

X-031 – GASEIFICAÇÃO DA CASCA DA CASTANHA DE CAJÚ: ESTUDO DE SISTEMA DE LIMPEZA E CONDICIONAMENTO DO GÁS DE SÍNTESE

André Luis Bastos Pombo⁽¹⁾

Estudante de Engenharia Ambiental

Eduardo Farias de Assunção⁽²⁾

Estudante de Engenharia Mecânica

Evandro de Menezes Araújo⁽³⁾

Engenheiro Eletrônico

Mona Lisa Moura de Oliveira⁽⁴⁾

Dra. em Engenharia Mecânica

João Batista Furlan Duarte⁽⁵⁾

Dr. em Física

Endereço: Núcleo de Tecnologia da Combustão (NTC) - Universidade de Fortaleza (UNIFOR), Av. Washington Soares, 1321, Edson Queiroz 60811-905 Fortaleza, CE - Brasil Caixa Postal 1258, Tel (85) 3477-3083 - e-mail: andrebastos16@hotmail.com

RESUMO

A gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas desenvolvidas para a conversão da biomassa residual, obtida a partir das atividades agrícolas, etc. As indústrias de beneficiamento da castanha de caju são grandes geradoras de resíduos sólidos, formados na sua maioria, pelas Cascas da Castanha de Caju (CCC). Portanto, o aproveitamento da CCC por meio da conversão térmica, pode representar uma solução para o atual problema ambiental de descarte deste resíduo agrícola (H. S. Couto et al, 2004). Em geral, a reação de combustão de biomassa fornece um produto gasoso, chamado de syngas (gás de síntese), composto basicamente de gases não condensáveis, tais como: CO₂, CO, H₂, CH₄. Algumas impurezas devem ser controladas nos processos de transformação da biomassa são elas: o alcatrão, as cinzas volantes, os resíduos carbonosos e os compostos nitrogenados (Figueiredo, R. A., 2011). Filtros de água, esferas de alumina inerte, carvão ativado entre outros são utilizados para a “limpeza” do syngas para assim diminuir sua carga poluidora, aumentar sua eficiência energética e posteriormente permitir seu uso em acionadores primários. Sendo assim, o presente trabalho vem relatar um estudo que está concentrado no sistema de limpeza a partir de filtros (e.g. alcatrão), retenção das cinzas do processo de gaseificação da CCC e monitoramento do gás de síntese antes e depois do sistema de limpeza, seguido do seu condicionamento. Os estudos realizados nesse trabalho resultaram não só a melhoria da qualidade do syngas e de seu poder calorífico como também da diminuição de sua carga poluidora.

PALAVRAS-CHAVE: Gaseificação, Casca da Castanha de Caju, Syngas, Sistema de Limpeza.

INTRODUÇÃO

A biomassa tem uma participação importante no balanço energético nacional do Brasil (Goldemberg, 2004). A gaseificação é um processo de conversão de combustíveis sólidos em gasosos, por meio de reações termoquímicas desenvolvidas para a conversão da biomassa residual obtida a partir das atividades agrícolas e florestais e das indústrias de transformação agro-alimentar e da madeira (Nogueira, 2000). As indústrias de beneficiamento da castanha de caju são grandes geradoras de resíduos sólidos, formados na sua maioria, pelas Cascas da Castanha de Caju (CCC). Portanto, o aproveitamento da CCC por meio da conversão térmica, pode representar uma solução para o atual problema ambiental de descarte deste resíduo agrícola (H. S. Couto et al, 2004).

Em geral, a reação de combustão de biomassa fornece um produto gasoso, chamado de syngas (gás de síntese), composto basicamente de gases não condensáveis, tais como: CO₂, CO, H₂, CH₄. Este gás pode ser utilizado como combustível para auto-abastecer diversos processos (Bridgwater & Peacocke, 2000). Basicamente, as principais impurezas que devem ser controladas nos processos de transformação da biomassa são: o alcatrão, as cinzas volantes, os resíduos carbonosos e os compostos nitrogenados (Figueiredo, R. A., 2011). As aplicações

posteriores do gás de síntese requerem da sua limpeza e condicionamento, evitando-se problemas nos processos no qual o syngas esteja participando (e.g. acionadores primários para produção de energia elétrica).

O principal desafio, para a limpeza do gás de síntese está na eficiência das etapas de remoção de particulados sólidos, particulados líquidos tipo o alcatrão e remoção da fase gasosa de compostos ácidos, amônia, entre outros (Natarajan, E et al, 1998). Da fase gasosa procedente da queima da CCC, é possível determinar, dentre outros gases, a concentração de SO₂, como também o poder calorífico do gás gerado e seus resultados comparados com outros tipos de biomassas. Portanto, o presente trabalho tem como objetivo estudar sistema de limpeza de gás de síntese produzido a partir da gaseificação da Casca da Castanha de Caju (CCC). O estudo está concentrado no sistema de limpeza a partir de filtro (e.g. alcatrão) e retenção das cinzas do processo de gaseificação da CCC e monitoramento do gás de síntese antes, seguido do seu condicionamento. Em suma, espera-se elucidar detalhadamente os gases procedentes da queima da biomassa (Casta da Castanha de Cajú), a fim de fornecer ferramentas no controle do processo de combustão e melhoramento do sistema de limpeza do gás.

METODOLOGIA

A gaseificação da casca da castanha de caju foi realizada em um reator de leito fluidizado em escala piloto no laboratório de combustão da Universidade de Fortaleza (UNIFOR). O gaseificador é construído com chapas de aço AISI-310 e possui três partes principais:

- A câmara de combustão - responsável pela queima da mistura ar-gás que fornecerá a energia necessária para o processo de gaseificação;
- O silo de armazenagem - conservação da **Erro! Fonte de referência não encontrada.CCC**;
- O reator - responsável pelo processo de gaseificação

O leito do reator foi preenchido com aproximadamente 12 kg de fase inerte (areia), com tamanho de partículas de 590µm, para favorecer a fluidização dos componentes. Entretanto, o processo de gaseificação está dividido em três fases: a gaseificação da CCC, o sistema de limpeza do syngas e o sistema de análise/aquisição de dados, tal como ilustrado na Figura 1.

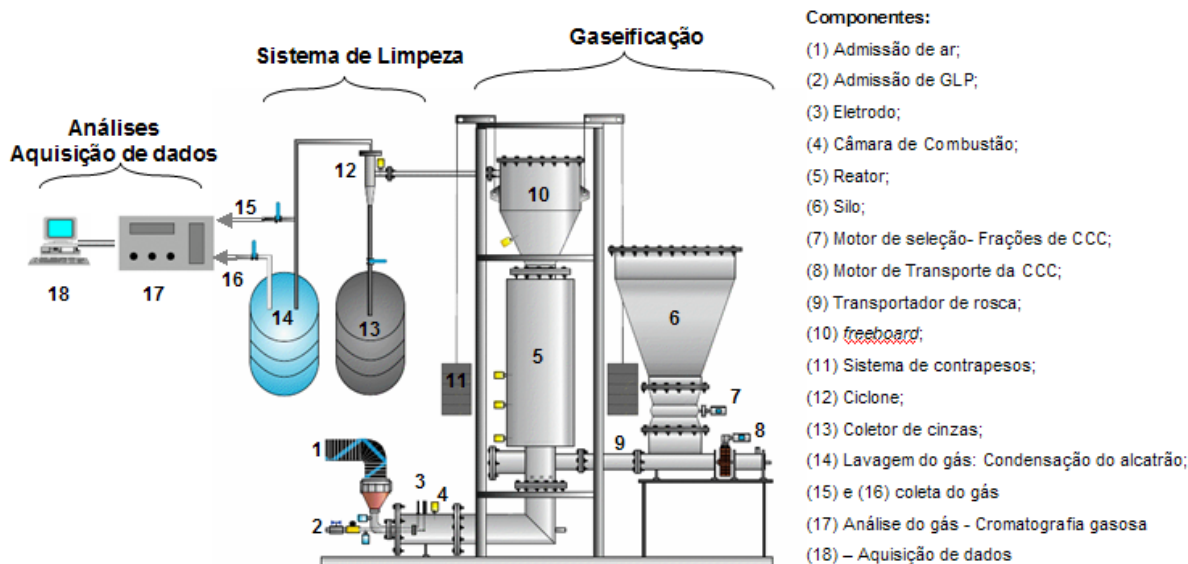


Figura 1. Sistema de Gaseificação da CCC

O sistema de limpeza do syngas é composto basicamente pela captura das cinzas e filtro para gás. O syngas produzido deve ser limpo antes de ser aplicado em sistema de geração de potência e deve atender a padrões de qualidade ambiental. Portanto, após a retirada das cinzas e alcatrão é necessário analisar o gás produzido.

Tal como ilustrado na Figura acima, no sistema de limpeza do gás de síntese encontram-se o ciclone (12), o coletor de cinzas (13) e o filtro de gás (14) para condensação do alcatrão. A coleta dos gases situa-se a saída do gaseificador e a saída do filtro. O ciclone foi utilizado para remoção de particulados (e.g cinzas, partículas de carvão). Foi realizado um condicionamento preliminar do gás quente através da passagem do produto bruto do gaseificador sobre um pequeno reator de leito fixo contendo alumina, nas condições de temperatura (saída dos gases a 200 °C) e pressão (0.1 bar) do gaseificador.

Durante o processos de gaseificação o gás foi monitorado (CO₂, O₂, NO_x e CO) através do analisador de gases portátil EUROTRON, modelo UniGas 3000, com resolução de 0,1% e faixa de 0 a 100% para (O₂, CO₂) e 0-5000 ppm (CO e NO_x). O gás foi coletado (“confinado”) em cilindros de 300 e 500 ml de aço inox, antes e depois do sistema de limpeza a ser analisado. As análises das amostras foram realizadas através do cromatógrafo gasoso (CG) VARIAN, modelo CP3800, equipado com coluna capilar do tipo CP-Sil 5 CB de 50mx0.50mm e com detectores FID (detecto de ionização de chamas), TCD (detector de condutividade térmica) e PFPD (fotométrico de chama pulsante). As análises de caracterização da biomassa foram realizadas no Laboratório de Combustíveis e Combustão da UNICAMP: Determinação das concentrações de C, H, O e N (analisador Perkin Elmer - Series II 2400) e análise imediata (EDX 700 – Shimadzu). A Tabela 1 apresenta os parâmetros operacionais do CG, na análise do syngas, utilizando como gás de arraste o Helio.

Tabela 1. Parâmetros do CG utilizado na determinação das espécies do gás síntese.

Parâmetros	Condições
Temperatura coluna (°C)	120
Temperatura do injetor (°C)	220
Temperatura Detector	250 °C
Pressão na coluna (psi)	1,5
Modo de injetor	modo split/split-splitless

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Caracterização da CCC

A caracterização da casca da castanha de caju foi realizada a fim de fornecer informações sobre as propriedades determinantes, particulares desta biomassa em sua aplicação. As análises de caracterização da biomassa foram realizadas no Laboratório de Combustíveis e Combustão da UNICAMP. A Tabela 2 apresenta os resultados (valores médios) das análises elementar, imediata e poder calorífico (base seca) da CCC em comparação com outras biomassas.

Tabela 2. Apresentam alguns resultados de caracterização da CCC.

Características	* Palha de arroz	* Bagaço de cana - de açúcar	* Casca de coco	Casca da castanha de caju
Análise imediata (wt.%)				
Umidade	13,6	16,1	11,3	9,40
Voláteis	76,8	79,6	85,4	79,6
Cinzas	9,54	4,3	3,4	1,23
Análise elementar (wt.%)				
Carbono	50,9	58,1	63,5	52,9
Hidrogênio	6,04	6,0	6,7	6,8
Nitrogênio	0,83	0,70	0,43	0,78
Oxigênio	41,6	34,6	28,3	39,4
Poder calorífico (MJ/kg)	16,35	18,6	22,8	22,5

* (Figueiredo, R. A, 2010).

De acordo com a tabela acima, nota-se a CCC possui alto teor de voláteis, baixo teor de cinzas e elevado poder calorífico, comparado com as biomassas, comprovando o seu potencial energético.

Gaseificação CCC

Durante o processo de gaseificação a base do leito do reator atingiu a temperatura de 1.100 °C, enquanto que no meio do reator essa temperatura foi reduzida à 700 °C. Portanto, observou-se uma perda significativa de calor na superfície da câmara de combustão por não haver um isolamento térmico adequado, influenciando diretamente na temperatura dentro do reator e, conseqüentemente, na qualidade do gás gerado.

A temperatura do gás de síntese à entrada do sistema de limpeza ficou em torno de 280 °C, devido a perda de calor já mencionado, favorecendo a condensação do LCC (Líquido de Castanha de Caju), um produto tóxico compostos de cadeia fenólica longa e insaturada (KUMAR et al., 2002).

Material Particulado (Cinzas)

Algumas partículas finas (e.g cinzas), derivadas do processo de combustão, ficaram retidas no ciclone. Esta formação de partícula está relacionada com a deposição de carbono (formação de coque), devido à geração de hidrocarbonetos e reação de craqueamento. O teor médio de cinzas observado foi inferior a 1,2 wt. % durante o processo de gaseificação. Vale ressaltar que pretende realizar análises mais detalhadas desse material, a fim de caracterizar e conhecer melhor este processo de combustão.

Análise do gás de síntese da gaseificação da CCC

O gás de síntese bruto foi analisado antes do sistema de limpeza, mediante o monitoramento do analisador de gases portátil UNIGAS 3000, a fim de determinar as concentrações brutas de algumas espécies, tais como NO_x/NO, CO₂ e CO. Nas Tabelas 3 e 4, apresentam as concentrações das espécies do gás de síntese gerado pela gaseificação da casca da castanha de caju, antes e depois do sistema de limpeza, respectivamente.

Tabela 3. Análise do gás de síntese bruto (antes do sistema de limpeza).

Espécies	Concentração
CO ₂	1000 ppm
CO	206 ppm
NO _x	732 ppm
SO _x	5 ppm

Tabela 4. Análise do gás de síntese (após do sistema de limpeza).

Espécies	Concentração
CO ₂	893ppm
CO	154 ppm
NO _x	120 ppm
SO _x	1 ppm

Observa-se um decréscimo nas concentrações das espécies gasosas no gás de síntese. Esta redução pode ser atribuída a absorção dessas espécies no filtro e condensação nas linhas, tais como SO_x, NO_x e CO₂, associada a redução da temperatura (e.g 42 °C). Estas concentrações mostram que a combustão da casca da castanha de caju.

Devido à formação de condensador de LCC não foi possível a análise desta corrente gasosa no cromatógrafo a gás antes do sistema de limpeza, contudo, após o filtro e o ciclone, o gás de síntese foi analisado. Portanto, a Tabela 4 apresenta a análise do gás de síntese derivado da gaseificação da CCC o sistema de limpeza. Esta análise foi realizada no cromatógrafo gasoso mediante a coleta da amostra após o sistema de limpeza (ciclone e filtro/condensadores). As espécies analisadas por cromatografia no *syngas* foram: H₂, N₂, O₂, CH₄, CO e CO₂.

Tabela 5. Composição do gás de síntese por cromatografia gasosa.

Espécies	Fração mássica (%)
H ₂	0,5536
N ₂	14,9670
O ₂	12,6722
CO	6,8253
CH ₄	14,5320
CO ₂	50,4496
H ₂ + CO + CH ₄	21,9110

Após o sistema de limpeza estudado, o gás de síntese gerado apresentou uma mistura gasosa com aproximadamente de 22% de H₂ + CO + CH₄. O baixo rendimento dos produtos de reação pode ser influenciado pela temperatura, taxa de aquecimento, tempo de permanência da biomassa e dos vapores, diâmetro das partículas, fluxo do gás, configuração do reator e quantidade de biomassa. Portanto, são observados maiores valores para CO₂/CH₄ e oxigênio/nitrogênio. Esta concentração pode está relacionada à redução da temperatura no topo do reator.

Os resultados do poder calorífico a partir da composição do gás foram levemente superiores aos resultados de outras biomassas encontradas na literatura. Em temperaturas mais baixas que 800 ° C, a concentração de H₂ é reduzida e há maior formação de CH₄ devido esta reações serem exotérmica e, portanto, consumir H₂ para formar CH₄ (~30%). A saída do filtro de algodão e condensador foi inserida um pequeno sistema de adsorção contendo em seu interior esfera de alumina no diâmetro de 1,0 mm. Contudo, foi observado um aumento na perda de carga, com isso pretende-se realizar tal procedimento em trabalhos futuros. Vale ressaltar que tal intervenção teve a finalidade de reduzir a concentração de CO₂ na corrente do gás de síntese. Na Tabela 5 encontram-se as concentrações da fração gasosa após este tratamento. Vale ressaltar que estudos ainda estão sendo realizados a fim de caracterizar o sistema de adsorção. Vale ressaltar que o processo de limpeza aumenta a perda de carga, sendo, portanto, necessário melhorar e eficiência do processo.

A partir da composição do gás e, levando em consideração sua concentração de metano, foi possível estimar algumas propriedades físicas utilizando o método ABNT NRB 1513 para gás natural (ver Tabela 2). O Poder Calorífico Inferior (PCI) do *syngas* derivado da Casca da castanha de caju é cerca de 20 MJ/kg. Neste trabalho, foi de 8.6548 MJ/kg. Esta diferença de PCI pode está atribuída a maior concentração de CO₂, reduzindo assim o poder de queima do combustível produzido. Isto demonstra que o processo ainda encontra-se em fase de ajuste, melhorando a eficiência do gaseificador, tanto no processo de combustão como nas eventuais perdas de temperatura. Para redução do CO₂ é possível implementar um sistema com solução de NaOH para absorção deste gás a fim de reduzi-lo da corrente gasosa, aumentando assim o poder de queima do *syngas*.

Tabela 2. Propriedades Físicas calculadas a partir da composição dos gases (syngas)

PCI	8.6548 MJ/kg
PCS	9.5769 MJ/kg
Índice de Wobbe	11.4627 MJ/m ³
Densidade	0.9731 kg/m ³

CONCLUSÕES

De acordo com os resultados obtidos, o gás de síntese produzido a partir da casca da castanha de caju possui um efetivo potencial energético, sendo a sua limpeza necessária para uso em sistemas térmicos. Verificou-se a necessidade de ajustes no processo em geral, a fim de diminuir as perdas de calor e de carga (devido ao sistema de filtro e decantação), aumentando o rendimento dos produtos de reação. Em se tratando do sistema de limpeza, pretende-se inserir, em trabalhos futuros, um sistema catalítico na chaminé para reduzir as emissões de NOx e SOx, usando um catalisador à base de ferro- alumina, carvão ativado e/ou zeólitas naturais.

AGRADECIMENTOS

Ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Tecnológico) e a FUNCAP (Fundação Nacional de Amparo a Pesquisa) pelo auxílio financeiro e cotas de bolsas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. SÁNCHEZ, C.G. Silva, E.L. "Biomass Fluidized Bed Gasification Research in the State University of Campinas" - Energy for Sustainable Development, p.31-34, vol. 1 n° 4 nov. 1994.
2. Bang-Moller, C.; Rokni, M. **Thermodynamic performance study of biomass gasification, solid oxide fuel cell and micro turbine hybrid systems**. Energy Conversion and Management 51, Páginas 2330-2339, 2010.
3. Kuprianov, Vladimir I.; et al. **Combustion and emission characteristics of a swirling fluidized-bed combustor burning moisturized rice husk**. Applied Energy 87, P 2899-2906, 2010
4. Mamphweli, Ntshengedzeni S.; Meyer, Edson L. **A biomass gasification project in the rural eastern cape. South african** Journal of Science 104. Africa do Sul, 2008.
5. Couto, H. S. Duarte J. B. F., Bastos-Netto D., Biomass Combustion Chamber for Cashew Nut Industry , The Seventh Asia-Pacific International Symposium on Combustion and Energy Utilization December 15-17, 2004, Hong Kong SAR.
6. BRIDGWATER, A. V.; PEACOCKE, G. V. C. Fast pyrolysis processes for biomass. Renewable & Sustainable Energy Reviews, 4(1), p. 1-73, 2000.
7. Figueiredo R. A., Caracterização e Classificação dos Efluentes Líquidos, Gasosos e Sólidos da Pirolise da Casca de Castanha de Caju , Tese de doutorado, Pós-Graduação da Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, (2011) S.P. – Brasil.
8. COURTEMANCHEA, B.; LEVENDIDISAF, Y. A laboratory study on the NO, NOx, SOx, CO and CO2 emissions from the combustion of pulverized coal, municipal waste plastics and tires. Fuel, vol. 77, p. 183 – 196, 1998.
9. NATARAJAN, E.; NORDIN, A.; RAO, A. N. Overview of combustion and gasification of rice husk in fluidized bed reactors. Biomass and Bioenergy, vol. 14, n.5/6, p. 533 – 546, 1998.
10. KUMAR, P.P.; Paramashivappa, P.J.; Vithayathil, P.J., Subra Rao, P.V.; Srinivasa Rao A. (2002) Process for isolation of cardanol from technical cashew (Anacardium occidentale.) nut shell liquid. J. Agric. Food Chem., 50, 4705-4708.