

# Avaliação Técnica da Utilização de Gás de Biomassa em Motores Alternativos de Ignição por Centelha

Jose Aparecido Cavalcante – CPFL Paulista: E. E.S. Lora, R. V. Andrade, F.N.Teixeira, M.A.R.Nascimento, A.J.J.Rezek, V.M. Cobas, H.Wilke, UNIFEI

**Resumo**—Este trabalho apresenta os resultados obtidos durante o projeto P&D intitulado “GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS DE BIOMASSA VISANDO A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE POLUENTES ATMOSFÉRICOS”, parceria entre a Universidade Federal de Itajubá através do Núcleo de Excelência em Geração Termelétrica e Distribuída (NEST) e a Companhia de Força e Luz do Estado de São Paulo (CPFL) com recursos da Agência Nacional de Energia Elétrica (ANEEL), neste projeto foi testada a viabilidade de utilização do gás de biomassa, gerado em gaseificadores de leito fixo de fluxo cruzado, em motores de combustão interna, alternativos de ignição por centelha.

**Palavras-chave**—Biomassa, Gaseificação, motores alternativos de ignição por centelha, geração distribuída.

## I. INTRODUÇÃO

Acordos internacionais para a redução das emissões de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>) e outros gases que causam o “efeito estufa” propiciam a retomada e o incentivo as pesquisas envolvendo as fontes alternativas de energia, entre as quais, encontra-se a biomassa.

A biomassa no Brasil e no mundo é reconhecida como uma das fontes energéticas de maior potencial quando a questão é a substituição dos combustíveis fósseis. Países como a Alemanha e outros da comunidade Econômica Européia já estão implementando planos de incentivo a utilização da biomassa, seguindo essa linha o Brasil também tem incentivado o uso dessa fonte, onde podemos citar o programa proalcool e mais recentemente o proinfa e o proibio-diesel.

A utilização da biomassa como fonte de energia primária constitui, no atual cenário mundial onde os impactos ambientais são amplamente discutidos, um importante energético desde que é uma fonte renovável de energia, sendo sua utilização, também, um importante fator de desenvolvimento sustentável.

Sendo assim, o projeto P&D intitulado “GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA A PARTIR DE RESÍDUOS DE BIOMASSA VISANDO A REDUÇÃO DE EMISSÕES DE

POLUENTES ATMOSFÉRICOS”, se propôs a estudar a utilização da biomassa como vetor energético para geração de energia elétrica através de sua conversão termoquímica num gás combustível em gaseificadores de leito fixo com queima posterior em motores de combustão interna alternativos de ignição por centelha para geração de energia elétrica.

Os testes mostraram a possibilidade da operação de motores alternativos de ignição por centelha utilizando gás de baixo poder calorífico, da ordem de 3,7 MJ/Nm<sup>3</sup>, gerado em reatores de leito fixo do tipo fluxo cruzado.

No intuito de promover um produto com mínimo impacto ambiental, optou-se pela utilização de um sistema de limpeza do tipo catalítico. Esta é uma limpeza a seco, evitando o efeito de poluição secundária pelo aparecimento de uma significativa vazão de água contaminada com alcatrões e particulados típica dos sistemas convencionais com lavadores. Esse tipo de limpeza propicia ainda uma melhora no poder calorífico do gás já que maximiza a produção de hidrogênio e monóxido de carbono, que são gases de alto poder calorífico.

A operação do motor com gás de biomassa provocou a redução do rendimento do motor que era de 22% com gasolina para 10 % com gás que corresponde a uma carga de 2,6 kW a qual deve ser maior para cargas maiores, no entanto, houve também uma redução significativa nos índices de emissões de poluentes. A relação ar/combustível ótima para a operação do motor com gás foi de 1/1,24, valor para o qual, obteve-se a potência de 2,6 kW tendo atingido um pico de 4,1 kW, que não teve repetibilidade.

## II. DESCRIÇÃO DO SISTEMA ESTUDADO E PROCEDIMENTO EXPERIMENTAL

### A. Introdução

Para a realização dos testes foi projetado e construído um conjunto ou modulo de geração de energia conforme mostra a Figura 1, que é constituído de um gaseificador; um sistema de limpeza, que compreende um reator catalítico, um ciclone e um trocador de calor; um cavalete para realizar a mistura do ar/combustível; um motogerador e um painel de sincronismo.

Os autores agradecem o apoio financeiro da Companhia de Força e Luz do Estado de São Paulo (CPFL).

E. E. S. Lora trabalha na Universidade Federal de Itajubá (e-mail: esl43@yahoo.com).

R. V. Andrade desenvolve pesquisas na Universidade Federal de Itajubá (e-mail: ruben@unifei.edu.br).

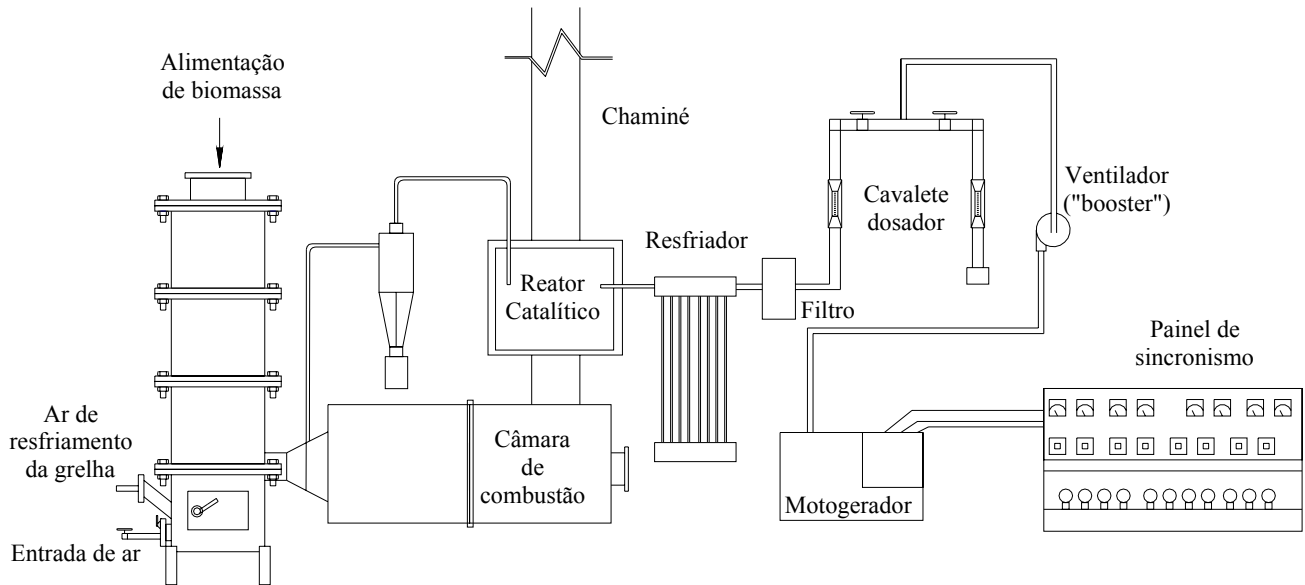


Figura 1 Diagrama Esquemático do Sistema Estudado.

### B. Gaseificador

O gaseificador utilizado é do tipo leito fixo em fluxo cruzado com capacidade 46,52 kWt. Esse gaseificador não foi projetado, propriamente, para o projeto tendo sido adaptado para essa aplicação.

É capaz de gerar um gás de poder calorífico da ordem de 3 MJ/Nm<sup>3</sup>. A sua partida é realizada utilizando carvão vegetal, que incinerando na base do reator sob a grelha. O gaseificador é de concepção simples constando de um vaso com paredes de aço revestido por material refratário, dimensionado de forma a permitir as condições de gaseificação. Pode operar com diferentes tipos de biomassa, porém a granulometria não pode ser muito pequena a fim de permitir a passagem do ar e dos gases.

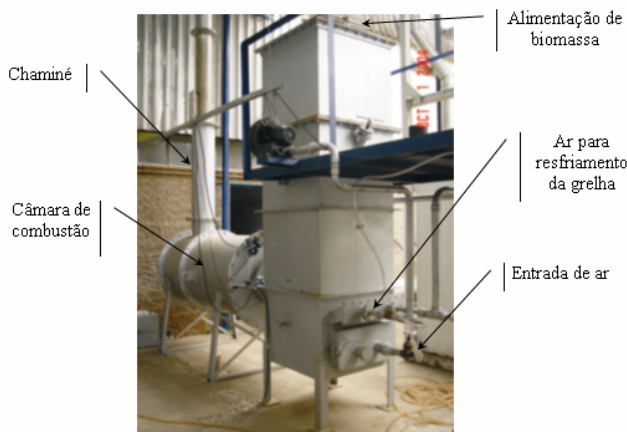


Figura 2. Foto do gaseificador de leito fixo de fluxo cruzado

### C. Sistema de Limpeza

#### Reator Catalítico

O reator catalítico (Figura 3) é formado por um vaso pre-

enchido por pequenas peças de níquel (Ni), que é o catalizador propriamente dito, permitindo a maximização da formação do hidrogênio (H<sub>2</sub>) e do monóxido de carbono (CO). O processo se dá na presença de vapor de água, que no caso está presente no gás gerado. O objetivo do reator é a transformação do alcatrão em CO e H<sub>2</sub> na presença de vapor. De acordo com [1] a Equação (1) representa a reforma do alcatrão.

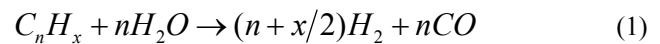


Figura 3. Reator Catalítico

#### Ciclone

Um ciclone é utilizado com a finalidade de retirar as partículas mais grossas arrastadas pelo gás através da tubulação (Figura 4).

#### Trocador de calor

Um trocador de calor (Figura 5) é utilizado para condensar o vapor de água e alcatrões residuais presentes no gás. É utilizada água, à temperatura ambiente, como fluido refrigerante.



Figura 4. Ciclone



Figura 5. Trocador de calor

#### *Cavalete Dosador*

Esse equipamento (Figura 6), serve para controlar a composição da mistura de ar e combustível que será introduzida na câmara de combustão do motor. É constituído por dois rotâmetros, para medir vazões volumétricas, sendo um para o ar e outro para o gás de biomassa.

Para a filtragem do ar foi adaptado no cavalete o filtro que foi fornecido com o motogerador.

#### *Motogerador*

O motogerador utilizado foi um módulo de 10 kWe a gasolina (Figura 7). O motor possui dois cilindros dispostos em V, resfriado a ar e a mistura ar/combustível é feita através de um carburador.

O gerador é do tipo dois pólos e gera a 60 Hz em 110 e 220 V.



Figura 6. Cavalete dosador



Figura 7. Motogerador utilizado no projeto

#### *Painel de Sincronismo*

O sistema possui um painel de sincronismo que simula a carga (Figura 8), através de lâmpadas e também permite a conexão com a rede da concessionária.



Figura 8. Painel de sincronismo

## III. RESULTADOS

## A. Características da Biomassa Utilizada no Gaseificador

A biomassa utilizada nos testes do gaseificador foi a lenha de eucalipto, sendo suas principais características apresentadas na Tabela 1. O preço pago pela mesma foi de R\$ 45,00/m<sup>3</sup>.

TABELA 1 CARACTERÍSTICAS DA BIOMASSA UTILIZADA

Composição elementar [%]*	C	H	O	N	S	Cinzas
	49,00	5,87	43,97	0,30	0,01	0,72
Composição imediata [%]*	Voláteis		Carbono Fixo		Cinzas	
	81,42		17,82		0,79	
Poder calorífico [MJ/kg]*	19,4					
Umidade [%]**	14,34					

\* [2]

\*\* Determinada no Laboratório do NEST, utilizando-se uma unidade automática de determinação de umidade.

## B. Características de operação do gaseificador

O consumo de biomassa para a operação do gaseificador foi de 40 kg/h e o consumo médio de ar foi de 1,36 m<sup>3</sup>/h.

A Figura 9 apresenta a distribuição de temperatura ao longo do gaseificador, onde é possível verificar, onde há um valor mais alto de temperatura, a região de oxidação e uma redução de temperatura acentuada logo acima desse setor, devido ao isolamento provocado pela madeira a qual está sobre efeito de secagem e pirólise.

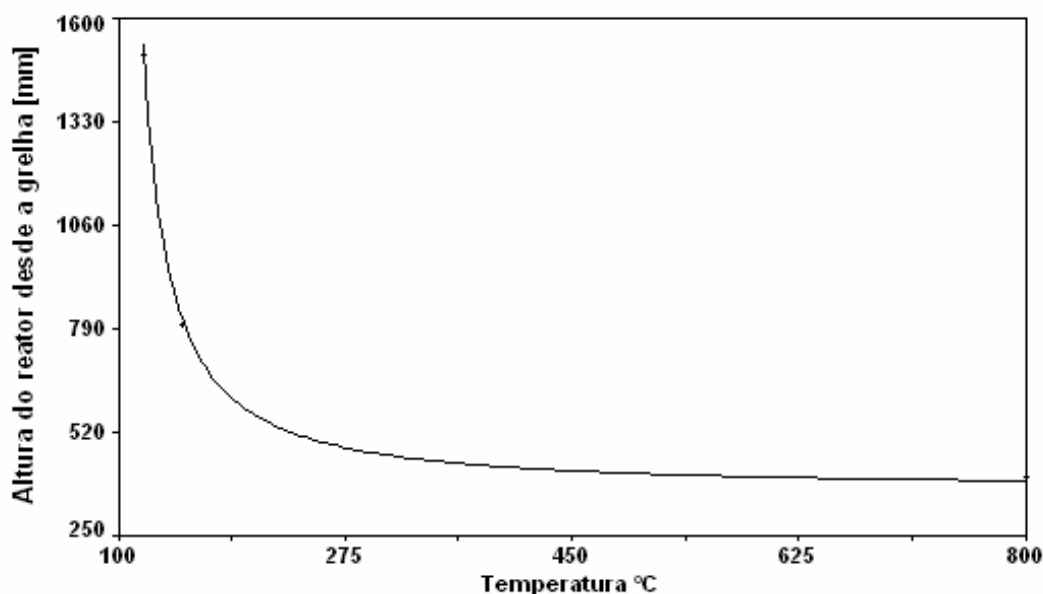


Figura 9 Distribuição de temperatura ao longo do reator durante a operação em regime de gaseificação

## C. Características do gás obtido

## Composição do gás

A composição do gás foi determinada por meio de analisadores contínuos de gases, calibrados antes de cada testes com gás padrão, que fornecem medidas em tempo real da composição do gás gerado antes e após o sistema de limpeza catalítica (CO, CH<sub>4</sub>, H<sub>2</sub>). A composição média obtida é apresentada na Tabela 2

Para o C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> e C<sub>2</sub>H<sub>6</sub>, foram adotados os mínimos valores de concentração no gás de gaseificação de biomassa apresentados na literatura que são, 0,1 % e 0,004 %, respectivamente.

TABELA 2 COMPOSIÇÃO QUÍMICA DO GÁS GERADO NO GASEIFICADOR

Elementos	CO	H <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub>
Composição antes do Sistema de limpeza	13,80	3,14	2,40
Composição depois do Sistema de limpeza	16,3	7,07	2,3

#### Poder calorífico

O poder calorífico do gás foi determinado pela equação 2. O valor obtido foi de 3 MJ/kg antes e 3,7 após do sistema de limpeza catalítica. Sendo assim, como resultado do processo de catalise, tem-se:

Um aumento considerável do teor de H<sub>2</sub> no gás e um ligeiro aumento do teor de CO. O teor de CH<sub>4</sub>, como já era esperado, sofreu uma pequena diminuição.

Como resultado da mudança de composição do gás obteve-se uma melhora do poder calorífico do gás.

Porém, ainda constatou-se a chegada de expressiva quantidade de alcatrão no cavalete de mistura, provavelmente por causa da dificuldade de manutenção da temperatura ótima do processo de reforma catalítica.

$$PCI = 0,126 CO + 0,358 CH_4 + 0,108 H_2 + 0,5907 C_2H_4 + 0,6375 C_2H_6 \quad (2)$$

#### Eficiência do gaseificador

A eficiência a frio do gaseificador foi calculada conforme a equação 3, onde se obteve o valor de 27%. Isto sem considerar a limpeza catalítica, onde parte do gás é queimado para manter a temperatura requerida pelo processo de catalise.

$$\eta = \frac{(PCI \cdot \dot{m})_{gás}}{(PCI \cdot \dot{m})_{combustível}} \quad (3)$$

#### D. Testes do motogerador com gasolina

A Tabela 3 apresenta os parâmetros de operação do motor obtidos durante os ensaios com gasolina, considerando-se a variação da carga imposta.

Os valores de emissões de gases de exaustão obtidos nos testes são relacionados na Tabela 4, também de acordo com a variação de potência imposta ao motor.

TABELA 3 DADOS OPERACIONAIS

Carga	vazão de combustível	rotação	Temperatura do gás de exaustão	Vazão de ar
kW	kg/s	rpm	°C	kg/s
Sem carga	0,00044	3600	297,8	0,0061
1,78	0,00053	3600	365,8	0,0072
3,72	0,00061	3600	409,7	0,0077
5,71	0,00075	3600	443,1	0,0094
7,83	0,00088	3600	462,2	0,0115
9,95	0,00125	3600	459,1	0,0149
10,4	0,00128	3600	447,1	0,0151

TABELA 4 DADOS DE EMISSÃO DE POLUENTES

DADOS DE EMISSÃO							
Carga	CO <sub>2</sub>	CO	CxHy	NOx	SOx	O <sub>2</sub>	exc ar
kW	%	ppm	%	ppm	ppm	%	
Sem carga	13,4	16500	0	98	0	2,9	1,16
1,78	13,7	12600	0	160	0	2,5	1,13
3,72	13,5	10700	0	317	0	2,7	1,15
5,71	14,2	12600	0	643	0	1,9	1,1
7,83	14,2	21000	0	843	0	1,9	1,1
9,95	13,5	27916	0	308	0	2,9	1,16
10,4	13,1	10500	0	30	0	3,4	1,19

### E. Testes do sistema operando com a utilização do gás de biomassa

A potência máxima obtida com o motor operando com gás de biomassa foi de 2,60 kW, sendo que a vazão a rotação atingiu 3350 rpm, a relação ar/combustível obtida nessa condição foi de 1:1,24.

A Figura 10 apresenta uma fotografia durante o primeiro teste do motogerador operando com gás de biomassa. Durante o teste, tentou-se operar o motor controlando a sua rotação através do ajuste da mistura ar/combustível, onde, quando a mistura é rica a rotação tende a aumentar e sendo pobre a rotação tende a diminuir.

Analisando-se os dados da emissão de poluentes do motor operando com gás de biomassa é possível notar a diminuição significativa da concentração de NOx, CO e CO<sub>2</sub> no gás de exaustão com relação à operação com gasolina. Também, como já era esperado, não houve o registro de emissões de SOx.



Figura 10 Operação do moto-gerador com gás de biomassa

A Figura 11 apresenta a variação dos índices de NOx com relação a potência desenvolvida pelo motogerador. Nessa figura, pode-se observar uma tendência de crescimento da emissão conforme se dá o aumento da potência, coincidindo com o aumento da temperatura de combustão no motor e em consequência dos gases de exaustão, esta última mostrada na Figura 12.

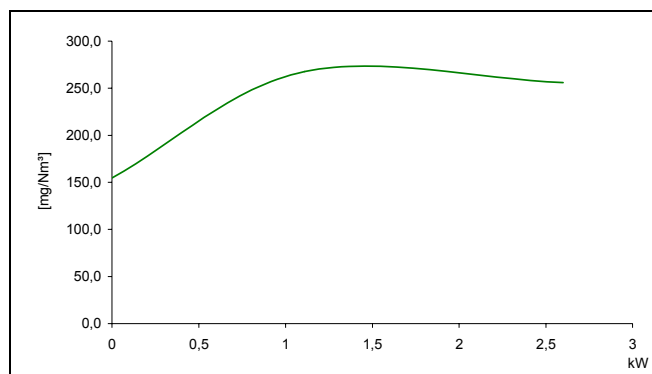


Figura 11. Emissões de NOx com relação à potência do motogerador

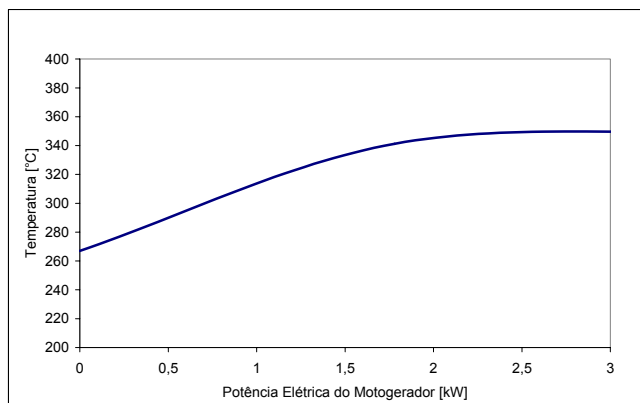


Figura 12. Relação da temperatura dos gases de exaustão com a variação da potência

A Figura 13 apresenta um gráfico da influência da variação da potência nos índices de emissões de CO e CO<sub>2</sub> para o motor operando com gás de biomassa, onde se percebe a diminuição da emissão de CO conforme se dá o aumento da potência, em contrapartida, observa-se uma tendência de aumento dos índices de emissão de CO<sub>2</sub>. Isto pode ser explicado por causa da combustão mais completa do combustível a carga nominal.

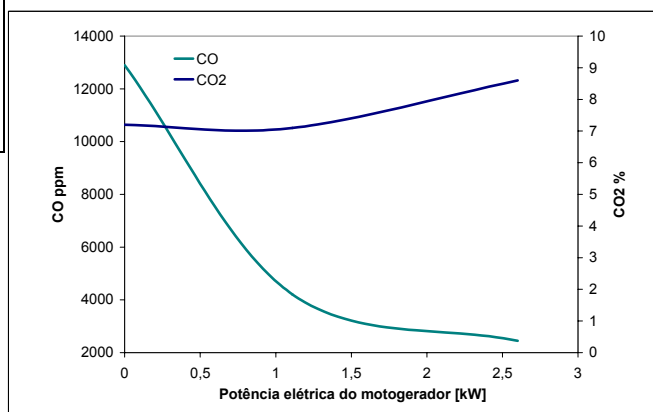


Figura 13. Influência da variação da potência nos índices de emissão de CO e CO<sub>2</sub> do motor operando com gás de biomassa

As figuras Figura 14 e Figura 15, apresentam uma visão, em termos comparativos, do comportamento dos índices de emissões de CO e CO<sub>2</sub> do motor operando com gasolina e gás de biomassa, onde é possível verificar a sensível diminuição desses índice quando é utilizado o gás de biomassa.

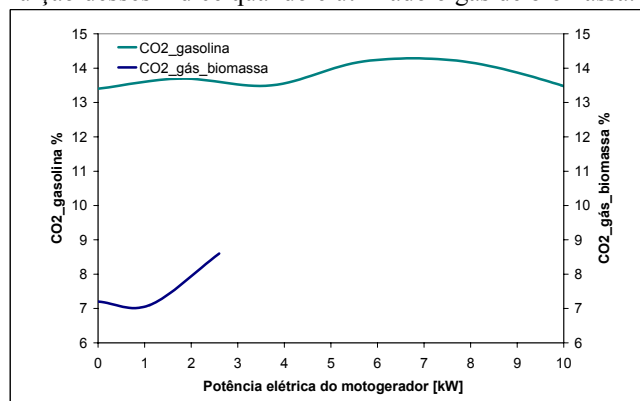


Figura 14. Comparação dos índices de emissões de CO<sub>2</sub> do motor operando com gasolina e gás de biomassa.

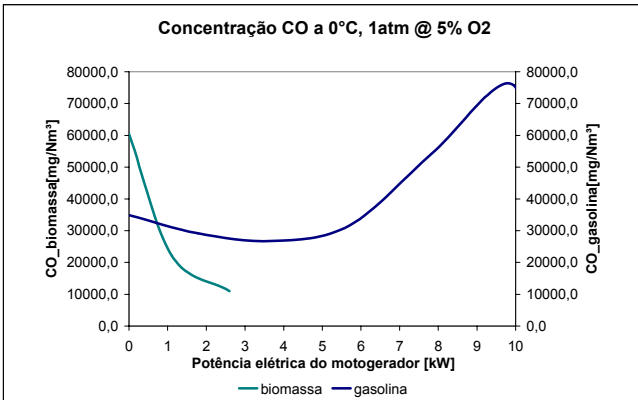


Figura 15. Comparação dos índices de emissões de CO do motor operando com gasolina e gás de biomassa.

Na Figura 16 é apresentado o comportamento das emissões de NO<sub>x</sub>, que para o motor operando com gás de biomassa mostra índices bastante inferiores ao caso do mesmo operando com gasolina. Quando se dá o aumento da potência apresenta uma pequena variação, sendo acionado com gás, e uma variação mais significativa, operando com gasolina.

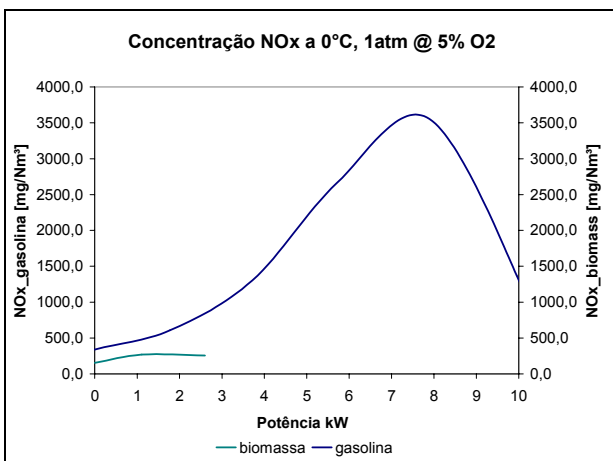


Figura 16. Comparação dos índices de emissões de NO<sub>x</sub> do motor operando com gasolina e gás de biomassa.

A Figura 17 apresenta um gráfico comparativo da eficiência do motorgerador operando com gás de biomassa e gasolina, onde se percebe a queda da eficiência do motor operando com gás de biomassa (para a máxima carga atingida) em relação a operação com gasolina a carga nominal. Esse comportamento já era esperado, devido à diferença no poder calorífico dos dois combustíveis.

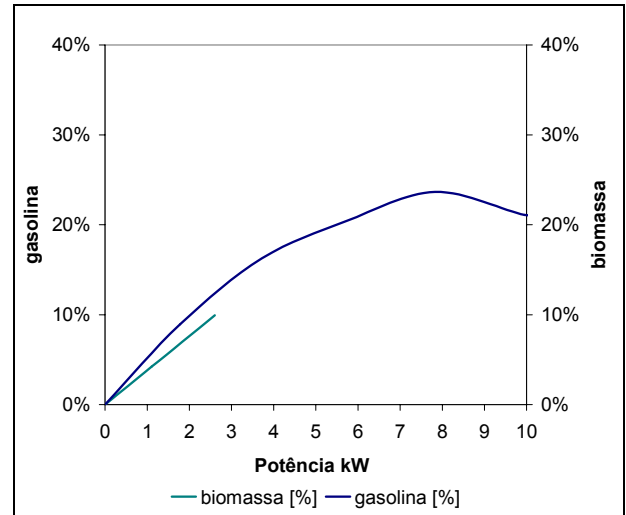


Figura 17. Gráfico comparativo da eficiência do motor operando com gás de biomassa e gasolina

#### IV. CONCLUSÕES

Obeve-se a comprovação da possibilidade da utilização do gás de biomassa em motores de combustão interna alternativos de ignição por centelha com um “derating” considerável com relação à operação com gasolina. Isto sem ajuste nem modificações do motor.

Verificou-se a eficácia do uso de sistema catalítico para limpeza de gases de biomassa obtendo-se melhora de poder calorífico do gás gerado.

Foi desenvolvida uma metodologia para análise desses sistemas operando com gás de biomassa.

Comprovou-se a diminuição das emissões com relação a motores operando com combustíveis fósseis.

Verificou-se a possibilidade de implementação desse tipo de tecnologia do ponto de vista econômico.

A utilização de gaseificadores de leito fixo do tipo fluxo cruzado pode não ser a melhor solução para operar em conjunto com motores de combustão interna. Desse modo, seria interessante o estudo de gaseificadores de duplo estágio de gaseificação para esse fim, já que teoricamente, possibilitam a produção de um gás de melhor qualidade [3] e [4].

Não há necessidade de modificações radicais nos motores de combustão interna alternativos de ignição por centelha, para que os mesmos possam operar com gás de biomassa, no entanto para que possa operar com maior eficiência, pode-se, por exemplo, adicionar um turbo-compressor ao motor, avançar o tempo de ignição e aumentar a taxa de compressão do motor.

Há a necessidade da melhoria do sistema de mistura de gases através da substituição das atuais válvulas, por outras que possibilitem uma melhor regulagem da vazão de gases.

O painel de sincronismo desenvolvido atendeu as exigências do projeto.

Os resultados obtidos devem ser considerados preliminares, sendo ainda necessário:

A utilização de um tipo de gaseificador que garanta uma composição e poder calorífico do gás constante, bem como, um menor teor de alcatrão.

Em outros projetos deve-se utilizar um gaseificador de duplo estágio de gaseificação, que garanta o craqueamento preliminar do alcatrão no interior do mesmo.

Um estudo aprofundado do comportamento do sistema de limpeza catalítico (temperatura ótima de operação e balanço de energia) e das condições ótimas de operação do mesmo.

A implementação de um compressor que permita a injeção da mistura (ar/gás pobre) na câmara de combustão do motor.

A modificação do tempo do motor com o avanço do distribuidor de 10 a 15°, permitindo um aumento da eficiência e potência do motor, quando operando com gás pobre.

#### V. AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem as valiosas contribuições dos membros do NEST, bem como, dos funcionários do laboratório de mecânica, sem os quais, a realização desse trabalho não seria possível.

#### VI. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] L. Devi, K.J. Ptasinski, F.J.J.G. Janssen, "A review of the primary measures for tar elimination in biomass gasification processes", *Biomass and Bioenergy*, Vol. 24, pp. 125-140, 2003.
- [2] L.A.H. Nogueira, E.E.S. Lora, "Dendroenergia: Fundamentos e Aplicações", 2ª. Edição, Editora Interciências, Brasil, 2003, p. 46.
- [3] Termoquip, comunicação pessoal de Themistocles Rocha, 2005.
- [4] S.C. Bhattacharya, A. H. Md. M. R. Siddique, H. L. Pham, "A study on wood gasification for low-tar gas production" *Biomass and Bioenergy*, Vol. 24, pp. 285 -296, 1999