAM, P.V. et. al., **Process, cost modeling and simulations for integrated project development of biomass for fuel and protein**, *Journal of scientific & industrial research*, vol. 57, Oct & Nov, Pp. 567-574. 1998.
- PATIL, K. N., RAMANA P. V. and SING, R. N. **“Performance Evaluation of Natural Draft Based Agricultural Residues Charcoal System”** In: Biomass and Bioenergy. v. 18, Lecturer at Sardar Vallabhbhai Patel Institute of Technology, Elsevier Science Ltda, pp. 161-173, 2000.
- PERRY, R. H. E CHINLTON, C. H. **“Manual de Engenharia Química”**. 5a ed, ED Guanabara Dois S/A, Rio de Janeiro, 1980.
- PRASAD, S. B. **“Modeling Charcoal Production System Fired by the Exhaust of Diesel Engine”** In: Energy Conver.v.37, Physics Department, School of Pure and Applied Sciences, University of South Pacific, Elsevier Science Ltd., pp. 1535-1546, 1996.
- REED, T. B., ANSELMO, E. and KERCHER, K. **“Testing and Modeling the Wood-Gas Turbo Estove”**. Progress in Thermochemical Biomass Conversion Conference, Tyrol, Austria, 17-22, Sept., 2000.
- YOKOYAMA, R. and ITO, K. **Optimal Operation planning of Cogeneration Systems With Thermal Storage by the Decomposition Method**. *Journal of Energy Resources Technology*. Vol.117, p.337-342. Japão, Dezembro 1995.
- WHITE, L. P. e PLASKETT. **Biomass as Fuel**. Academic Press, p.180, 1981.