

GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA

GASIFICATION OF LIGNOCELLULOSIC MATERIALS FOR GENERATION OF ELECTRIC ENERGY

Marina Donária Chaves Arantes¹ Lourival Marin Mendes² Giovanni Francisco Rabelo³
José Reinaldo Moreira da Silva⁴ Fábio Akira Mori⁵ Arthur Monteiro Barbosa⁶

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi construir um gaseificador contracorrente em alvenaria para avaliar o potencial de geração de energia elétrica de espécies de eucalipto cultivadas no estado de Minas Gerais, de resíduos da agroindústria e da mistura desses materiais. Determinaram-se a composição química imediata e o poder calorífico dos materiais utilizados. Experimentaram-se os diferentes materiais lignocelulósicos e a gasolina, como testemunha. Para os fatores testados, foram executadas medições dos rendimentos elétricos e de consumos dos materiais. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, com 17 tratamentos e três repetições e as análises estatísticas feitas a 5% de significância. Com base nos resultados obtidos e nas análises estatísticas realizadas, concluiu-se que o conjunto gaseificador-gerador é de fácil construção, fabricado com materiais de fácil aquisição e de custo reduzido; dentre os materiais avaliados o carvão da espécie *Corimbia citriodora*, com 78% de carbono fixo, apresentou o melhor desempenho de potência gerada, obtendo-se 1.391 watts, com tensão constante de 230 volts. Os resíduos utilizados de bagaço de cana, palha de arroz, casca de café, sabugo de milho e moinha de carvão não apresentaram potencial para geração de energia pelo tipo de gaseificador utilizado.

Palavras-chave: gaseificação; energia elétrica; carvão vegetal; resíduos.

ABSTRACT

The objective of this work was to build a countercurrent gasifier in hardened mortar to evaluate the potential of generating electrical energy of eucalyptus species grown in the state of Minas Gerais, from agroindustry residues and from the mixture of those materials. The immediate chemical composition and the heat power of the materials utilized were determined. The different lignocellulosic materials were experienced, and gas was used as the control. For the factors being tested, measurements of the electric yields and consumptions of the materials were performed. The statistical design was the completely randomized with seventeen treatments and three replicates done at 5% of significance. On the basis of the results obtained and on the statistical analyses performed, it follows that the gasifier-generator set is easy to build, made with easily purchased and low cost materials. Among the materials evaluated the coal of the species, *Corimbia citriodora*, with 78% of fixed carbon, presented the best performance of generated power, obtaining 1,391 watts, with a constant tension of 230 volts. The residues utilized of cane bagasse, rice straw, corn cob, coffee husk and coal chaff presented no potential to generate energy by the sort of gasifier utilized.

Keywords: gasification; electric power; plant coal; residues.

INTRODUÇÃO

A demanda crescente por energia de forma sustentável é um constante desafio. Uma das grandes preocupações mundiais está na busca por opções energéticas que possam substituir os combustíveis fósseis. De todas as opções, a mais utilizada tem sido a proveniente da biomassa. Por meio da gaseificação da

1. Engenheira Florestal, MSc., Acadêmica de Doutorado da Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). mdonariac@yahoo.com.br
2. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal, 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). lourival@ufla.br
3. Engenheiro Eletricista, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Engenharia Agrícola, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal, 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). giovannirabelo@yahoo.com.br.
4. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Adjunto do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal, 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG). jreinaldo @ufla.br
5. Engenheiro Florestal, Dr., Professor Associado do Departamento de Ciências Florestais, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal, 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG), morif@ufla.br.
6. Acadêmico de Engenharia Florestal, Universidade Federal de Lavras, Caixa Postal, 3037, CEP 37200-000, Lavras (MG).

biomassa é possível converter um material muito heterogêneo em combustível gasoso intermediário, que pode ser usado para calefação, aplicação em processos industriais, geração de eletricidade e produção de combustíveis líquidos. O gás produzido em gaseificadores é chamado de gás pobre, em razão de seu baixo poder calorífico, da ordem de 900 a 1.450 kcal/n. m³, em condições normais de temperatura e pressão (ASSUMPÇÃO, 1981, DIAS 1986 e SANTOS 1981).

A gaseificação é um processo de conversão termoquímica realizado a altas temperaturas. Ela envolve oxidação parcial dos elementos combustíveis de constituição da biomassa. Os gases produzidos na gaseificação possuem monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio, metano, nitrogênio e várias partículas de coque, cinzas, alcatrão e óleos, que são considerados contaminantes (ASSUMPÇÃO, 1981).

A produção de eletricidade por meio de gaseificadores de biomassa integrados a motores de combustão interna é uma tecnologia comercial para instalações de pequena capacidade. Há um grande potencial para essa opção nos países em desenvolvimento, especialmente em áreas isoladas onde a conexão com a rede elétrica não é possível ou é cara.

Um forte argumento a favor do gaseificador é o alto custo da energia no meio rural, o que tem prejudicado a lavoura irrigada e que pode vir a se transformar em grande entrave para o crescimento do setor no País.

A classificação dos processos e equipamentos de gaseificação são quanto à fonte de energia em relação à pressão de operação, tipo de leito no gaseificador e forma de descarga de cinzas. Quanto ao movimento relativo da corrente de gases versus corrente do combustível, os gaseificadores podem ser chamados de contracorrente, concorrente e transversal. Os gaseificadores de leito fixo podem ser classificados como de fluxo ascendente e descendente. Os gaseificadores de fluxo ascendente são mais antigos e mais simples. O gaseificador de fluxo ascendente se trata de um reator contracorrente. Neste, o combustível é introduzido na parte superior, por meio de um silo com válvulas de retenção e flui para baixo, por todo o reator, até uma grelha, da qual as cinzas são removidas (FAAJ *et al.*, 2005). Sua vantagem do ponto de vista térmico é absorver parte do calor sensível dos gases quentes produzidos na câmara de combustão pelo pré-aquecimento do combustível, que reduzem o excesso de umidade durante a permanência no reservatório. Este sentido de fluxo é também adequado para combustíveis contendo matéria volátil, isento de alcatrão, resinas e outros produtos destiláveis, que poderiam fixar-se sobre peças do motor, tais como tubo de admissão, sede de válvulas etc., causando distúrbios ao seu perfeito funcionamento e exigindo maior frequência de limpeza e manutenção (NASCIMENTO, 1991).

O meio de gaseificação, ar ou oxigênio e, possivelmente, vapor são introduzidos abaixo da grelha e flui para cima, por todo o reator. O gás produzido sai pela frente superior do gaseificador, após atravessar a carga de lenha ou carvão que desce em direção à zona de reação. Com a passagem desse gás quente, a madeira é submetida às fases de secagem e pirólise. A temperatura de saída do gás produzido está, geralmente, entre 80 e 100°C (FAAJ *et al.*, 2005). A quantidade de gás produzido na gaseificação contracorrente é de cerca de 2,2 a 2,4 Nm³ de gás por quilo de madeira seca, conforme Fontes (1981), citado por Nascimento (1991).

As vantagens do gaseificador contracorrente inclui o menor consumo de oxigênio nas reações de gaseificação, quando comparado aos outros tipos. Também pode utilizar combustível com maior umidade, pela secagem na zona superior, além de produzir gases mais frios, em virtude da troca de calor nas zonas de pirólise e desidratação. O funcionamento e as fases de um gaseificador contracorrente, encontram-se na Figura 1.

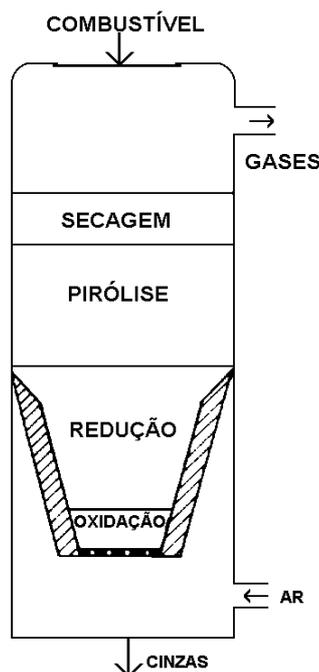


FIGURA 1: Esquema ilustrativo de um gaseificador contracorrente (Fonte: Assumpção, 1981).

FIGURE 1: Pictorial scheme of a countercurrent gasifier.

No processo de gaseificação da biomassa, existem alguns fatores que influenciam o equilíbrio de composição dos gases como a temperatura no interior do reator, pressão de operação, umidade relativa do ar de combustão, vapor d'água, teor de oxigênio, umidade do combustível, granulometria do combustível, densidade e teor de carbono fixo do material.

O objetivo geral do presente trabalho foi avaliar o potencial de geração de energia elétrica da gaseificação de materiais lignocelulósicos. Os objetivos específicos foram: construir um gaseificador contracorrente em alvenaria e avaliar o potencial de geração de energia a partir de diferentes combustíveis.

MATERIAL E MÉTODOS

O presente trabalho foi conduzido no Laboratório de Energia da Biomassa Florestal, do Departamento de Ciências Florestais, com apoio do Laboratório de Eletricidade e Automação do Departamento de Engenharia Agrícola, ambos da Universidade Federal de Lavras.

Os gaseificadores contracorrente utilizam somente materiais carbonizados, pois os produtos da pirólise não passam pela zona de oxidação, local que ocorre o seu craqueamento pelas altas temperaturas. Para a utilização dos resíduos agrícolas no processo de gaseificação os mesmos foram previamente carbonizados. Para isto utilizou-se um dispositivo em forma de "T" invertido, oco, de fácil construção, bastando apenas algumas chapas metálicas soldadas.

A carbonização da casca de arroz, palha de café, bagaço de cana, sabugo de milho e casca de coco foi realizada no pátio do viveiro de mudas do Departamento de Ciências Florestais, utilizando o dispositivo e os mesmos procedimentos empregados para carbonização da palha de arroz descritos por Maluf (1998).

O sistema utilizado foi composto de um conjunto gaseificador contracorrente de alvenaria, um motor e um gerador síncrono de corrente alternada de 220 volts e 5 kW de potência. Todo o sistema foi acoplado a um quadro de proteção e comando com regulador eletrônico de tensão (Figura 2).

O conjunto gaseificador foi construído seguindo-se o modelo descrito por Reis (1984), com algumas modificações. O conjunto foi composto de um gerador de gás, tipo contracorrente. E externamente apresentava o formato cilíndrico, com altura de 200 cm e diâmetro externo de 150 cm. Na base, ocorre um estreitamento de 25 cm de diâmetro e 50 cm de altura, e no topo outro estreitamento de 25 cm de diâmetro e 20 cm de altura. A estrutura interna é construída com tijolos comuns maciços, rejuntado com cimento. Após construir a base e as paredes de tijolos, colocou-se o cilindro externo de zinco grosso de 210 x 160 cm (comprimento e diâmetro). O espaço entre o cilindro e as paredes foi preenchido com argamassa mole, de

barro e areia, na proporção 2:1. Na base, do gaseificador encontram-se duas aberturas. A primeira foi utilizada para a limpeza periódica do reator, situada do lado oposto da abertura de acendimento, tendo as dimensões de 18 x 18 cm. A segunda abertura com 9,5 cm de diâmetro foi utilizada para o acendimento do carvão.

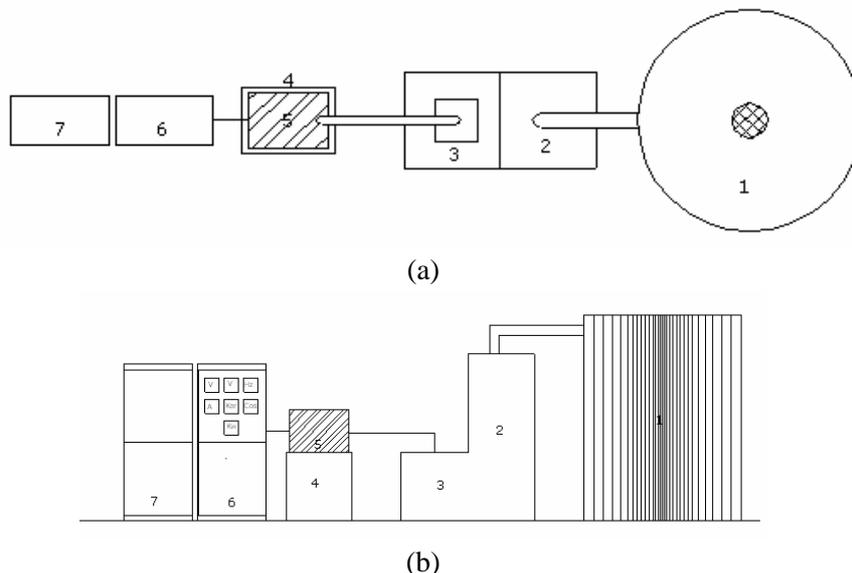


FIGURA 2: Conjunto gaseificador-gerador.(a) planta baixa do conjunto e (b) vista frontal do conjunto gaseificador-gerador. Em que: 1 – reator; 2 – depósito de gás; 3 – depósito do filtro; 4 – base para o motor; 5 – motor; 6 e 7 – quadro de comando e de cargas.

FIGURE 2: Gasifier-generator set. (a) floor plan of the set and (b) front view of the gasifier-generator set. In which: 1 – reactor; 2 – gas store; 3 – filter store; 4 – base for the engine; 5 – engine; 6 and 7 – control and load board.

O gaseificador possui duas aberturas na parte superior. Uma é situada no centro com tampa de metal, perfeitamente ajustada à abertura, de forma a evitar o vazamento de gás. Além disso, para melhorar a vedação, cobriu-se com areia a parte de cima do gaseificador, durante o período de trabalho do conjunto. A outra abertura é para a saída do gás; trata-se de um cano de zinco com 10 cm de diâmetro, ligeiramente inclinado para o lado do depósito de gás, para evitar acúmulo de água e a corrosão. Este transportava o gás obtido da queima dos materiais lignocelulósicos para o depósito.

O gás proveniente do gaseificador entrava pela parte superior de uma estrutura de alvenaria de 170 cm de altura e seção quadrada de 68 x 68 cm; por uma abertura lateral e inferior, o gás passa para o filtro, que se encontra acoplado a um de seus lados. O depósito dispõe também de uma abertura com tampa para limpeza, localizada no canto inferior.

É composto de depósito contendo um filtro de algodão. O depósito do filtro é uma construção de alvenaria ligada ao depósito de gás. Suas dimensões são 68 x 68 x 70 cm (Comprimento, largura e altura) e possui uma abertura na parte superior, usada para a colocação do filtro de algodão. Este possui dimensões de 30 x 30 cm, é feito com armação de madeira e recoberto com duas camadas de tecido de algodão. Toda a tubulação existente entre o filtro e o motor é de mangueira sanfonada de 5 cm de diâmetro. Com o filtro no lugar, veda-se bem a tampa com borracha esponjosa, para impedir o escapamento de gás.

Abertura de regulagem trata-se de uma válvula acoplada na base da tubulação entre o filtro e o motor que permite verificar a existência de gás no gaseificador, bem como regular a mistura gás-ar, necessária para o funcionamento do motor.

A ventoinha necessária no processo de acendimento do gaseificador, pois succionando o gás produzido faz com que o depósito de gás se encha com facilidade. A ventoinha é colocada ao lado do filtro de flanela, por uma abertura de 0,0001 m de diâmetro, com a função de succionar o ar para dentro do gaseificador. Após trinta minutos, a ventoinha é desligada e o orifício vedado para evitar vazamento de gás.

Acoplada à ventoinha, existe uma tubulação para eliminar toda a fumaça produzida durante este período para a parte exterior do recinto, por se tratar de um gás tóxico.

Foi utilizado um motor de combustão interna, originalmente movido a gasolina, de 1 cilindro e 5 CV de potência mecânica. O motor foi adaptado para funcionamento com gás pobre. Um gerador monofásico foi acoplado diretamente ao motor, por meio de seu eixo. O gerador possui tensões de saída de 220 volts entre fases e 127 volts entre fase e neutro. A rotação foi mantida em 1800 rpm. O motor possui um sistema automático para regulagem da aceleração.

Foram utilizados dois quadros. O primeiro denominado quadro de comando e o segundo de cargas. O quadro de comando foi usado para ligar e efetuar a regulagem automática da tensão. Esse possui um dispositivo de monitoramento da tensão gerada e da potência. O segundo quadro é composto de cargas resistivas puras, com 12 lâmpadas incandescentes de 150 watts ligadas em paralelo, formando um conjunto monofásico.

Foram utilizados materiais lignocelulósicos como combustível. Para perfeita caracterização desses materiais, eles foram analisados quanto à composição química imediata, poder calorífico e densidade do granel. A composição química imediata foi determinada de acordo com a Norma ASTM D.176.264 (1977). O poder calorífico, por meio de uma bomba calorimétrica adiabática, utilizando a Norma NBR 8633 (ABNT, 1983) e a densidade do granel pela Norma NBR 6922 (ABNT, 1981).

Para medir o consumo de carvão, antes do carregamento do gerador de gás para início do teste, pesava-se a massa referente a cada tratamento e colocava-se até 2/3 do volume do gaseificador. Ao fim do teste, fazia-se, novamente, a pesagem, com isso determinou-se a massa de carvão consumida, corrigida para uma hora.

A energia consumida pela carga foi mensurada por um medidor de energia ativa-padrão, utilizado pelas concessionárias de energia elétrica. Essa medida foi obtida diretamente em kWh. Em consequência da não-existência de cargas indutivas o medidor de fator de potência denominado de cosfímetro não foi usado. Também foi lida a corrente de carregamento do gerador e como a carga é resistiva, ou seja, o fator de potência é igual a 1, a potência ativa instantânea foi calculada conforme Equação 1.

$$P = V * I \quad (1)$$

Em que: P = Potência Ativa (Watts); V = Tensão de linha do sistema 220 volts; I = Corrente de linha (Amperes).

O delineamento estatístico utilizado foi o inteiramente casualizado, com dezessete tratamentos e três repetições. O teste de comparação múltipla empregado foi o teste de Scott-Knott a 5% de significância. Os tratamentos foram constituídos pelos diferentes materiais empregados como combustíveis primários, bem como a mistura em partes iguais deles, conforme Tabela 1.

Para o gaseificador ser colocado em operação e executar cada tratamento, adotaram-se alguns procedimentos básicos. Inicialmente o gerador de gás foi preenchido até 2/3 de seu volume com o material lignocelulósico do tratamento a ser realizado. A seguir a ventoinha foi ligada e uma chama colocada na centilha para acendimento do gaseificador. Após 30 min de ter sido iniciada a geração de gás, este foi testado com uma chama em uma ramificação do tubo de abastecimento do motor. Se a chama fosse apagada, indicava que o gás ainda não estava adequado. Contudo, se a chama fosse ampliada, mostrava que o gás se encontrava adequado para uso. Após constatar a boa qualidade do gás, o tubo foi acoplado ao motor. Então, a partida foi acionada, usando a gasolina e, aos poucos, a gasolina foi sendo substituída e o motor passava a funcionar somente com o gás proveniente do gaseificador. Após o motor entrar em ritmo normal de funcionamento, iniciaram-se as medições das cargas elétricas. Essas cargas foram colocadas em seqüência e feitas as leituras de corrente e de tensão. Como testemunha executou-se também teste com o motor funcionando somente com gasolina.

TABELA 1: Delineamento experimental utilizado.

TABLE 1: Experimental design utilized.

Tratamento	Materiais lignocelulósicos	Procedência
1	<i>Eucaliptus grandis</i>	Acesita Energética
2	<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	Acesita Energética
3	<i>Eucalyptus saligna</i>	Acesita Energética
4	<i>Eucalyptus urophylla</i>	Acesita Energética
5	<i>Eucalyptus cloeziana</i>	Acesita Energética
6	<i>Corimbia citriodora</i>	Acesita Energética
7	Mistura dos tratamentos de 1 a 6 = M1	Acesita Energética
8	Moinha de carvão de <i>Eucalyptus</i> spp.	Empresa Plantar
9	Resíduos de serraria (aparas, serragem)	Serraria/UFLA
10	Mistura dos tratamentos 8 e 9 = M2	Empresa Plantar, Serraria/UFLA
11	Sabugo de milho (<i>Zea mays</i>)	DAG /UFLA*
12	Casca de coco (<i>Cocos nucifera</i>)	Feirante/Lavras
13	Casca de arroz (<i>Oryzva sativa</i>)	Máquina Arroz/Lavras
14	Palha de café (<i>Coffea spp.</i>)	DAG/UFLA
15	Bagaço de cana-de-açúcar (<i>Saccharum spp</i>)	Cachaçaria Bocaína/Lavras
16	Mistura dos tratamentos 11 a 15 = M3	-
17	Mistura dos tratamentos 7,8,9,11,12,13,14,15 = M4	-

Em que: * = DAG-Departamento de Agricultura.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção do conjunto gaseificador foi simples, feito basicamente em alvenaria.

O dispositivo utilizado no processo de carbonização dos resíduos da agroindústria foi eficiente para alguns dos materiais testados. A casca de arroz e palha de café foram os materiais que melhor carbonizaram, em menor tempo, cerca de oito horas e melhor rendimento, aproximadamente 70%. O sabugo de milho apresentou tempo elevado de carbonização com 12 horas e baixo rendimento de 40%. O bagaço de cana-de-açúcar apresentou um tempo baixo de carbonização, no entanto com rendimento, de 10% em média, inviabilizando a sua utilização. A casca de coco não se mostrou favorável ao processo de carbonização, pois praticamente todo o material foi queimado, tornando inviável a sua utilização em gaseificadores contracorrente.

A Tabela 2 apresenta os valores médios de umidade, matérias voláteis, cinzas e granulometria dos materiais. Pode-se observar que todos os materiais testados apresentaram valores inferiores a 7% de umidade, exceto os *Eucalyptus cloeziana* e *urophylla* que apresentaram 7%, o que não deve ser significativo, pela baixa diferença do valor ideal que segundo Carvalho *et al.*(1987) não deve ser superior a 7%. Já a casca de café apresentou uma umidade média de 11%, o que, a princípio pode afetar a zona de gaseificação.

Os resíduos agroindustriais (casca de café, palha de arroz e sabugo de milho), depois de carbonizados apresentaram uma granulometria fina, ocorrendo à compactação desse material na zona de reação contribuindo para a não-formação e o fluxo de gases, o mesmo comportamento foi descrito por Assumpção 1981.

Quanto maior os teores de materiais voláteis menos carbono fixo o material terá, produzindo gases impuros, necessitando assim, de um sistema de limpeza mais eficiente. Assim, menor será a produção dos componentes dos gases gerados durante a gaseificação, conforme as reações envolvidas no processo de gaseificação, citadas por Assumpção (1981) e Dias (1986).

Na Tabelas 2, estão os valores médios encontrados para umidade, materiais voláteis, teor de cinzas granulometria dos materiais utilizados.

TABELA 2: Valores médios de umidade em %, materiais voláteis (MV) em %, teor de cinzas em % e granulometria dos materiais em mm.

TABLE 2: Average values of moisture in %, volatile materials (VM) in %, ash content in % and particle size in mm.

Tratamento	Umidade	MV	Cinzas	Granulometria
5- <i>Eucalyptus cloeziana</i>	7	21	0,3	25 – 38
4- <i>Eucalyptus urophylla</i>	7	21	0,2	25 – 38
6- <i>Corimbia citriodora</i>	6	22	0,8	25 – 38
1- <i>Eucalyptus grandis</i>	3	19	0,5	> 38
2- <i>Eucalyptus camaldulenses</i>	6	26	0,2	25 – 38
3- <i>Eucalyptus saligna</i>	6	24	0,2	25 – 38
7- M1	6	23	0,4	> 38
9- Costaneira	5	28	1,0	> 38
10- M2	6	27	0,8	> 38
14- Casca de Café	11	36	9,0	-
13- Palha de Arroz	6	21	36,6	-
11- Sabugo de Milho	6	31	21,0	-
12- Bagaço de Cana	5	25	28,0	-

Em que: M1 e M2 = mistura dos materiais, descritos na Tabela 1.

Na Tabela 3, estão os valores encontrados na classificação granulométrica dos tratamentos utilizando o carvão vegetal, sendo o mais homogêneo o tratamento que utilizou o carvão de *Corimbia citriodora*, pois as porcentagens de carvão são bem próximas em todas as faixas avaliadas e este possui uma pequena quantidade de finos.

TABELA 3: Porcentagem de carvão vegetal encontrado em diferentes granulometrias.

TABLE 3: Percentage of plant coal found in different particle sizes.

Tratamento	> 38 mm (%)	38 – 25 mm (%)	25 – 12 mm (%)	Finos (%)
1- <i>Eucalyptus grandis</i>	42,5	21,0	19,0	17,5
2- <i>Eucalyptus camaudulenses</i>	30,0	35,5	27,0	7,5
3- <i>Eucalyptus saligna</i>	33,0	35,0	23,0	9,0
4- <i>Eucalyptus urophylla</i>	29,0	34,0	23,0	14,0
5- <i>Eucalyptus cloeziana</i>	21,0	40,5	34,0	4,5
6- <i>Corimbia citriodora</i>	31,5	35,0	31,5	2,0
7- M1	38,0	25,0	20,5	16,5
9- Costaneira	52,0	20,5	15,0	12,5
10- M2	54,0	22,0	14,0	10,0

Em que: M1 e M2 = mistura dos materiais descritos na Tabela 1.

Na Tabela 4, encontram-se os resultados dos testes de médias para potência ativa, carbono fixo, densidade, poder calorífico e consumo do carvão vegetal.

As médias seguidas de uma mesma letra, na coluna, não diferem entre si a 5% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

Pela análise de variância e aplicação do teste de Scott-Knott a 5% de significância, verificou-se que o maior valor de potência ativa (1391 watts) foi obtido quando se usou carvão vegetal de *Corimbia citriodora* com teor de carbono fixo de 78%. Possuindo este uma maior uniformidade em sua granulometria, fator de grande importância para o bom funcionamento do conjunto gaseificador gerador. Durante o processo de gaseificação ocorreu deslocamento uniforme da carga dentro do reator, proporcionando uma queima constante na zona de combustão. Esse resultado está de acordo com os mencionados por Assumpção (1981).

O teste feito com gasolina mostrou que o conjunto possui capacidade de atingir a potência total do quadro de 2215 watts, sem queda de tensão. Isso pode ser explicado pela adequação do motor ao referido combustível, de alto poder calorífico.

A análise de variância demonstrou que o maior teor de carbono fixo (81%) foi apresentado pelo carvão vegetal de *Eucalyptus grandis*. Portanto, era esperado que este apresentasse a maior potência ativa, o

que não ocorreu. Isso pode ser explicado com base na granulometria do carvão, com grande desuniformidade das partículas, como pode ser observado na Tabela 3, o que acarretou queima irregular da carga na zona de combustão. Essa queima irregular provocou acúmulo de material em certos pontos do reator, formando regiões quentes e frias com conseqüente formação de bolsões de gás.

Como pode ser observado na Tabela 4, os maiores valores de densidade e poder calorífico foram obtidos quando se utilizou carvão vegetal de *Eucalyptus camaldulenses*. Esperava-se que este apresentasse maior potência ativa o que não ocorreu em razão do baixo teor de carbono fixo de 74%. Esse fator influi na formação dos gases, conforme descrito por Mendes (1994) e também pela desuniformidade das suas partículas.

TABELA 4: Valores médios de potência ativa (PA), em watts, carbono fixo (CF), em %, Densidade (DENS), em kg/m³, poder calorífico (PC) em cal/g e Consumo (CONS) em kg/h.

TABLE 4: Average values of power the active (PA), in watts, fixed carbon (CF), in %, Density (DENS), in kg/m³, to be able calorific (PC) in cal/g and Consumo (CONS) in kg/h.

Tratamento	PA	CF	DENS	PC	CONS
3 – <i>Eucalyptus saligna</i>	1028 a	76 c	205 e	7118 c	6,3 a
10 – M2	1030 a	71 a	196 c	6564 b	6,7 a
9 – Costaneira	1158 b	71 a	170 a	5697 a	6,0 a
5 – <i>Eucalyptus cloeziana</i>	1179 b	79 e	242 h	7687 e	5,3 a
7 – M1	1179 b	77 c	222 f	7435 d	5,7 a
1 – <i>Eucalyptus grandis</i>	1200 c	81 g	202 d	7394 d	5,7 a
4 – <i>Eucalyptus urophylla</i>	1209 c	79 e	191 b	7121 c	6,3 a
2 – <i>Eucalyptus camaldulense</i>	1274 d	74 b	264 i	7835 f	7,0 a
6 – <i>Corimbia citriodora</i>	1391 e	78 d	235 g	7511 d	5,7 a

Em que: M1 e M2 = mistura dos materiais descritos na Tabela 1.

Não houve diferença significativa no consumo de carvão vegetal (Tabela 4). Esse consumo foi maior que o encontrado por Mendes (1994) que foi de 2,72 kg/h. O reator utilizado pelo mesmo autor apresentava uma menor abertura de admissão de oxigênio na zona de oxidação, o que conseqüentemente diminui a velocidade das reações e consumo de combustível.

CONCLUSÕES

O conjunto gaseificador – gerador foi de fácil construção e fabricado com materiais de fácil aquisição.

O bagaço de cana-de-açúcar e a casca de coco não apresentaram boa carbonização e foram inviáveis para uso em gaseificador-contracorrente.

O carvão de *Corimbia citriodora* apresentou o melhor desempenho (1.391 watts).

Os resíduos utilizados de bagaço de cana-de-açúcar, palha de arroz, casca de café, sabugo de milho e moinha de carvão não apresentam potencial para a geração de energia no tipo de gaseificador analisado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Normas técnicas NBR 6922**. 1981.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **Normas técnicas NBR 8633**. 1983.
- ASSUMPTÃO, R. M. V. Gaseificação de madeira e carvão vegetal. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Gaseificação de madeira e carvão vegetal**. Belo Horizonte, 1981. p. 51-72.
- CARVALHO, A. S. **Gasogênio de alvenaria**. Brasília, DF: EMBRATER, 1987 43 p. (EMBRATER. Manuais; 33).
- DIAS, G. P. **Efeito da vazão de ar e dos diâmetros da setia e do reator na temperatura de combustão em um gaseificador de fluxo concorrente**. 1986. 57 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.
- CALLE, Frank R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira**. Campinas, SP: UNICAMP, 2005.
- MALUF, W. R. **Preparo da casca de arroz carbonizada**. Lavras: UFLA, 1998. (Boletim Técnico de Hortaliças, v. 12).
- MENDES, L. M. **Influência do carvão vegetal no desempenho de um gaseificador-gerador de energia elétrica**.

1994. 50 f. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

NASCIMENTO, J. W. B. Secagem de milho utilizando energia térmica de um gasogênio de fluxo transversal descendente. 1991. 186 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal da Paraíba, Campina Grande.

REIS, O. G. **Gasogênio rústico construído em alvenaria alternativa na propriedade rural**. Brasília, DF: EMBRATER, 1984, 20 p. (EMBRATER. Informações técnicas, 5).

SANTOS, J. W. C. **Influência do teor de umidade e da granulometria do carvão vegetal no desempenho do motor de um trator adaptado para funcionar a gás pobre**. 1981. 46p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.