



**GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS
LIGNOCELULÓSICOS PARA GERAÇÃO DE
ENERGIA ELÉTRICA**

Marina Donária Chaves

2007

MARINA DONÁRIA CHAVES

**GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e Tecnologia da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Orientador

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

**Ficha Catalográfica Preparada pela Divisão de Processos Técnicos da
Biblioteca Central da UFLA**

Chaves, Marina Donária

Gaseificação de materiais lignocelulósicos para geração de energia elétrica /
Marina Donária Chaves. – Lavras : UFLA, 2007.

52 p. : il.

Orientador: Lourival Marin Mendes.

Dissertação (Mestrado) - UFLA.

Bibliografia.

1. Gaseificador. 2. Energia elétrica. 3. Resíduo agroindustrial. 4. Carvão
vegetal. I. Universidade Federal de Lavras. II. Título.

CDD-621.31

MARINA DONÁRIA CHAVES

**GASEIFICAÇÃO DE MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS PARA
GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA**

Dissertação apresentada à Universidade Federal de Lavras, como parte das exigências do Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, área de concentração em Ciência e tecnologia da Madeira, para a obtenção do título de “Mestre”.

Aprovada em: 12 de fevereiro de 2007

Prof.

Prof.

Prof. Dr. Lourival Marin Mendes
UFLA
(Orientador)

LAVRAS
MINAS GERAIS – BRASIL
2007

SUMÁRIO

	Página
RESUMO.....	i
ABSTRACT.....	ii
1 INTRODUÇÃO.....	1
2 REFERENCIAL TEÓRICO.....	4
2.1 Matriz energética brasileira.....	4
2.2 Histórico.....	5
2.3 O processo de gaseificação.....	6
2.4 Classificação dos processos e equipamentos de gaseificação.....	9
2.5 Combustíveis para a gaseificação.....	11
2.6 Densidade da madeira e densidade do carvão.....	11
2.7 Gás pobre.....	13
2.8 Fatores que influenciam o equilíbrio dos gases.....	13
2.8.1 Temperatura no interior do reator.....	13
2.8.2 Pressão de operação do gaseificador.....	14
2.8.3 Umidade relativa do ar de combustão.....	14
2.8.4 Vapor d'água.....	14
2.8.5 Oxigênio.....	15
2.8.6 Umidade do combustível.....	15
2.8.7 Granulometria do combustível.....	16
2.8.8 Densidade do material a ser gaseificado.....	17
2.8.9 Teor de carbono do combustível.....	18
2.9 Potencial energético dos resíduos.....	18
2.10 Eletricidade no meio rural.....	19
2.11 Utilização do gás produzido.....	19
2.12 Efeitos da utilização da energia de biomassa sobre o meio ambiente	20
3 MATERIAL E MÉTODOS.....	22

3.1 Construção do conjunto gaseificador.....	22
3.1.1 Gaseificador.....	22
3.1.2 Depósito de gás.....	24
3.1.3 Filtro de gás.....	24
3.1.4 Registro de regulação da mistura gás/ar.....	24
3.1.5 Ventoinha.....	24
3.2 Motor e gerador.....	25
3.3 Quadro de comando e de cargas.....	25
3.4 Aspecto final do sistema construído.....	25
3.5 Combustível.....	28
3.6 Cálculo do consumo de carvão.....	28
3.7 Cálculo da energia gerada.....	28
3.8 Carbonização dos resíduos agrícolas.....	29
3.9 Delineamento experimental.....	30
3.10 Condução da gaseificação.....	31
3.11 Riscos do processos de gaseificação.....	32
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5 CONCLUSÕES.....	39
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	40
ANEXOS.....	42

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Deus, pela graça da vida.

Aos meus pais, Lázaro e Marli, pelo apoio, confiança, carinho e incentivo.

Aos meus irmãos, Mário, Marcos, Márcio e a “cucu” Camila, pelo carinho.

Ao meu noivo, Alexandre, pelo amor, companheirismo e desprendimento nessa fase de nossas vidas.

A Violante e meu cunhado Hugo, pela acolhida em sua família.

À Universidade Federal de Lavras e ao Departamento de Ciências Florestais, pela oportunidade de realização do curso.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), pelo apoio financeiro.

À empresa Acesita Energética Ltda., pela doação do carvão vegetal utilizado neste trabalho.

À Empresa Plantar, pela doação da muíña de carvão, também utilizada neste trabalho.

Ao professor Lourival Marin Mendes, pela orientação, amizade e incentivo durante todo o período em que trabalhamos juntos.

Aos professores José Reinaldo Moreira da Silva e Paulo Fernando Trugilho, pela co-orientação, amizade e apoio em todas as etapas deste trabalho.

Ao professor Giovanni Francisco Rabelo, pelo apoio na realização do Trabalho.

Ao professor Gilmar Tavares pelo apoio concedido.

Aos professores do Departamento de Ciências Florestais, em especial aos professores do Laboratório de Tecnologia da Madeira, pelos conhecimentos transmitidos durante o curso.

Aos colegas de pós-graduação, obrigada pela convivência.

Aos amigos de longa data, Aninha, Anderson, Nayara, Claudinéia e Ançano, pela certeza de sempre poder contar com vocês.

A Fernanda, com quem tive o prazer de conviver durante o curso e tornou-se uma grande amiga.

Aos demais amigos e colegas, o meu agradecimento.

Aos “pupilos” Arthur, Fábio e Guilherme, pela convivência e pela grande ajuda durante todo o trabalho.

A Aisy, pelos bons momentos que passamos juntas e pela convivência durante quase quatro anos.

Às secretárias Chica, Rosi, Marluci e Teresinha, obrigada pela atenção e carinho.

Aos funcionários do Departamento de Ciências Florestais, Jorge, Roberto, Zé Francisco (Fazendeiro), Álvaro (“Seu Vico”), Carlos, Claret, Hernani, Gilson, Lu, Nice, Wellington e Luíza, pela convivência.

Ao Jorge e ao João que contribuíram muito para a realização deste trabalho.

Enfim, a todos que direta ou indiretamente contribuíram para realização deste trabalho, o meu agradecimento.

RESUMO

CHAVES, Marina Donária. **Gaseificação de materiais lignocelulósicos para geração de energia elétrica.** 2007. 51p. Dissertação (Mestrado em Ciência e Tecnologia da Madeira)-Universidade Federal de Lavras, Lavras, MG.

A gaseificação de combustível sólido, como a biomassa, pode ser definida como a transformação deste em um gás combustível. Este gás é constituído por uma mistura de monóxido de carbono, hidrogênio, metano, pequenas quantidades de outros hidrocarbonetos leves, dióxido de carbono e vapor de água, além do nitrogênio, que está presente no ar. 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. Determinou a composição química imediata e o poder calorífico dos materiais utilizados. Experimentou os diferentes materiais lignocelulósicos e a gasolina, como testemunha. Para os fatores testados, foram executados medições dos rendimentos elétricos e de consumos dos materiais. O delineamento estatístico foi o inteiramente casualizado, com dezessete tratamentos e três repetições e as análises estatísticas feitas a 5% de significância. Com base nos resultados obtidos e nas análises estatísticas realizadas, conclui-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 obtendo-se de potência gerada, 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 muínha de carvão não apresentaram potencial para geração de energia pelo tipo de gaseificador utilizado.

* Comitê orientador: Lourival Marin Mendes (orientador); José Reinaldo Moreira da Silva, Paulo Fernando Trugilho (Co-orientadores)

ABSTRACT

CHAVES, Marina Donária. **Gasification of lignocellulosic materials for generation of electric energy**. 2007. 51p. Dissertation (Master in Wood Science and technology)-Federal University of Lavras, Lavras, MG.

The gasification of solid fuel as biomass can be defined as the transformation of it into a combustible gas. This gas is made up of a mixture of carbon monoxide, hydrogen, methane, small amounts of other light hydrocarbonates, carbon dioxide and water vapor, in addition to nitrogen, which is present in air. The objective of this work was to build a countercurrent gasifier in concrete block to evaluate the potential of generating electric energy of eucalyptus species cultivated in the state of Minas Gerais, from agroindustry residues and from the mixture of those materials. The immediate chemical composition and the heat-yielding power of the materials utilized were determined. The different lignocellulosic materials and gas were experimented as a control. For the tested factors, the measurements of the electric output and of consumption of the materials were performed. The statistical design was the completely randomized with seventeen treatments and three replicates and the statistical analyses done at 5% of significance. On the basis of the obtained results and on the statistical analyses accomplished, it follows that the gasifier-generator set is of easy construction, fabricated from materials of easy purchase and reduced cost; out of the materials evaluated the coal of the *Corimbia citriodora* species with 78% of fixed carbon, presented the best performance, obtaining 1.391 watts of generated potency, with a constant tension of 230 volts. The residues utilized of cane bagasse, rice straw, coffee hulls, corn cob and coal chaff did not show any potential for generating energy by the sort of gasifier utilized.

* Guidance Committee: Lourival Marin Mendes (Adviser); José Reinaldo Moreira da Silva, Paulo Fernando Trugilho (Co-adviser)

1 INTRODUÇÃO

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

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 alternativa nos países em desenvolvimento, especialmente em áreas isoladas, onde a conexão com a rede elétrica não é possível ou cara. O uso de sistemas de limpeza de gás a frio e motores diesel alimentados a gás ou, até mesmo, com *dual fuel* por exemplo, operando simultaneamente com gás e óleo diesel é plenamente possível. O uso complementar de combustíveis líquidos permite evitar a pronunciada redução de potência do motor.

O processo de gaseificação pode converter esses materiais em combustíveis gasosos ricos em carbono e hidrogênio. Esses podem ser mais facilmente utilizados, com ganhos na eficiência e no desempenho ambiental em comparação à combustão direta da biomassa. Os sistemas de gaseificação geralmente compreendem o sistema de manuseio da biomassa e o sistema de alimentação, que é acoplado ao gaseificador por meio de reatores.

Uma grande limitação da produção de energia por meio de gaseificadores é o processo de limpeza do gás, para remover o alcatrão e particulados finos. Esse processo de limpeza ainda não foi totalmente

desenvolvido e os custos estimados são altos. As experiências com motores acionados a gás de biomassa indicam que as substâncias contaminantes, como o alcatrão, a poeira, a fuligem e as cinzas são responsáveis pelo desgaste do motor e pelos altos custos de manutenção.

A tecnologia de gaseificação é interessante para a utilização de resíduos agroindustriais. Estes resíduos são basicamente constituídos de palha, folhas e caules, e têm um poder calorífico considerável, sendo viável para a geração de energia. O aproveitamento energético dos resíduos tende a promover o desenvolvimento de regiões menos favorecidas economicamente, por meio da criação de empregos, reduzindo a dependência externa de energia, em função da sua disponibilidade local.

A vantagem ambiental é que o volume de gás combustível a ser processado é muito menor do que o de gás de combustão que sai da caldeira. Tal aspecto e a temperatura geralmente baixa de tratamento da biomassa resultam na retenção de metais, inclusive álcalis, como sais nas cinzas e no ciclone, que podem então ser descartados. Os componentes gasosos ácidos, inclusive o ácido clorídrico, podem ser facilmente retirados do gás antes da combustão e, por isso, a gaseificação é ambientalmente superior à combustão direta (Faaj et al., 2005).

Um forte argumento a favor do gaseificador é o alto custo da energia no meio rural, o que tem prejudicado a lavoura irrigada e pode vir a se transformar em grande entrave para o crescimento do setor no país. No caso específico de Minas Gerais, o custo de energia elétrica já começa a inviabilizar muitos projetos de irrigação, principalmente, no norte do Estado. O levantamento de custo operacional feito pela Federação da Agricultura do estado de Minas Gerais (FAEMG) mostra que a energia elétrica onera muito o produtor, pois a produção de uma tonelada de milho, arroz ou feijão exige gastos consideráveis com este insumo. Este entrave que limita a expansão na produção destes produtos já era motivo de preocupação de Passos (1992).

O presente trabalho foi realizado com o objetivo geral de avaliar o potencial de geração de energia elétrica da gaseificação de materiais lignocelulósicos. Os objetivos específicos foram: I) construir um gaseificador de contracorrente em alvenaria e II) avaliar o potencial de geração de energia de diferentes combustíveis, no gaseificador construído.

2 REVISÃO DE LITERATURA

2.1 Matriz energética brasileira

Apenas 28% das 5,8 milhões de propriedades rurais no Brasil possuem eletrificação rural, ou seja, 4,2 milhões de propriedades no meio rural, não dispõem de energia elétrica. Esses dados evidenciam o problema da energia no meio rural e de nova concepção energética que se deve seguir a partir da escassez do petróleo (IBGE, 2000). Os dados relativos à participação de várias fontes de energia na matriz energética brasileira encontram-se na Tabela 1.

TABELA 1 Matriz energética brasileira.

Fonte	Porcentagem	Tep 10⁶
Petróleo e derivados	39	85
Gás natural	9	21
Carvão mineral e derivados	6	14
Urânio e derivados	1	3
Hidráulica e eletricidade *	15	32
Lenha e carvão vegetal	13	28
Derivados da cana-de-açúcar	14	30
Outras fontes renováveis	3	6
TOTAL	100	219

* 1 KWh = 860 kcal (equivalente térmico teórico); Tep = tonelada equivalente petróleo.
FONTE: Balanço Energético Nacional (Ministério de Minas e Energia, 2005).

2.2 Histórico

A tecnologia da utilização dos gasogênios data do fim do século XIX, quando foram utilizados em motores estacionários. As primeiras experiências com motores móveis iniciaram-se na primeira década do século XX, sem maiores progressos e foram desativados no início da segunda década. Posteriormente, Berliet, Panhard e Renault, industriais franceses, procuraram fazer adaptações no que já se havia conseguido, obtendo excelentes resultados (Siqueira, 1981).

Segundo Reed & Gaur, citados por Faaj et al. (2005), muitos sistemas de gaseificação de pequena capacidade foram desenvolvidos desde o início da Segunda Guerra Mundial, alguns com mais, outros com menos sucesso. Devido ao difícil acesso aos combustíveis fósseis, muitos países europeus, durante a Segunda Guerra Mundial, dependiam de gaseificadores de pequena escala para o transporte civil. Na época, foram usados mais de um milhão de gaseificadores. Após a Segunda Guerra Mundial, a gaseificação em pequena escala perdeu espaço, por causa da conveniência e do baixo preço dos derivados do petróleo. Com o aumento dos preços do petróleo, em meados da década de 1970, o interesse pela gaseificação em pequena escala ressurgiu, principalmente para aplicação em centrais de aquecimento, na Europa (Faaj et al., 2005).

Segundo Boletim do Provarzeas & Profir, citado por Mendes (1994), a partir daí, várias pesquisas foram conduzidas, como é o caso das realizadas pela Embrapa, no Centro Nacional de Pesquisa do Arroz e Feijão, que realizou experimentos com o gasogênio para irrigação, comprovando a viabilidade técnica e econômica. Outra experiência que foi conduzida com bons resultados foi o sistema desenvolvido pela Rio-Liht e Eletrobrás, para a geração de energia elétrica.

Durante a década de 1990 o interesse pela utilização da gaseificação cresceu, devido, principalmente, às preocupações com o uso de combustíveis

fósseis e o aquecimento global. Muitas plantas sobre gaseificadores foram desenvolvidas e testadas no Brasil, China, Índia, Europa e nos Estados Unidos. Vários estudos de sistemas de gaseificação em pequena escala foram publicados. Mendes (1994) verificou a influência do carvão vegetal no desempenho de um gaseificador-gerador de energia elétrica. Reed & Gaur, citados por Faaj et al., 2005, fizeram uma pesquisa sobre gaseificação de biomassa. Knoef & Stassen, citados por Faaj et al., 2005, realizaram um estudo sobre projetos do Banco Mundial realizados no Brasil, Burundi, Indonésia, Mali, Filipinas, Seychelles e Vanuatu. Novem, citados por Faaj et al., 2005, fez uma análise de situação da gaseificação em pequena escala na Europa. Jakobsen et al., citados por Faaj et al., 2005, realizaram um estudo das máquinas motrizes para sistemas de pequena escala.

2.3 O processo de gaseificação

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 (Tabela 2) possuem monóxido e dióxido de carbono, hidrogênio, metano, nitrogênio e várias pequenas partículas de coque, cinzas, alcatrão e óleos, que são considerados contaminantes (Assumpção, 1981).

O equipamento utilizado para gerar este gás é denominado gaseificador. O gás produzido em gaseificadores é chamado de gás pobre, devido ao 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; Santos, 1981).

TABELA 2 Composição dos gases produzidos em gaseificador contracorrente a carvão vegetal.

Características dos gases	Percentagem
Componentes	
Monóxido de carbono (CO)	28,00 %
Hidrogênio (H ₂)	15,00 %
Metano (CH ₄)	1,50 %
Hidrocarbonetos leves (C _m H _n)	-
Dióxido de carbono (CO ₂)	8,00 %
Nitrogênio (N ₂)	47,50 %
Poder calorífico	1.200 kcal/Nm ³

FONTE: Assumpção (1981).

Dos componentes produzidos durante as reações, o monóxido de carbono, hidrogênio e metano são energeticamente ativos. Os outros componentes são inertes, contribuindo para diluir o gás e abaixar o poder calorífico. Os alcatrões, apesar de serem combustíveis, são produtos indesejáveis na composição do gás. Quando estão quentes, eles polimerizam, deixando incrustações nas tubulações. Já quando se resfriam, eles condensam sob a forma de um líquido escuro e viscoso que entope as tubulações e os queimadores.

São quatro as etapas básicas do processo de gaseificação da biomassa: a secagem, a pirólise ou destilação, a redução e a oxidação ou combustão da biomassa. Cada uma dessas etapas ocorre em zonas relativamente separadas dentro do gaseificador (Tabela 3). A zona de oxidação é determinada pela entrada do comburente, onde o oxigênio é responsável pela queima de parte da matéria-prima, liberando energia térmica.

TABELA 3 Reações envolvidas no processo de gaseificação do carvão vegetal.

Zonas	Temperatura (°C)	Equações	Calor (cal/g.mol)
Oxidação	1300 a 1000	$C + O_2 \leftrightarrow CO_2$ (1)	-94,05
		$2C + O_2 \leftrightarrow 2 CO$ (2)	
Redução	1000 a 700	$CO_2 + C \leftrightarrow 2CO$ (3)	+41,22
		$2CO_2 \leftrightarrow 2CO + O_2$ (4)	
		$2H_2O + C \leftrightarrow CO_2 + 2H_2$ (5)	+21,54
		$H_2O + C \leftrightarrow CO + H_2$ (6)	
		$H_2O + CO \leftrightarrow CO_2 + H_2$ (7)	+31,38
		$C + 2H_2 \leftrightarrow CH_4$ (8)	-7,89
Destilação	700 a 400	Pirólise do carvão vegetal	
(Secagem + Pirólise)	700 a 400	Secagem e destilação do material volátil	

FONTE: Assumpção (1981) e Dias (1986).

De maneira geral, independentemente das reações de conversão da biomassa em gás e do tipo de gaseificador, ocorre o processo mostrado na Tabela 3. O oxidante, ao entrar no gaseificador, reage exotermicamente com o carbono incandescente presente na biomassa, formando CO e CO₂ (Equações 1 e 2). A quantidade de calor desprendido nessas reações alimentará todo o processo de gaseificação. Em seguida, o CO₂ é reduzido endotermicamente para CO, conforme a Equação 3. Por outro lado, o CO₂ também se dissocia, quando da ocorrência de altas temperaturas, em CO e O₂, de acordo com a Equação 4. O vapor d'água que é introduzido no gaseificador, ou que é produzido pela liberação da água de constituição da biomassa ou da umidade do carvão vegetal, reage com o C e o CO, se dissociando e produzindo H₂, conforme as Equações 5, 6 e 7. O hidrogênio, ao entrar em contato com o carbono quente, reage com o mesmo, formando os hidrocarbonetos leves, principalmente o gás metano (Equação 8). O nitrogênio

contido no ar de combustão atravessa o gaseificador como um diluente inerte, contribuindo para o baixo poder calorífico do gás oriundo da gaseificação na ordem de 2.000 kcal/Nm³.

2.4 Classificação dos processos e equipamentos de gaseificação

Existem diversas maneiras de se classificar os processos e equipamentos de gaseificação quanto à fonte de energia para o processo, em relação à pressão de operação, quanto ao tipo de leito no gaseificador e quanto à forma de descarga de cinzas. Porém, só será discutida a classificação quanto ao movimento relativo da corrente de gases versus corrente do combustível no gaseificador. Assim, eles 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. Os gaseificador de fluxo ascendente é um reator contracorrente, no qual 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). Este sentido do fluxo tem do ponto de vista térmico, a vantagem de absorver parte do calor sensível dos gases quentes produzidos na câmara de combustão, devido ao pré-aquecimento do combustível. Se os gases contiverem excesso de umidade, poderão reduzi-la durante a permanência no reservatório. Este sentido de fluxo é também adequado para combustíveis contendo matéria volátil, isenta 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 é introduzido 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 deste gás quente, a madeira é submetida às fases de secagem e pirólise. A temperatura de saída do gás produzido está, geralmente, entre 80°C 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 (Fontes, 1981, citado por Nascimento, 1991).

As vantagens do gaseificador contracorrente incluem menor consumo de oxigênio nas reações de gaseificação, quando comparados a outros tipos; pode utilizar combustível com maior umidade, pela secagem na zona superior; produz gases mais frios, em virtude da troca de calor nas zonas de pirólise e desidratação. A Figura 1 ilustra o funcionamento e as fases de um gaseificador contracorrente.

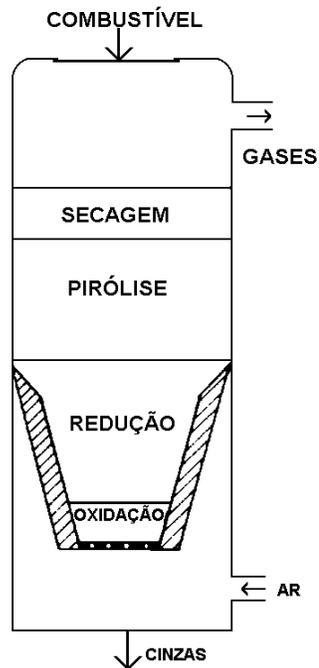


FIGURA 1 Esquema ilustrativo de gaseificador contracorrente.

FONTE: Assumpção (1981)

2.5 Combustíveis para a gaseificação

Os combustíveis sólidos mais usados nos gaseificadores são a lenha, casca de coco, coque, resíduos ou restos de culturas agrícolas, carvão mineral, carvão da casca de coco e carvão vegetal. Segundo Migliorini et al., citados por Ponte Filho (1988) e Santos (1981), a lenha e o carvão vegetal são os mais empregados para gaseificação no Brasil.

2.6 Densidade da madeira e densidade do carvão vegetal

A densidade da madeira é a relação que expressa a massa por unidade de volume. Quando a relação é entre massa absolutamente seca e volume saturado,

a densidade denomina-se básica e pode ser, por exemplo, expressa, em g/cm^3 . A densidade da madeira tem relação direta com a densidade do carvão, conforme pode ser visto na Tabela 4.

A densidade aparente do carvão expressa a relação entre massa seca e volume, em g/cm^3 . Quanto maior a densidade aparente do carvão, maior capacidade calorífica comportará a unidade de uso do carvão, tal como reator do gaseificador, fornalha de caldeira e melhor ocupa o volume do alto forno pelo termorreductor.

TABELA 4 Densidade básica e densidade aparente do carvão de espécies de eucalipto com seis a sete anos de idade.

Espécie	Densidade básica da madeira (g/cm^3)	Densidade aparente do carvão (g/cm^3)
<i>Corimbia citriodora</i>	0,698	0,590
<i>Eucalyptus cloeziana</i>	0,603	0,489
<i>Eucalyptus tereticornis</i>	0,580	0,440
<i>Eucalyptus urophylla</i>	0,540	0,410
<i>Eucalyptus pilularis</i>	0,535	0,390
<i>Eucalyptus dunii</i>	0,511	0,382
<i>Eucalyptus saligna</i>	0,502	0,378
<i>Eucalyptus camaldulensis</i>	0,460	0,314
<i>Eucalyptus grandis</i>	0,406	0,231

FONTE: Valente & Vital (1985)

A densidade aparente tem relação direta com a resistência mecânica do carvão à compressão, ao choque e ao atrito. Pode-se afirmar que, sendo desejável uma densidade aparente mais alta, é fundamental que utilize madeira com alta densidade na produção do carvão (Mendes et al., 1998).

2.7 Gás pobre

Quando o ar é o agente gaseificante, obtém-se, no processo de gaseificação, o gás pobre, também denominado gás de gerador ou gás de ar. Como o ar contém, aproximadamente, 80% de nitrogênio, a presença final deste gás incomburente faz diminuir o poder calorífico final, que fica em torno de 1.100 a 1.200 kcal/Nm³. É o combustível de menor poder calorífico mas também de menor custo e maior facilidade de obtenção. Como o ar contém água, obtém-se também o gás de água (Siqueira, 1981).

2.8 Fatores que influenciam o equilíbrio dos gases

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

2.8.1 Temperatura no interior do reator

As constantes de equilíbrio das reações da gaseificação são afetadas pela temperatura no interior do reator. Essa temperatura influencia a composição e o rendimento dos materiais voláteis. De modo geral, altas temperaturas na zona de redução favorecem as reações endotérmicas, com formação de hidrogênio e monóxido de carbono e diminuição na formação do metano. Contudo, temperaturas elevadas provocam a fusão das cinzas do combustível, exigindo que sejam utilizados dispositivos mecânicos resistentes ao excesso de calor (Assumpção, 1981).

2.8.2 Pressão de operação

A pressão tem influência acentuada na composição dos gases, pois ela favorece aquelas reações em que há redução do número de moles, principalmente favorecendo a formação do metano (Assumpção, 1981).

Segundo o mesmo autor a temperatura nos gaseificadores sob pressão é mais alta que em gaseificadores à pressão atmosférica por auto-ajuste. Os gaseificadores sob pressão têm menor dimensão e maior capacidade. Removendo CO₂ e H₂O que tendem a aumentar com a pressão, o gás obtido tem poder calorífico na faixa de 4.000 kcal/Nm³, porém, o rendimento é sacrificado.

2.8.3 Umidade relativa do ar de combustão

O teor de CO₂ tende a aumentar, significando um favorecimento da reação de deslocamento de água, em fase de vapor. O poder calorífico do gás tende a aumentar até certo valor e em seguida decresce. O máximo ocorre na faixa de umidade de 10% dos gases ou corresponde a uma temperatura de saturação da ordem de 40°-50°C (Assumpção, 1981).

2.8.4 Vapor d'água

A introdução de vapor d'água favorece a formação de hidrogênio e dióxido de carbono, com conseqüente redução dos níveis de monóxido de carbono em gaseificadores autotérmicos, devido ao favorecimento da reação de deslocamento da água (Equação 10).



Efeito importante da introdução do vapor d'água no processo de gaseificação é a formação de gás d'água, em que o gás combustível é gaseificado com o vapor de acordo com a Equação (10)



Sendo a reação (Equação 10) endotérmica, é necessário o fornecimento de energia para realizá-la, podendo ser uma alternativa para o consumo de resíduos indesejáveis de carbono no processo de gaseificação.

2.8.5 Oxigênio

O enriquecimento do ar de combustão com o aumento da concentração de oxigênio ou, mesmo, a utilização do oxigênio puro acarretarão o aumento na temperatura de reação e do poder calorífico do gás combustível, em virtude de a quantidade de elementos inertes, como o nitrogênio, ser proporcionalmente menor.

2.8.6 Umidade do combustível

Os gaseificadores podem utilizar carvão vegetal com umidade inferior a 8%, para evitar eventuais problemas de partida e funcionamento inicial do motor, já que as velas podem ficar molhadas pela umidade contida no gás. Em relação a esse fato, Dacanay & Payne, citados por Santos (1981), sugerem um limite máximo de 20% de umidade, para que haja produção de gases de boa qualidade. Já Berthelot, também citado por Santos (1981), recomenda que a umidade do carvão deve estar em torno de 15%. A variação da composição do gás, em função da variação da umidade do combustível, pode ser vista na Tabela 5.

TABELA 5 Influência da umidade do combustível na composição do gás.

Características do gás	Umidade do combustível (%)			
	0	10	20	30
Composição (%V)				
CO	21,0	16,5	12,0	6,8
CO ₂	10,0	12,7	15,3	17,9
H ₂	18,1	18,2	18,9	17,5
H ₂ O	4,6	6,7	9,4	13,7
CH ₄	0,7	1,1	1,7	2,7
N ₂	45,6	44,8	42,7	41,4
PCI (Kcal/Nm ³)	1.162	1.071	992	887
Eficiência (%)	77,8	76,4	75,4	72,9

FONTE: CEMIG (1986)

2.8.7 Granulometria do combustível

A uniformidade da matéria-prima é, também, um fator que poderá afetar a operação do gaseificador, visto que o material de menor granulometria carboniza mais rapidamente na zona de combustão, além de sua possível acumulação em determinados pontos do equipamento, com formações de regiões quentes e frias e, eventualmente, bolsões de gás, que são indesejáveis. Caso a granulometria seja heterogênea, a distribuição de tamanhos em cada carga deve ser razoavelmente constante (Assumpção, 1981). A granulometria da matéria-prima exerce certa influência na composição dos gases, como mostrado na Tabela 6.

TABELA 6 Influência da granulometria do combustível na composição dos gases.

Componente (% V)	Blocos	Cavacos	Serragem
CO	29,0	21,0	18,2
CO ₂	6,6	10,0	12,2
H ₂	13,0	18,0	10,2
CH ₄	4,2	3,6	3,2
N ₂	47,0	46,6	55,4
O ₂	0,2	0,6	0,8
PCI (Kcal/ Nm ³)	1.570	1.406	1.090

FONTE: Assumpção (1981)

Santos (1981), testando três granulometrias e três umidades de carvão vegetal de *Eucalyptus spp.*, visando à determinação do desempenho do motor de um trator adaptado para funcionar com gás pobre, chegou à conclusão de que o carvão com granulometria média de 12,7 mm e com umidade de 4% foi o que apresentou maior potência máxima, maior torque máximo e menor consumo específico (kg/cv.h), sendo considerado de melhor desempenho.

2.8.8 Densidade do material a ser gaseificado

A densidade do combustível está diretamente ligada à sua formação química e anatômica, no caso da madeira, espécies que possuem parede celular mais espessa, maior proporção de tecidos de sustentação (fibras ou traqueídeos), em relação aos tecidos parenquimáticos, certamente apresentam maior densidade e uma maior velocidade de produção dos gases gerados durante as reações. A mesma consideração pode ser feita para o carvão vegetal. Como dito anteriormente, existe uma correlação direta entre densidade do carvão e a densidade da madeira que o originou (Mendes et al., 1998), sendo equivalente também para os demais materiais.

2.8.9 Teor de carbono do combustível

No caso do carvão vegetal, alguns parâmetros de qualidade são importantes quando se pretende utilizá-lo na gaseificação, como o teor de carbono, granulometria, densidade e umidade. A temperatura final de carbonização influi no teor de carbono do carvão e, portanto, no rendimento do gás produzido. Almeida (1983) encontrou relação direta entre temperatura máxima de carbonização e teor de carbono e relação inversa entre temperatura máxima e teor de voláteis e rendimento em carvão.

2.9 Potencial energético dos resíduos

Diversos tipos de subprodutos de atividades agrícolas, agropecuárias, florestais, agroindustriais e urbanas, tais como cascas e outros resíduos lignocelulósicos, podem ser utilizados como combustíveis. O potencial disponível nestes resíduos não é bem conhecido, porém, seguramente corresponde a volumes significativos de energia subaproveitada. Um aspecto essencial relacionado à utilização energética dos resíduos, sobretudo dos restos da lavoura e esterco de animais criados extensivamente, é a dispersão, que acarreta dificuldades de coleta e transporte. Por outro lado, muitas vezes, os resíduos constituem um problema de caráter ambiental e sua disposição final é de difícil solução, sendo o uso energético uma saída oportuna, já que reduz seu volume e seu potencial contaminante. Como diz a sabedoria chinesa, “resíduo é matéria-prima mal aproveitada” (Nogueira, 2003).

Segundo Faaj et al. (2005), a biomassa é uma fonte renovável de produção de energia em escala suficiente para desempenhar um papel expressivo no desenvolvimento de programas vitais de energias renováveis e na criação de uma sociedade ecologicamente mais consciente. Seu amplo potencial ainda precisa ser explorado. Depois de um longo período de negligência, o interesse pela biomassa como fonte de energia renasce e os novos avanços tecnológicos

demonstram que ela pode torna-se mais eficiente e competitiva. O Brasil é pioneiro no ressurgimento de sistemas de energia da biomassa.

2.10 Eletricidade no meio rural

No Brasil, a exclusão elétrica predomina em áreas com menor Índice de Desenvolvimento Humano (IDH) e entre famílias de baixa renda. Percentualmente, o maior número de pessoas que não têm acesso à energia elétrica no meio rural reside na região Norte, em face das dimensões da região, da dificuldade de utilização de rede de transmissão e do alto índice de pulverização das comunidades.

A utilização de energia elétrica no meio rural representa um dos processos mais importantes a serem incentivados no Brasil, pois é fato que a eletrificação rural é fundamental para levar adiante programas de desenvolvimento de uma região. Dessa forma, deve ser vista não só como um fator capaz de aumentar a produtividade no campo, permitindo a melhoria das condições de trabalho, mas também elevando as condições de vida do homem no meio rural. Uma forma de melhorar esta situação é a produção de eletricidade por meio de gaseificadores de biomassa integrados a motores de combustão interna que é uma tecnologia comercial para instalações de pequena capacidade (Faaj et al., 2005).

2.11 Utilização do gás produzido

O gás combustível da madeira é uma das formas alternativas para a substituição do óleo combustível em caldeiras existentes. A queima direta da madeira é melhor energeticamente que a queima do gás, porém, há necessidade de transformação da caldeira existente a óleo, para que a mesma funcione a lenha. Tal transformação é mais fácil quando se utiliza gás de madeira, sendo necessária a troca dos queimadores (Assumpção, 1981).

Segundo Karchery, J. & Koch, P., citados por Assumpção (1981), consideram que os sistemas compostos por gaseificação podem ter vantagens sobre o sistema de combustão direta. Por exemplo, as cinzas e o carbono residual permanecem no gaseificador, diminuindo a emissão de particulados. A fornalha recebe um combustível mais limpo, não necessitando de controle de poluição das fornalhas. O custo de implantação do sistema de caldeira a óleo é menor. Um sistema de gaseificação deve apresentar as seguintes características: baixo custo, fácil operação, alta produtividade, atendimento, dentro do possível, à necessidade da caldeira e flexibilidade.

A utilização do gás de madeira em fornos e fornalhas de secadores agrícolas é também uma alternativa a ser considerada. Em secadores, as características dos gases dependerão do material a ser secado e das exigências de qualidade do mesmo. Outra possível utilização do gás de madeira é em motores de ciclo Otto ou de ciclo Diesel. No caso dos motores de ciclo Diesel, substituição de 80% a 90% do óleo diesel e, nos motores de ciclo Otto com ignição por faísca, pode-se substituir totalmente o combustível (Assumpção, 1981).

2.12 Efeitos da utilização da energia de biomassa sobre o meio ambiente

A emissão de dióxido de carbono, óxidos de nitrogênio, óxidos de enxofre e metais, em consequência da queima de combustíveis fósseis, é a causa mais evidente da poluição do ar. Ela afeta a qualidade do ar nos centros urbanos, contribui para a formação da chuva ácida e é uma das principais causas das alterações ambientais no mundo. Dessa forma, há um consenso geral em torno da idéia de que a conservação de energia e a transição para fontes de energia potencialmente renováveis e mais limpas, tais como energia solar, energia eólica, hidroeletricidade e energia da biomassa, juntamente com o desenvolvimento de tecnologias de redução da poluição, devem direcionar as

políticas energéticas no futuro para que as metas de conservação do meio ambiente sejam alcançadas. As necessidades são mais evidentes quando a visão de curto prazo do problema dá lugar a períodos de tempos mais longos, em que se consideram as necessidades das gerações futuras (Faaj et al., 2005).

A geração de energia elétrica a partir do processo de gaseificação utilizando materiais lignocelulósicos tem como poluentes principais as cinzas voláteis e as partículas de combustíveis não queimados completamente. A emissão de óxido de nitrogênio é pequena devido às temperaturas relativamente baixas do reator, e a de óxidos de enxofre é pequena devido ao baixo teor de enxofre nessas biomassas.

Assim, no uso de materiais lignocelulósicos, o controle mais importante deve ser feito sobre a emissão de particulados. Para que isso seja possível, utilizam-se os separadores ciclônicos, lavadores de gás, separadores eletrostáticos e filtros de manga. Esses filtros são mais simples, feitos com armação de madeira e recobertos com duas camadas de tecido de algodão, sendo mais utilizado pelos pequenos produtores rurais (Reis, 1984).

3 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 da Universidade Federal de Lavras.

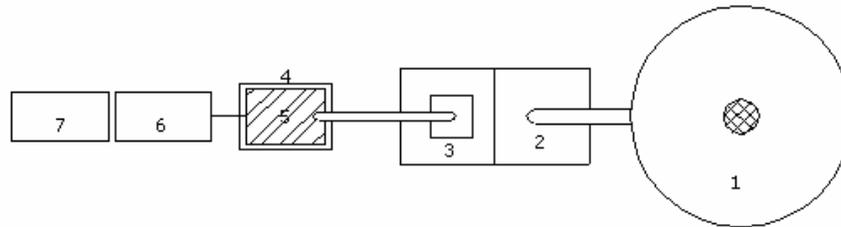
O sistema utilizado foi composto de um conjunto gaseificador contracorrente de alvenaria, um motor e um gerador síncrono (corrente alternada) de 220 volts e 5 kW de potência, além de um quadro de proteção e comando com regulador eletrônico de tensão. O conjunto está esquematizado na Figura 2.

3.1 Construção do conjunto gaseificador

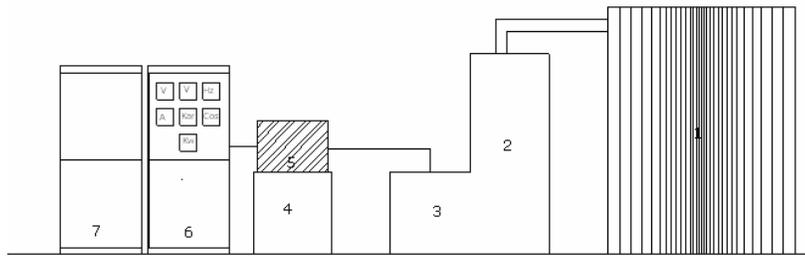
3.1.1 Gaseificador

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 que externamente, apresenta 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 cm x 160 cm (comprimento e diâmetro). O espaço entre o cilindro e as paredes foi preenchido com argamassa, bem mole, de barro e areia, na proporção 2:1. Na base, o gaseificador existem duas aberturas, uma para a limpeza periódica do reator, situada do lado oposto da abertura de acendimento,

tendo as dimensões de 18 cm x 18 cm. A outra abertura é para o acendimento do carvão com 9,5 cm de diâmetro.



(a)



(b)

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.

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 equipamento. 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, de maneira a transportar para o depósito o gás obtido da queima dos materiais lignocelulósicos.

3.1.2 Depósito de gás

O gás proveniente do gaseificador entra pela parte superior de uma estrutura de alvenaria de 170 cm de altura e seção quadrada de 68 cm 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.

3.1.3 Filtro de gás

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 cm x 68 cm x 70 cm e possui uma abertura na parte superior, usada para a colocação do filtro de algodão. Este possui dimensões de 30 cm 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.

3.1.4 Registro de regulação da mistura gás/ar

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.

3.1.5 Ventoinha

É necessária no processo de acendimento do gaseificador. É colocada ao lado do filtro de flanela, por uma abertura de 0,01 m de diâmetro, com a função

de succionar o ar para dentro do gaseificador. Após trinta minutos, a mesma é desligada e o orifício vedado para evitar vazamento de gás. Acoplada a ventoinha, existe uma tubulação para eliminar toda a fumaça produzida durante este período para a parte exterior do galpão, onde o conjunto gaseificador-gerador foi instalado e por ser o gás produzido tóxico.

3.2 Motor e gerador

Foi utilizado um motor a 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 era 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.

3.3 Quadro de comando e de cargas

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.

3.4 Aspecto final do sistema construído

Para construção do conjunto gaseificador-gerador foi utilizado o modelo adotado por Reis (1994). As Figuras 3, 4, 5 e 6 mostram as etapas de construção do conjunto gaseificador-gerador.

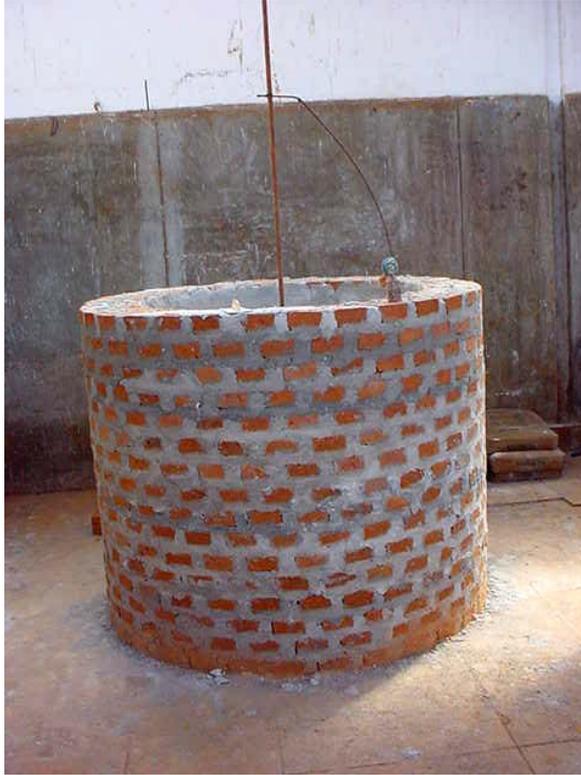


FIGURA 3 Início da construção do gaseificador.



FIGURA 4 Construção do gaseificador.



FIGURA 5 Conjunto gaseificador-gerador, painel de cargas.



FIGURA 6 Quadro de comando de carga.

3.5 Combustível

Foram utilizados materiais lignocelulósicos. Para a perfeita caracterização desses materiais, eles foram analisados quanto à composição química imediata, ao poder calorífico e à 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-se a Norma NBR 8633 (ABNT, 1983) e a densidade do granel pela Norma NBR 6922 (ABNT, 1981).

3.6 Cálculo do consumo de carvão

Para medir o consumo de carvão, antes do enchimento 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 leitura. Conhecendo-se o volume e a massa do carvão, determinou-se a massa de carvão consumida, corrigida para uma hora.

3.7 Cálculo da energia gerada

A energia consumida pela carga foi mensurada por meio de um medidor de energia ativa padrão, utilizado pelas concessionárias de energia elétrica. Essa medida foi obtida diretamente, em kWh. Devido à 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 a potência aparente pôde ser calculada, indiretamente, por meio da Equação 11.

$$S = VI \quad (11)$$

Como a carga é resistiva, ou seja, o fator de potência é igual a 1, a potência ativa instantânea foi calculada por meio do produto da Equação 12:

$$P = VI \quad (12)$$

Em que:

P = potência ativa (Watts);

V = tensão de linha do sistema 220 volts;

I = corrente de linha (ampères).

3.8 Carbonização dos resíduos agrícolas

Os gaseificadores contracorrente utilizam somente materiais carbonizados, pois os produtos da pirólise não passam pela zona de oxidação, local onde ocorre o seu craqueamento pelas altas temperaturas. Para a utilização dos resíduos agrícolas no processo de gaseificação, os mesmos foram previamente carbonizados. Para isso utilizou-se um dispositivo em forma de “T” invertido, oco, de fácil construção, bastando apenas algumas chapas metálicas soldadas, conforme pode ser observado na Figura 6.



FIGURA 6 Chaminé construída com 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-se o dispositivo e os mesmos procedimentos empregados para a carbonização da palha de arroz descritos por Maluf (1998).

3.9 Delineamento experimental

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 apresentado na Tabela 7.

TABELA 7 Delineamento experimental utilizado.

TRATAMENTO	MATERIAIS LIGNOCELULÓSICOS	PROCEDÊNCIA
1	<i>Eucalyptus 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	<i>Eucalyptus spp.</i> (Mistura dos tratamentos de 1 a 6 = M1)	
8	Moinha de carvão de <i>Eucalyptus spp.</i>	Empresa Plantar
9	Resíduos de serraria (aparas, serragem)	Serraria/UFLA
10	Resíduos da indústria madeira (mistura dos tratamentos 8 e 9=M2)	
11	Sabugo de milho (<i>Zea may</i>)	DAG /UFLA*
12	Casca de coco (<i>Cocus nucifera</i>)	Feirante/Lavras
13	Casca de arroz (<i>Oriva sativa</i>)	Máquina Arroz/Lavras
14	Palha de café (<i>Coffea spp.</i>)	DAG/UFLA
15	Bagaço de cana (<i>Saccharum spp</i>)	Cachaçaria Bocaína/Lavras
16	Resíduos agroindústria (mistura dos tratamentos 11 a 15 = M3)	
17	Materiais lignocelulósicos (mistura dos tratamentos 7 a 16 = M4)	

* Departamento de Agricultura da Universidade Federal de Lavras.

3.10 Condução da gaseificação

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. Trinta minutos após 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 encontrava-se adequado para uso. Após constatar a boa qualidade do gás, o tubo foi acoplado ao motor. Então, a partida foi acionada utilizando-se a gasolina e, aos poucos, a gasolina foi sendo cortada 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.

3.11 Riscos do processo de gaseificação

Durante o processo de gaseificação, alguns cuidados devem ser tomados em relação aos riscos e acidentes que podem ocorrer. Entre os componentes do gás produzido, o monóxido de carbono é um poluente que, em grandes concentrações, pode causar dor de cabeça, náuseas e até a morte do operador. Se aspirado, o monóxido de carbono liga-se à hemoglobina nas células vermelhas, substituindo o oxigênio, formando a carboxyhemoglobina. Este composto diminui a capacidade do sangue de transportar oxigênio. O monóxido de carbono apresenta afinidade pela hemoglobina 240 vezes maior que a do oxigênio, o que faz com que uma pequena quantidade de monóxido de carbono possa saturar uma grande quantidade de moléculas de hemoglobina. Para se proteger o operador, deve-se usar máscara de gás e trabalhar sempre acompanhado. Outro problema é em relação a possíveis explosões que possam ocorrer, devido à má distribuição das partículas dentro do gaseificador e por falta de atenção do operador quando for testar o gás para saber se o mesmo encontra-se em condições ideais para ser colocado no motor.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A construção do conjunto gaseificador foi simples, 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 a 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 apresentou um tempo baixo de carbonização, no entanto, com baixo rendimento, cerca de 10%, sendo inviável sua utilização. A casca de coco não se mostrou favorável ao processo de carbonização, pois praticamente todo o material foi queimado tornando, portanto, inviável a sua utilização em gaseificadores contracorrente.

A umidade do combustível nos gaseificadores contracorrente, a princípio, tem pouca influência, uma vez que os gases quentes provenientes das zonas de pirólise e gaseificação promovem a secagem do mesmo. A água removida neste processo não influencia as características dos gases gerados nessas zonas (Assumpção, 1981).

No entanto, segundo Carvalho et al (1987), a umidade do carvão não deve ser superior a 7%. O carvão úmido diminui a temperatura na zona de oxidação, reduzindo, assim, a qualidade do gás. Com isso, não ocorre a partida do motor e o funcionamento do gaseificador é irregular. Na Tabela 8 podem-se observar os valores médios de umidade, matérias voláteis, cinzas e granulometria. Constata-se que todos os materiais testados apresentam valores inferiores a 7% de umidade, exceto *Eucalyptus urophylla*, que apresentou 7%, o que não deve ser significativo, pela baixa diferença do valor ideal. Já o material

casca de café apresentou umidade média de 11%, o que pode, a princípio, afetar a zona de gaseificação.

Nos gaseificadores contracorrente a troca térmica se dá por contato direto, o que permite a utilização de materiais com maior granulometria. Deve-se, porém, trabalhar dentro de limites para evitar a excessiva formação de finos e compactação do carvão na zona de reação, o que dificultaria o fluxo dos gases (Assumpção, 1981). Este fato explica porque os resíduos agroindustriais (casca de café, palha de arroz e sabugo de milho) não produziram gases. Após carbonizados, estes apresentam uma granulometria fina, na forma de pó, o que pode ter contribuído para a não formação e o fluxo de gases.

Outro fator importante relacionado com a matéria-prima é o teor de voláteis que esta contém. Materiais que possuem altos teores de voláteis produzem gases impuros. Dessa forma, necessita de um sistema de limpeza com maior capacidade, dependendo da utilização final do gás (Assumpção, 1981). Quanto maior os valores de materiais voláteis, menos carbono fixo o material conterá, como pode ser observado na Tabela 8. 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).

TABELA 8 Valores médios de umidade, em %, materiais voláteis (MV), em %, teor de cinzas, em % e granulometria dos materiais, em mm.

Tratamento	Umidade	M V	Cinzas	Granulometria
5- <i>E. cloeziana</i>	7	21	0,3	25 – 38
4- <i>E. urophilla</i>	7	21	0,2	25 – 38
6- <i>Corimbia citriodora</i>	6	22	0,8	25 – 38
1- <i>E. grandis</i>	3	19	0,5	> 38
2- <i>E. camaldulenses</i>	6	26	0,2	25 – 38
3- <i>E. 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	-

M1 e M2 – mistura dos materiais, descritos na Tabela 7.

TABELA 9 Porcentagem de carvão vegetal encontrada em diferentes granulometrias.

Tratamento	> 38, mm	38 – 25 mm	25 – 12 mm	Finos
1- <i>E. grandis</i>	42,5%	21,0%	19,0%	17,5%
2- <i>E. camaudulenses</i>	30,0%	35,5%	27,0%	7,5%
3- <i>E. saligna</i>	33,0%	35,0%	23,0%	9,0%
4- <i>E. urophylla</i>	29,0%	34,0%	23,0%	14,0%
5- <i>E. 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%

M1 e M2 - mistura dos materiais descritos na Tabela 7.

Na Tabela 9 estão os valores encontrados na classificação granulométrica dos tratamentos utilizando o carvão vegetal. O mais homogêneo foi o tratamento que utilizou o carvão da espécie *Corimbia citriodora*.

Os valores médios de corrente, tensão e potência ativa obtidos nos testes da gaseificação são apresentados na Tabela 1A, para os tratamentos utilizando *Eucalyptus cloeziana* e *urophila*; na Tabela 2A, para os tratamentos utilizando *Corimbia citriodora* e *grandis*; na Tabela 3A, para os tratamentos utilizando *Eucalyptus camaldulenses* e *saligna*; na Tabela 4A, para os tratamentos utilizando a mistura M1 e costaneira, na Tabela 5A, para a mistura M2 e, na Tabela 6A, para o tratamento utilizando gasolina, em anexo.

TABELA 10 Valores médios de potência a 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.

Tratamento	PA	CF	DENS	PC	CONS
3- <i>E. 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>E. 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>E. grandis</i>	1200 c	81 g	202 d	7394 d	5,7 a
4- <i>E. urophylla</i>	1209 c	79 e	191 b	7121 c	6,3 a
2- <i>E. camaldulense</i>	1274 d	74 b	264 i	7835 f	7,0 a
6- <i>Corimbia</i>	1391 e	78 d	235 g	7511 d	5,7 a

M1 e M2 - mistura dos materiais descritos na Tabela 7. As médias seguidas de uma mesma letra não diferem entre si, a 5% de significância, pelo teste de Scott-Knott.

O resumo da análise de variância está apresentado nas Tabelas 7A, 8A, 9A, 10A e 11A em Anexo. Na Tabela 10 encontram-se o teste de médias

para potência ativa, carbono fixo, densidade, poder calorífico e consumo do carvão vegetal.

Pela análise de variância e aplicação do teste de Scott-Knott, a 5% de significância, verificou-se que o maior valor de potência ativa foi obtido quando se usou carvão vegetal da espécie *Corimbia citriodora*, com teor de carbono fixo de 78%. O mesmo possui maior uniformidade em sua granulometria, fator este 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. Este 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 combustível gasolina, de alto poder calorífico.

A análise de variância demonstrou que o maior valor de carbono fixo (81%) foi obtido quando se utilizou carvão vegetal da espécie *Eucalyptus grandis*; esperava-se que o mesmo obtivesse a maior potência ativa, o que não ocorreu. Esse fato pode ser explicado pela granulometria do carvão, com grande desuniformidade das partículas, 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.

Os maiores valores de densidade e poder calorífico foram obtidos quando se utilizou carvão vegetal da espécie *Eucalyptus camaldulenses*. Esperava-se que o mesmo apresentasse maior potência ativa, o que não ocorreu devido ao baixo teor de carbono fixo de 74%. Este fator influi na formação dos

gases, conforme descrito por Mendes (1994) e também na desuniformidade em suas partículas.

Não houve diferença significativa no consumo de carvão vegetal. Este consumo foi maior que o encontrado por Mendes (1994). O reator utilizado por ele apresenta uma menor abertura de admissão de oxigênio na zona de oxidação, o que, conseqüentemente, diminui a velocidade das reações e o consumo de combustível.

5 CONCLUSÕES

- O conjunto gaseificador–gerador foi de fácil construção, fabricado com materiais de fácil aquisição.
- O bagaço de cana e a casca de coco não apresentaram boa carbonização, sendo inviável sua utilização no gaseificador-contracorrente
- O carvão da espécie *Corimbia citriodora* apresentou o melhor desempenho, com 1.391 watts.
- Os resíduos utilizados de bagaço de cana, palha de arroz, casca de café, sabugo de milho e muínha de carvão não apresentam potencial para a geração de energia, pelo tipo de gaseificador utilizado.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALMEIDA, J. M. **Efeito da temperatura sobre o rendimento e propriedades dos produtos de carbonização de Eucalyptus grandis W. Hill ex Maiden.** 1983. 43 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG

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. 53-72.

BRASIL. Ministério de Minas e Energia. **Balanco energético nacional.** Brasília, DF, 2005.

CARVALHO, A. de S.; ARORA, H. L.; CARIOCA, J. O.B.; GONDIN, B.C.; SILVA, N. A. da. **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.

FAAJ, A.; WALTER, A.; BAUEN, A.; BEZZON, G.; ROCHA, J. D.; MOREIRTA, J. R.; CRAIG, K. R.; OVEREND, R. P.; BAIN, R. L. Novas tecnologia para os vetores modernos de energia de biomassa. In: CALLE, F. R.; BAJAY, S. V.; ROTHMAN, H. **Uso da biomassa para produção de energia na indústria brasileira.** Campinas, SP: UNICAMP, 2005. cap. 9, p. 339-417.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. Os brasileiros que vivem na escuridão. 2000. Disponível em <www.unicamp.br>. Acesso em: 04 dez. 2006.

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 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

MENDES, L. M.; SILVA, J. R. da; TRUGILHO, P. F. **Gaseificação de carvão vegetal e/ou madeira para geração de energia em pequena escala.** Lavras: UFLA/FAEPE, 1998.

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.

NOGUEIRA, L. A. H. **Dendroenergia: fundamentos e aplicações.** Rio de Janeiro: Interciência, 2003.

PASSOS, E. Todo o peso da energia elétrica na produção irrigada. **Estado de Minas**, Belo Horizonte, 13 maio 1992. p. 6-7. Cad. Agropecuário.

PONTE FILHO, F. **Gaseificadores de leito fixo, análise e modelagem para otimização de projetos de pesquisa.** Brasília: Centro Gráfico do Senado Federal, 1988. 165 p.

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. 46 p. Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG.

SIQUEIRA, A. B. Gasogênio para motores. In: FUNDAÇÃO CENTRO TECNOLÓGICO DE MINAS GERAIS/CETEC. **Gaseificação de madeira e carvão vegetal.** Belo Horizonte, 1981. p. 102-112.

VALENTE, O. F.; VITAL, B. R. **A densidade da madeira e a produtividade em carvão vegetal.** Viçosa: Sociedade de Investigação Florestais, 1985. 6 p. (Informativo SIF 1).

ANEXOS

ANEXO A	Página
TABELA 1A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando <i>Eucalyptus cloeziana</i> e <i>urophila</i>	46
TABELA 2A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando <i>Eucalyptus corimbia</i> e <i>E. grandis</i>	47
TABELA 3A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando <i>Eucalyptus camaldulenses</i> e <i>E. saligna</i>	48
TABELA 4A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando mistura M1 e costaneira.....	49
TABELA 5A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando mistura M2	50
TABELA 6A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando gasolina	51

TABELA 7A	Resumo das análises de variância de potência ativa (watts) para os materiais	52
TABELA 8A	Resumo das análises de variância de teor de carbono fixo para os materiais.....	52
TABELA 9A	Resumo das análises de variância de densidade para os materiais.....	52
TABELA 10A	Resumo das análises de variância de poder calorífico superior para os materiais.....	52
TABELA 11A	Resumo das análises de variância de consumo para os Materiais	53

TABELA 1A Valores médios de corrente, tensão e potência para os tratamentos utilizando *Eucalyptus cloeziana* e *E. urophylla*.

Tratamento					
1 – <i>Eucalyptus cloeziana</i>			2 – <i>Eucalyptus urophylla</i>		
Corrente (Ampéres)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)	Corrente (Ampéres)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)
1	230	230	1	230	230
1,69	230	388,7	1,69	230	388,7
2,4	230	552	2,39	230	549,7
3,11	230	715,3	3,1	230	713
3,83	230	880,9	3,8	230	874
4,52	230	1039,6	4,5	230	1035
4,9	230	1127	5,1	230	1173
5,03	230	1156,9	5,35	230	1230,5
5,1	227	1157,7	0,99	230	227,7
0,99	230	227,7	1,67	230	384,1
1,69	230	388,7	2,37	230	545,1
2,39	230	549,7	3,06	230	703,8
3,02	230	694,6	3,89	230	894,7
3,8	230	874	4,44	230	1021,2
4,48	230	1030,4	5,16	230	1186,8
5,17	230	1189,1	0,98	230	225,4
1,03	230	236,9	1,65	230	379,5
1,72	230	395,6	2,33	230	535,9
2,43	230	558,9	3,05	230	701,5
2,45	230	563,5	3,73	230	857,9
3,84	230	883,2	4,45	230	1023,5
4,56	230	1048,8	5,12	230	1177,6
5,22	225	1174,5	5,26	230	1209,8

TABELA 2A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando *Corimbia citriodora* e *E. grandis*.

Tratamento					
3 – <i>Corimbia citriodora</i>			3 – <i>Eucalyptus grandis</i>		
Corrente (Ampères)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)	Corrente (Ampères)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)
1,01	230	232,3	1,03	230	236,9
1,68	230	386,4	1,71	230	393,3
2,39	230	549,7	2,4	230	552
3,09	230	710,7	3,09	230	710,7
3,8	230	874	3,93	230	903,9
4,5	230	1035	4,8	230	1104
5,17	230	1189,1	5,19	230	1193,7
5,91	230	1359,3	1,01	230	232,3
6,02	230	1384,6	1,7	230	391
1,02	230	234,6	2,39	230	549,7
1,73	230	397,9	3,07	230	706,1
2,43	230	558,9	3,79	230	871,7
3,15	230	724,5	4,47	230	1028,1
3,86	230	887,8	5,22	230	1200,6
4,53	230	1041,9	0,99	230	227,7
5,26	230	1209,8	1,77	230	407,1
6,16	227	1398,32	2,43	230	558,9
1,01	230	232,3	3,14	230	722,2
1,7	230	391	3,85	230	885,5
2,38	230	547,4	4,55	230	1046,5
3,1	230	713	5,24	230	1205,2
3,8	230	874			
4,49	230	1032,7			
5,16	230	1186,8			
5,52	230	1269,6			
6,04	230	1389,2			

TABELA 3A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando *Eucalyptus camaldulenses* e *E. saligna*

Tratamento					
4 – <i>Eucalyptus camaldulenses</i>			5 – <i>Eucalyptus saligna</i>		
Corrente (Ampères)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)	Corrente (Ampères)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)
1	230	230	1	230	230
1,69	230	388,7	1,69	230	388,7
2,38	230	547,4	2,4	230	552
3,08	230	708,4	3,09	230	710,7
3,8	230	874	3,8	230	874
4,48	230	1030,4	4,48	230	1030,4
5,52	230	1269,6	1,02	230	234,6
1,01	230	232,3	1,7	230	391
1,7	230	391	2,38	230	547,4
2,39	230	549,7	3,09	230	710,7
3,09	230	710,7	3,77	230	867,1
3,77	230	867,1	4,47	230	1028,1
4,47	230	1028,1	0,99	230	227,7
5,14	230	1182,2	1,68	230	386,4
5,55	230	1276,5	2,36	230	542,8
1,01	230	232,3	3,08	230	708,4
1,69	230	388,7	3,78	230	869,4
2,4	230	552	4,46	230	1025,8
3,11	230	715,3			
3,83	230	880,9			
4,52	230	1039,6			
5,2	230	1196			
5,54	230	1274,2			

TABELA 4A Valores médios de corrente, tensão e potência, para os tratamentos utilizando mistura M1 e carvão de costaneira.

Tratamento					
6 - Mistura M1*			7 - Costaneira		
Corrente (Ampéres)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)	Corrente (Ampéres)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)
1,01	230	232,3	0,95	230	218,5
1,68	230	386,4	1,86	230	427,8
2,37	230	545,1	2,75	230	632,5
3,04	230	699,2	3,67	230	844,1
3,75	230	862,5	4,34	230	998,2
4,46	230	1025,8	5,13	230	1179,9
5,18	227	1175,86	0,96	230	220,8
0,99	230	227,7	1,63	230	374,9
1,69	230	388,7	2,3	230	529
2,38	230	547,4	3,02	230	694,6
3,08	230	708,4	3,71	230	853,3
3,8	230	874	4,34	230	998,2
4,52	230	1039,6	5,21	230	1198,3
5,03	230	1156,9	0,96	230	220,8
1,01	230	232,3	1,64	230	377,2
1,68	230	386,4	2,33	230	535,9
2,37	230	545,1	3,02	230	694,6
3,09	230	710,7	3,73	230	857,9
3,79	230	871,7	4,4	230	1012
4,53	230	1041,9	5,04	230	1159,2
4,96	230	1140,8			

* Mistura 1 mistura dos materiais descritos na Tabela 7.

TABELA 5A Valores médios de corrente, tensão e potência, para o tratamento utilizando mistura M2.

Tratamento		
8- Mistura M2		
Corrente (Ampéres)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)
1,00	230	230
1,47	230	338,1
2,09	230	480,7
2,83	230	650,9
2,99	230	687,7
3,21	230	738,3
3,75	230	862,5
4,39	230	1009,7
1,00	230	230
1,52	230	349,6
1,98	230	455,4
2,67	230	614,1
3,08	230	708,4
3,90	230	897
4,55	227	1046,5
0,99	230	227,7
1,21	230	278,3
2,05	230	471,5
2,38	230	547,4
3,10	230	713
3,85	230	885,5
4,06	230	933,8
4,49	230	1032,70

* Mistura 2 mistura dos materiais descritos na Tabela 7.

TABELA 6A Valores médios de corrente, tensão e potência, para o tratamento utilizando gasolina.

Tratamento		
Gasolina		
Corrente (Ampéres)	Tensão (Volts)	Pot. Ativa (Watts)
0,98	230	225,4
1,67	230	384,1
2,38	230	547,4
3,09	230	710,7
3,80	230	874,0
4,48	230	1030,4
5,17	230	1189,1
6,10	230	1403
7,00	230	1610
7,88	230	1812,4
8,78	230	2019,4
9,62	230	2212,6
0,98	230	225,4
1,68	230	386,4
2,38	230	547,4
3,08	230	708,4
3,79	230	871,7
4,49	230	1032,7
5,17	230	1189,1
6,09	230	1400,7
6,99	230	1607,7
7,87	230	1810,1
8,77	230	2017,1
9,63	230	2214,9
0,98	230	225,4
1,68	230	386,4
2,38	230	547,4
3,09	230	710,7
3,80	230	874
4,49	230	1032,7
5,17	230	1189,1
6,09	230	1400,7
6,99	230	1607,7
7,87	230	1810,1
8,78	230	2019,4
9,63	230	2214,9

TABELA 7 A. Resumo das análises de variância de potência ativa (watts) para os materiais lignocelulósicos.

F.V	G.L	Q.M.	F
Tratamento	8	37657,2315	200,660
Erro	18	187,6667	-
Total	26	-	-

CV (%) = 1,16

TABELA 8 A. Resumo das análises de variância de teor de carbono fixo para os materiais lignocelulósicos.

F.V	G.L	Q.M.	F
Tratamento	8	37,259259	125,750
Erro	18	0,296296	
Total	26		

CV (%) = 0,69

TABELA 9 A. Resumo das análises de variância de densidade para os materiais lignocelulósicos.

F.V	G.L	Q.M.	F
Tratamento	8	2538,148148	3606,842
Erro	18	0,703704	
Total	26		

CV (%) = 0,39

TABELA 10A. Resumo das análises de variância de poder calorífico para os materiais lignocelulósicos.

F.V	G.L	Q.M.	F
Tratamento	8	1306989,083333	342,942
Erro	18	3811,111111	
Total	26		

CV (%) = 0,86

TABELA 11A. Resumo das análises de variância de consumo para os materiais lignocelulósicos.

F.V	G.L	Q.M.	F
Tratamento	8	1306989,083333	342,942
Erro	18	3811,111111	
Total	26		

CV (%) = 13,81