

CARACTERIZAÇÃO DE EMISSÕES EM SISTEMA DE GERAÇÃO ENERGÉTICA POR GASEIFICAÇÃO DE BIOMASSA APLICADA A COMUNIDADES ISOLADAS

Ricardo da Silva Ribeiro

Universidade de Brasília-UnB, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Energia e Ambiente, Brasília, DF, 70910-900.

ribeiro_enm@yahoo.com.br

Rafael Davidson Cova Lima

Universidade de Brasília-UnB, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Energia e Ambiente, Brasília, DF, 70910-900.

rfdavidson@unb.br

Carlos Alberto Gurgel Veras

Universidade de Brasília-UnB, Departamento de Engenharia Mecânica, Laboratório de Energia e Ambiente, Brasília, DF, 70910-900.

gurgel@unb.br

Resumo: *O objetivo desse trabalho é avaliar a utilização do gás de síntese, resultante do processo de gaseificação, para sua utilização em grupo gerador de 20kVa. O gás de síntese é uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, dióxido de carbono e nitrogênio, cujas proporções variam de acordo com as condições do processo. Os principais dados em estudo referem-se à porcentagem de substituição de Diesel e as emissões associadas a diferentes condições de carga impostas ao gerador. Também é avaliada a qualificação do reator quanto ao seu perfil de temperatura e conseqüente produção de gás.*

Palavras-chave: *Gaseificador Downdraft estratificado, Biomassa, Geração energética.*

1. INTRODUÇÃO

Diante ao cenário mundial de restrições ambientais decorrentes da queima de combustíveis fósseis não-renováveis e uma crescente necessidade energética, a qual o Brasil não se exclui, a geração de energia elétrica através da gaseificação de biomassa em leito fixo vem se mostrando uma promissora tecnologia para pequenas escalas.

Bridgwater (1995) destaca alguns tópicos favoráveis dessa tecnologia:

- Segurança de longo suprimento termo-energético;
- Ganhos ambientais por utilizar resíduos industriais e agrícolas;
- Contribui no controle do efeito estufa;
- Maior acessibilidade para comunidades isoladas;
- Possibilidades de desenvolvimento sócio-econômico.

Em contraponto a este cenário, temos o Brasil como o detentor de um dos maiores potenciais energéticos de biomassa mundial, com destaque para a região amazônica que, ao mesmo tempo, se mostra como a mais carente de recursos elétricos, como pode ser observado pelo Relatório anual do MEC apresentado na Tabela (1).

Tabela 1: Número de escolas com e sem eletrificação no Brasil (MEC, 1998).

Região	Escolas com energia de geradores	Escolas sem energia elétrica
Norte	1375	18776
Nordeste	968	43627
Centroeste	202	3207
Sudeste	486	5849
Sul	117	1774
Total	3148	73233

Como se pode observar, a gaseificação de biomassa vem se mostrando uma importante tecnologia para a comunidade científica. Este trabalho cobre vários aspectos da gaseificação com ênfase na investigação experimental.

2. CARACTERIZAÇÃO DA BIOMASSA

Pode-se entender a biomassa como sendo uma massa molecular formada por carboidratos, lipídios (óleos vegetais), proteínas, dentre outras substâncias. Essa massa é resultado de uma série de processos naturais o qual a energia luminosa proveniente do Sol é transformada e armazenada, via fotossíntese, em energia química sendo, assim, uma fonte de energia renovável.

Existem vários tipos diferentes de biomassa, porém podemos considerar sua composição média com sendo:

$$CH_{1,4}O_{0,6} \quad (1)$$

Há, atualmente, vários processos de transformação dessa energia química contida na biomassa em tipos de energia de mais fácil utilização. Podemos citar, por exemplo, a fermentação, a digestão, combustão, a pirólise e a gaseificação. Nosso trabalho se aterá a este último processo.

Gaseificação é um processo que converte biomassa em combustível gasoso que idealmente contém a energia originalmente presente na biomassa. Na prática, a gaseificação consegue converter 60% a 90% da energia da biomassa em energia no gás conforme *Reed e Das*, (1998).

Com a finalidade de se aumentar a eficiência energética da gaseificação faz-se necessário um conhecimento detalhado das características da biomassa utilizada como combustível. O presente trabalho tratará de uma espécie em particular: o Cedrinho (*Erismia uncinatum* Warm), onde as amostras possuem uma granulometria média de 23 mm em diâmetro por 30 mm de comprimento e cuja caracterização energética está apresentada na Tabela 2.

Tabela 2: Caracterização energética do cedrinho.

Teor de umidade em base seca média (%)	Teor de materiais voláteis (%)	Teor de carbono fixo (%)	Teor de cinzas (%)	Poder calorífico inferior (kcal/kg)	Densidade a granel (kg/m ³)
11,52	78,55	19,19	1,54	4553	295,02

3. PRINCIPIOS DO PROCESSO DE GASEIFICAÇÃO

3.1. Processos de Conversão Térmica da Biomassa

Podem estar ocorrendo um ou todos os seguintes processos de conversão térmica: Pirólise, Gaseificação e Combustão, onde de modo simplificado segundo a Tabela (3).

Tabela 3: Processos de Conversão Térmica.

Biomassa	+	Calor	=>	Carvão	(Pirólise)
Biomassa	+	Oxigênio	=>	Biogás	(Gaseificação)
Biomassa	+	Oxigênio	=>	Produtos da Combustão	(Combustão)

A pirólise é a quebra molecular do material pelo calor, pois quando a biomassa é aquecida na ausência de ar a aproximadamente 350 °C ocorre a formação de Carvão, gases (CO, CO₂, H₂, H₂O, CH₄) e vapores de alcatrão, que em temperaturas inferiores podem condensar-se formando fumaça composta de pequenas gotas de alcatrão.

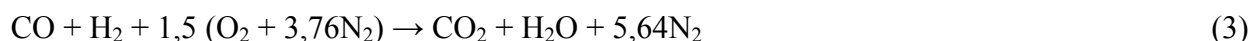
A chama fornece calor para que ocorra a pirólise, os gases e vapores resultantes deste fenômeno queimam na chama, depois da chama ultrapassar dado ponto o Carvão pode ou não continuar a queimar e quando o processo de queima é extinto a biomassa remanescente continua a sofrer pirólise residual produzindo fumaça devido a condensação do alcatrão.

As principais reações de oxidação que ocorrem na Gaseificação de Biomassa estão apresentadas abaixo:



Nesta reação, o hidrocarboneto é uma mistura de vários gases, que em conjunto são chamados de alcatrão.

O monóxido de carbono e o hidrogênio também são componentes importantes dos voláteis produzidos e sua oxidação homogênea é apresentada na Eq. (3).



O calor gerado devido a combustão dos gases provenientes da pirólise é essencial na próxima etapa da química de gaseificação, onde o coque formado pela degradação térmica da biomassa é fonte de carbono, que é convertido ao gás produzido. Considerando ausentes as reações primárias de pirólise do coque e o calor produzido sendo dado pela seguinte reação de oxidação:



Na gaseificação o objetivo principal é maximizar a produção de CO, H₂ e CH₄, constituintes do gás combustível produzido, as principais reações de redução são



Algumas reações de equilíbrio são importantes para a composição final do gás, dentre estas





A partir das equações de equilíbrio é possível estimar a composição média do gás produzido na gaseificação. A composição volumétrica típica para a gaseificação de biomassa e de carvão está apresentada na Tabela (4).

Tabela 4: Composição volumétrica do gás produzido pela Forest Industry Division (FID, 1986).

Elemento	Biomassa (vol. %)	Carvão (vol. %)
Nitrogênio - N	50 - 54	55 - 65
Monóxido de Carbono - CO	17 - 22	28 - 32
Dióxido de Carbono – CO ₂	9 - 15	1 - 3
Hidrogênio – H ₂	12 - 20	4 - 10
Metano – CH ₄	2 - 3	0 - 2

O gás produzido por meio do reator tipo *Downdraft* é o mais indicado para sistemas de geração de energia, principalmente para aqueles em que são utilizados motores de combustão interna, pois o gás produzido apresenta baixa concentração de alcatrão.

3.2. O Reator tipo *Downdraft*

No reator *Downdraft* o ar e o combustível fluem no mesmo sentido, de cima para baixo, e o gás é extraído na parte inferior, como mostra a Figura 1. Nesta configuração os voláteis passam necessariamente pela zona de redução sendo transformados em compostos de menor peso molecular eliminando até 99,9% do alcatrão liberado pelo combustível.

Como o ar introduzido no reator encontra primeiro a biomassa não queimada, a temperatura máxima ocorrerá na fase gasosa, na região de pirólise flamejante. O material sólido localizado logo acima da região de pirólise sofre um pré-aquecimento (zona de secagem) e secagem, principalmente pela troca de calor por radiação com a zona de pirólise flamejante. Materiais com umidade elevada apresentam dificuldades de aquecimento e secagem devido à evaporação da água contida no interior das partículas, que retarda ou impede a formação da região de pirólise, levando à formação de gases com alto teor de alcatrão. Este tipo de reator não opera adequadamente utilizando-se biomassa com umidade superior a 20%.

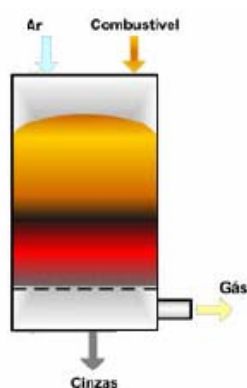


Figura 1: Reator *Downdraft*

Conforme a biomassa atinge uma determinada temperatura, superior a 200°C, combustíveis voláteis são liberados e sofrem oxidação em volta das partículas. Estas queimam de forma mais intensa devido às trocas de calor com a própria chama, até o esgotamento de toda matéria volátil, restando apenas uma pequena percentagem de carvão vegetal.

Os gases ricos e aquecidos desta região reagem com o carvão vegetal a uma temperatura média de 1000°C, produzindo, principalmente CO, CH₄ e H₂. Uma vez que as reações presentes nesta região são endotérmicas a temperatura do gás diminui. O processo de gaseificação se encerra quando a temperatura dos reagentes for relativamente baixa e/ou quando os agentes de gaseificação, principalmente CO₂ e H₂O forem consumidos. Cerca de 4 a 7% do carbono do combustível adicionado para o processo não são utilizados, sendo coletados pela grelha na forma de cinza.

4. METODOLOGIA

O sistema de gaseificação, apresentado na Figura 2, possui como elemento gaseificador um reator, tipo *Downdraft*, com diâmetro interno igual a 300mm e 1000mm de altura, instrumentado para a coleta do perfil de temperatura, utilizando-se termopares tipo K. O gás produzido é tratado, visando sua qualidade para utilização em motor de combustão interna. O tratamento é realizado por meio de ciclones e um lavador de gases. O sistema de gaseificação dispõe ainda de um cilindro reservatório de gás.



Figura 2: Sistema de Gaseificação.

Os ensaios foram realizados utilizando-se um motor diesel acionando um alternador auto regulado trifásico gerando eletricidade consumida por um bando de 9 resistências, cada uma de 2kW, as especificações do conjunto moto-gerador estão apresentadas na Tabela (5).

Tabela 5: Especificações do conjunto moto-gerador.

Motor		Gerador	
Potência (cv)	23,6/30,0 (1800/2600 rpm)	Potência (kVA)	20
Nº Cilindros	3	Tensão (V)	220 / 127
Taxa de Compressão	17,3 : 1	Frequência Nominal (Hz)	60
Cilindrada (cc)	1717		

5. RESULTADOS E CONCLUSÕES

Durante a operação do sistema de gaseificação foram coletadas temperaturas ao longo da coluna do mesmo, essas medições foram realizadas em pontos de coleta no reator, espaçados de 80mm, sendo o primeiro ponto localizado a 80mm da grelha do reator.

A zona de combustão apresentou um valor máximo de temperatura de 1350 °C, o que ocorreu a uma altura de aproximadamente 400mm em relação à grelha do reator. A ocorrência da zona de gaseificação apresentou-se principalmente entre as temperaturas de 831°C a 654°C, cabe-se ressaltar que para temperaturas abaixo de 700°C as reações de gaseificação são praticamente insignificantes. O perfil de temperatura do reator está apresentado na Figura 3.

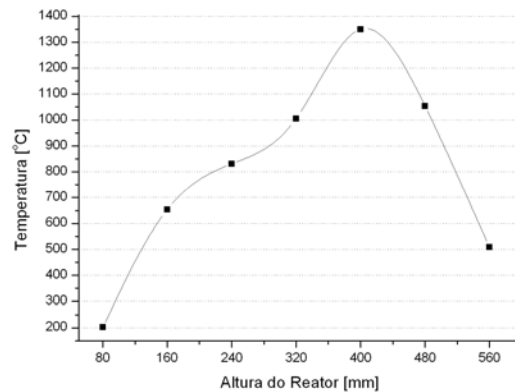


Figura 3: Perfil de Temperatura do Reator.

Os resultados mostram a análise de um grupo gerador de 20kVA operando com gás de síntese produzido pelo gaseificador de biomassa. . O motor Diesel foi ensaiado na sua concepção original, sem alteração do débito da bomba de combustível. As emissões geradas e a taxa de substituição de Diesel foram medidas para diversas cargas impostas ao gerador por meio de um banco de resistência.

A Figura 4 mostra a taxa de substituição do consumo de Diesel para a operação do grupo gerador utilizando apenas Diesel e no modo duplo combustível. O percentual de substituição varia entre 57% e 28% , sendo seu valor máximo atingido a uma solicitação de carga de 6 kW.

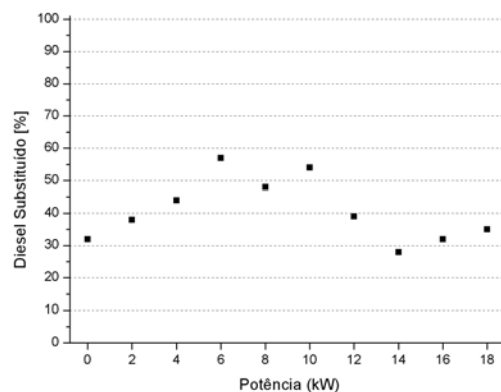


Figura 4: Percentual de Substituição de Diesel para o sistema utilizando gás de biomassa.

5.1 Emissões

A Figura 5 mostra que as emissões de NO_x associadas ao modo duplo combustível são em geral bem menores do que a do sistema utilizando apenas diesel. Já a mesma tendência não é observada na Figura 6 onde apresenta uma alta emissão do monóxido de carbono em todas as cargas ensaiadas. Segundo Hanaoka (2005) isto se deve principalmente a dois fatores, à composição do gás de síntese e à ocorrência de combustão incompleta.

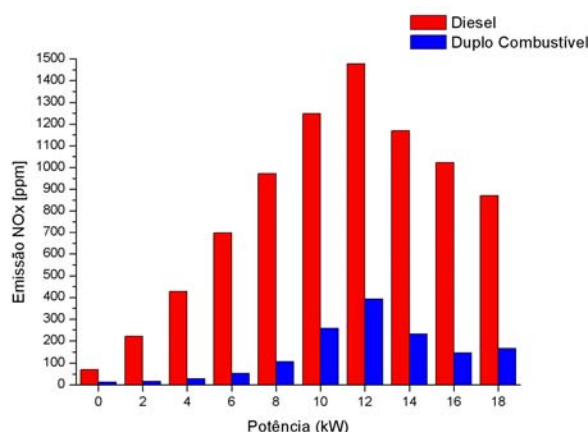


Figura 5: Comparação da emissão de NO_x para o motor Diesel com somente Diesel e no Duplo Combustível.

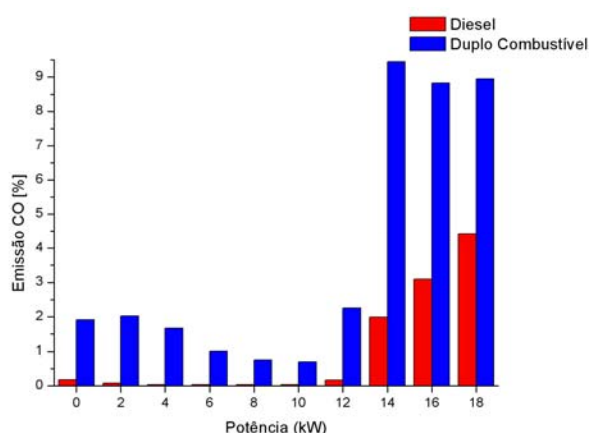


Figura 6: Comparação da emissão de CO para o motor Diesel com somente Diesel e no Duplo Combustível.

O sistema utilizando gás de biomassa apresentou um desempenho melhor relativo a diminuição de emissões de dióxido de carbono em altas cargas, nas faixas de operação acima de 14 kW, conforme a Figura 7. O mesmo ocorrendo com a análise dos hidrocarbonetos, Figura 8, que varia na faixa de carga de 10-12 kW.

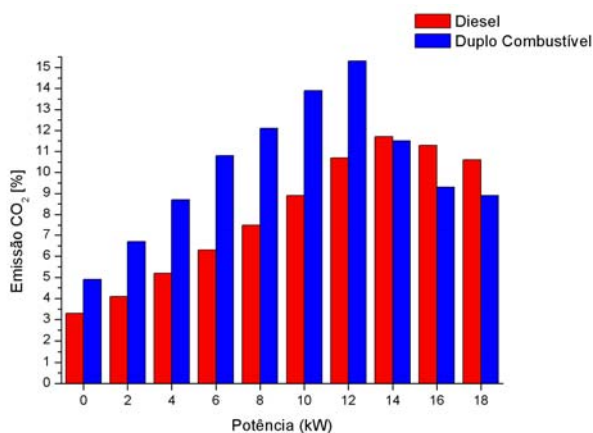


Figura 7. Comparação da emissão de CO_2 para o motor Diesel com somente Diesel e no Duplo Combustível.

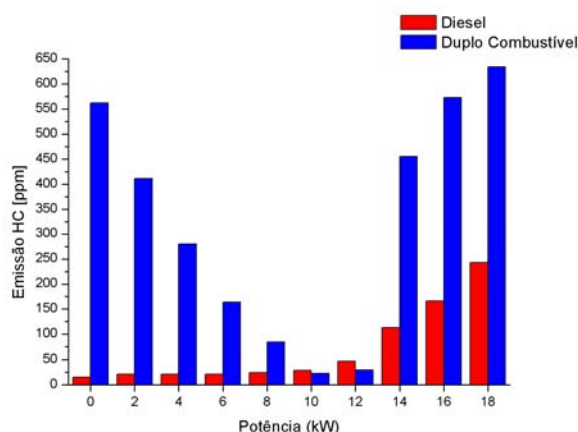


Figura 8. Comparação da emissão de Hidrocarbonetos para o motor Diesel com somente Diesel e no Duplo Combustível.

6. AGRADECIMENTOS

Os autores deste artigo agradecem a ELETRONORTE – Centrais Elétricas do Norte do Brasil, pelo incentivo por meio do Programa de Pesquisa e Desenvolvimento – P&D.

7. REFERÊNCIAS

- Brigwater, A.V., 1995, “The Technical and Economics Feasibility of Biomass Gasification for Power Generation”, *Fuel*, 74, 5, pp. 631-653
- Forest Industry Division, 1986, “Wood gas as engine fuel”, FAO Forestry Department.
- Hanaoka, T., Inoue, S., Uno, S., Ogi, T. and Minow, T., 2005, “Effect of Woody Biomass Componentes on Air-steam Gasification”, *Biomass and Bioenergy*, Vol. 28, pp. 69-76,
- REED, T.B., & DAS, A., 1988, “Handbook of biomass downdraft gasifier engine systems”, Biomass Energy Foundation Press, USA.
- Relatório Anual, 1998, Ministério da Educação e Cultura.

EMISSION CHARACTERISTICS FOR ENERGY GENERATION IN ISOLATED COMMUNITIES FROM BIOMASS GASIFICATION

Ricardo da Silva Ribeiro

University of Brasília, Mechanical Engineering Department, Energy and Environment Laboratory, Brasília, DF, 70910-900.

ribeiro_enm@yahoo.com.br

Rafael Davidson Cova Lima

University of Brasília, Mechanical Engineering Department, Energy and Environment Laboratory, Brasília, DF, 70910-900.

rfdavidson@unb.br

Carlos Alberto Gurgel Veras

University of Brasília, Mechanical Engineering Department, Energy and Environment Laboratory, Brasília, DF, 70910-900.

gurgel@unb.br

Abstract: *The goal of this work is to evaluate the producer gas use, resulted from the gasification process, for the operation of a 20kVa engine-alternator. The resultant gas is a mixture of CO, CO₂, hydrogen, methane and nitrogen, whose ratios vary with the process conditions. The main data in study it refers to the percentage of the Diesel substitution and the emission characteristics in different loads conditions imposed to the generator. The gasifier qualification related to its temperature profile and its gas production consequences is also evaluated.*

Keywords: *Downdraft Gasifier, Biomass, Energy Generation.*