

# Análise de desempenho de um motor ciclo Otto com biogás<sup>1</sup>

Deisi Oliveira Machado<sup>2</sup>

Paulo Roberto Wander<sup>3</sup>

## Resumo

Este trabalho analisou o funcionamento de um motogerador com motor ciclo Otto, operando com biogás, e comparado com o mesmo sistema, operando com gasolina. Os ensaios foram realizados no gerador marca Branco, modelo B4T-5000 BIO, com alteração da carga realizada, através de uma bancada de resistências. A análise realizada contempla a potência elétrica gerada pelo equipamento, o consumo específico, a eficiência, o fator  $\lambda$  e as emissões de CO e de O<sub>2</sub>. Os resultados mostraram que é possível obter energia elétrica, através de biogás como combustível, mas com baixa eficiência. Os resultados de O<sub>2</sub> e de  $\lambda$  indicam que uma combustão é realizada com excesso de ar para todas as configurações. No que se refere às emissões de CO, para o biogás, foram inferiores a 900 ppm, enquanto que, para a gasolina, as emissões de CO ficaram ao redor de 17.400 ppm, para a taxa de compressão de 10,2:1 e de 70.500 ppm, para a taxa de compressão de 8,2:1.

**Palavras-chave:** Motor Otto. Biogás. Emissões.

## Abstract

*This study has analyzed the performance of a generator set equipped with an Otto-cycle engine, operating with biogas, and compared to the same system, operating with gasoline. The tests were performed in a Branco (brand name) generator, model B4T-5000 BIO, with load capacity change through a resistance bench. The performed analysis comprises the electric power generated by the equipment, the specific consumption, the efficiency, the  $\lambda$  factor and the CO and O<sub>2</sub> emissions. The results showed that it is possible to obtain electric power with biogas as fuel, but with low efficiency. The results of O<sub>2</sub> and  $\lambda$  indicate that the combustion is performed with excess air to all configurations. Concerning to the CO emissions for the biogas, they were lower than 900 ppm, whereas, for the gasoline, the CO emissions were around 17,400 ppm for the compression rate of 10,2:1 and 70,500 ppm for the compression rate of 8,2:1.*

**Keywords:** Otto engine. Biogas. Emissions.

<sup>1</sup> Resumo de dissertação de mestrado pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo, RS, Brasil. Defesa em 22 de dezembro de 2014.

<sup>2</sup> Engenheira mecânica e bolsista do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Mecânica da Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. E-mail: domachado86@gmail.com

<sup>3</sup> Doutor em Engenharia pela Universidade Federal do Rio Grande do Sul (UFRGS), Porto Alegre, RS, Brasil e coordenador do curso de mestrado em Engenharia Mecânica pela Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS), São Leopoldo. E-mail: prwander@unisinis.br

## 1 Introdução

Por muitos anos, a biomassa foi responsável por atender grande parte das necessidades energéticas da humanidade, até que, durante o século XIX, devido à era dos combustíveis fósseis, sua utilização começou a reduzir.

A utilização de combustíveis fósseis é responsável por mais da metade das emissões antrópicas de gases causadores do efeito estufa (METZ *et al.*, 2007). O biogás, por sua vez, apresenta níveis de poluição menores, quando comparado aos combustíveis fósseis, o que mostra a importância de estudar esse tipo de fonte de energia (SOUZA; SCHAEFFER, 2010). É, nesse contexto, que a biomassa passa a ser interessante, diversas formas de tecnologia para converter a biomassa em produto energético estão sendo estudadas até os dias de hoje. Entre as tecnologias utilizadas, a digestão anaeróbia permite recuperar energia, através do biogás, retirado de resíduos e efluentes orgânicos, reduzindo a poluição ambiental proveniente desses resíduos (PERSSON; JÖNSSON; WELLINGER, 2006).

O biogás pode ser utilizado em todas as aplicações em que se utiliza gás natural, tal como a produção de produtos químicos, produção de calor e vapor, produção de eletricidade e combustível para veículos. Dentre essas aplicações, a utilização de biogás em motores, foco deste estudo, é de grande interesse em diversos países, devido seu grande potencial e níveis baixos de emissões (PERSSON; JÖNSSON; WELLINGER, 2006).

Em regiões de difícil ou restrito acesso à energia elétrica, principalmente em zonas rurais que podem ser autossuficientes em biogás, um moto gerador a biogás pode ser uma alternativa para obter eletricidade. Além disso, a energia térmica residual desse gerador pode ser utilizada em um sistema de cogeração para aquecimento de água. É, nesse contexto, que este estudo tem como objetivo estudar e analisar o comportamento de um moto gerador, provido de um motor de ciclo Otto, utilizando

biogás como combustível. O biogás utilizado é proveniente de resíduos orgânicos de produção de frutas cítricas e dejetos de aves, armazenado e purificado na Empresa X em Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil.

## 2 Biogás

A mistura gasosa, combustível chamada de biogás, é obtida a partir da degradação de matéria orgânica, e ela pode ser de várias fontes, tais como resíduos domésticos, de atividades agrícolas, de lodo de esgoto, entre outros. Com a utilização de biodigestores, especialmente planejados para produção de biogás, pode-se obter um combustível gasoso com alto poder calorífico e que produz menos gases tóxicos como resultado da combustão, além de ser uma maneira de aproveitamento dos resíduos orgânicos. A composição do biogás, em sua grande maioria, é de 60% de metano ( $\text{CH}_4$ ), 35% de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) e os 5% restantes são compostos de uma mistura de gases como: hidrogênio ( $\text{H}_2$ ), nitrogênio ( $\text{N}_2$ ), gás sulfídrico ( $\text{H}_2\text{S}$ ), monóxido de carbono ( $\text{CO}$ ), amônia ( $\text{NH}_3$ ), oxigênio ( $\text{O}_2$ ) e aminas voláteis. A quantidade de metano presente pode variar de 40 a 80%, conforme a eficiência do processo (PECORA, 2006).

O biogás, como combustível, tem como principal componente o metano, porém, substâncias não combustíveis como: água e dióxido de carbono, reduzem a eficiência do processo de queima, pois absorvem parte da energia gerada na combustão (ALVES, 2000). O  $\text{CH}_4$  potencializa o efeito estufa numa proporção 21 vezes maior que o  $\text{CO}_2$ , logo, aumentando o aquecimento global. Assim, o metano, produzido através da digestão anaeróbia, quando liberado diretamente à atmosfera, causa grande impacto.

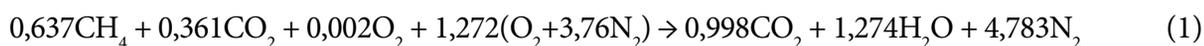
Já o poder calorífico, conforme a concentração do metano existente no biogás, pode variar de 4,95 a 7,92 kWh/m<sup>3</sup> (COSTA, 2006). Para garantir um alto poder calorífico, bom rendimento térmico e eliminar a característica

corrosiva do gás sulfídrico, juntamente com água, é necessário purificar e tratar o biogás. Além desse, outros dois motivos tornam necessário o tratamento do biogás, são eles a necessidade de atender as especificações necessárias para cada aplicação (geradores, caldeiras, veículos) e a necessidade de padronização do gás produzido. Dependendo da aplicação, faz-se necessário a remoção de compostos gasosos (ZANETTE, 2009).

O potencial energético do biogás, considerando-o purificado, é similar ao GNC (Gás Natural Combustível), porém, quanto maior a quantidade de contaminantes na mistura, menor será o seu poder calorífico (ALVES, 2000).

### 3 Motores abastecidos com biogás

O biogás, usado como combustível em motores, possui um conteúdo energético muito similar ao gás natural que, atualmente, é muito utilizado nessa aplicação (SUZUKI *et al.*, 2011).



Na indústria brasileira, existem grupos geradores, em que o motor é abastecido a biogás. Porém, todas as características do motor, tais como: curvas de torque, de potência e rendimento são consideradas como se o motor fosse o original, a gasolina (SOUZA; SILVA; BASTOS, 2010).

Os motores de ciclo Otto podem ser facilmente modificados para utilizar biogás, pois esse tipo de motor é projetado para utilizar uma mistura de ar e combustível com ignição por faísca. A principal alteração é no fornecimento de combustível à câmara de combustão, assim, o carburador, do motor que utiliza combustível líquido, é substituído por uma válvula do tipo borboleta. Essa válvula irá controlar a admissão de biogás na câmara de combustão. Para uma otimização desse tipo de sistema com biogás, é desejável um aumento na taxa de compressão, o que possibilita um menor consumo de combustível e uma maior potência. De qualquer

A principal característica do biogás que possui influência direta no desempenho de um motor é o poder calorífico, sendo que é em função do percentual de  $\text{CH}_4$ , da temperatura e da pressão absoluta. Outro item, que deve ser considerado na utilização de biogás em motores, é a velocidade de combustão que é função do percentual do componente inflamável. Nesse caso, o percentual de  $\text{CH}_4$ . A maior velocidade de combustão é identificada próxima à relação estequiométrica ar/combustível (A/C), o que contribui para um aumento rápido da temperatura e pressão (MIHIC, 2004). A equação da reação de combustão ideal para o biogás, com uma composição de 63,7% de  $\text{CH}_4$ , 36,1% de  $\text{CO}_2$  e 0,2% de  $\text{O}_2$ , composição do biogás, utilizado neste estudo, é apresentado na equação 1. A partir dessa equação, obteve-se a relação estequiométrica, dividindo-se a massa de ar pela massa de combustível, obtendo-se o valor de 6,675 kg de ar por kg de biogás.

forma, a transformação de um motor Otto, que utiliza gasolina para biogás, terá como consequência uma produção de energia inferior do que quando operado à gasolina. Isso ocorre porque a eficiência volumétrica, quando se usa biogás, é inferior à da gasolina. Essa redução é devida ao fato de que a gasolina possui um poder calorífico e uma massa específica superiores ao do biogás, assim, em um mesmo volume, a mistura gasolina e ar possui maior energia que a mistura de biogás e ar. Além de todas essas características citadas, o biogás possui uma velocidade de combustão mais lenta que a gasolina e o álcool, devido ao menor limite de inflamabilidade e maior temperatura de ignição, mas é possível ajustar o sistema de ignição para trabalhar nessa condição (MIHIC, 2004).

Assim, a potência e o controle de velocidade de motores a biogás são realizados, através da variação do fluxo de abastecimento da mistura ar/combustível por uma válvula do tipo borboleta.

Quando essa válvula está fechada (efeito estrangulamento) há uma menor quantidade de mistura ar / combustível, reduzindo a potência e a eficiência do motor (SUZUKI *et al.*, 2011).

#### 4 Metodologia

Os ensaios deste estudo podem ser divididos em duas partes, a primeira, refere-se ao gerador abastecido com biogás, composto de 63,7% de CH<sub>4</sub>, 36,1% de CO<sub>2</sub> e 0,2% de O<sub>2</sub>, e a segunda, com gasolina. Os testes do aparato experimental com biogás foram realizados no local, onde o combustível é produzido, purificado e analisado, na Empresa X, situada na região de Montenegro, Rio Grande do Sul, Brasil. Já os ensaios com gasolina, foram realizados na Universidade do Vale do Rio dos Sinos (UNISINOS) situado na cidade de São Leopoldo, Rio Grande do Sul, Brasil. Para

cada combustível, foram testadas duas taxas de compressão: 8,2:1 e 10,2:1 e feitos três ensaios, para cada condição. Os resultados apresentados são uma média aritmética dos três ensaios.

Para a realização dos ensaios, foi utilizado o gerador B4T-5000 BIO, fabricado pela empresa Branco. O moto gerador, utilizado no estudo, é composto de um motor originalmente operado à gasolina, alterado pelo fabricante, para trabalhar com biogás, acoplado a um gerador elétrico. Para analisarmos a condição do motor original à gasolina, fez-se necessário alterar a taxa de compressão do sistema. Para alterar a taxa de compressão, foram acrescentadas juntas de cobre com espessura de 1,0 mm, confeccionadas na UNISINOS. A tabela 1 mostra os dados originais do motor e a modificação realizada pelo fabricante, para operar com biogás. A tabela 2 apresenta as características do gerador utilizado.

Tabela 1 – Características do motor utilizado no experimento

	Original gasolina B4T 13OH	Alteração para operar com biogás B4T 5000 bio
Potência máxima motor [cv]	13,0	10,0
Potência nominal motor [cv]	11,5	8,9
Cilindrada [cm <sup>3</sup> ]	389	389
Rotação máxima [rpm]	3600	3600
Taxa de compressão	8,0:1	10,2:1

Fonte: Os autores (2014).

Tabela 2 – Características do gerador utilizado no experimento

	Gerador B4T 5000 bio
Potência máxima [kW]	4,5
Potência nominal [kW]	4,0
Frequência [Hz]	60

Fonte: Os autores (2014).

Para transformar o motor B4T 5000 bio, com taxa de compressão de 10,2:1, em um motor com a taxa mais próximo de 8:1, utilizou-se duas juntas de cobre de 1 mm de espessura cada. Com essa alteração, o motor apresentou uma taxa de compressão igual a 8,2:1.

Para realizar a variação da carga solicitada

ao gerador, uma bancada de resistências com disjuntores foi montada. A bancada possui nove resistências do tipo bainha aletada com seus respectivos disjuntores, onde oito têm uma potência de 500 W e uma de 250 W.

As tabelas 3 e 4 apresentam os equipamentos utilizados na instrumentação do motor.

Tabela 3 – Características do gerador utilizado no experimento

Instrumento de Medição	Função aplicada ao aparato experimental	Fabricante	Modelo	Precisão
Rotâmetro Somente para biogás	Verificar vazão de biogás fornecido.	OMEL	T	2%
Proveta Somente para gasolina	Auxiliar na verificação de vazão consumida.			±5 mL
Analizador de gases	Identificar e mensurar os gases de exaustão.	Tecnomotor	TM 132	Conforme tabela 4
Multímetro	Identificar a corrente e a tensão elétrica fornecida pelo gerador.	Minipa	ET-3610	1%
Termômetro digital e Termopar tipo K (+) Chromel	Medir temperatura no escapamento.	Minipa	APPA MT-520	±0,75%

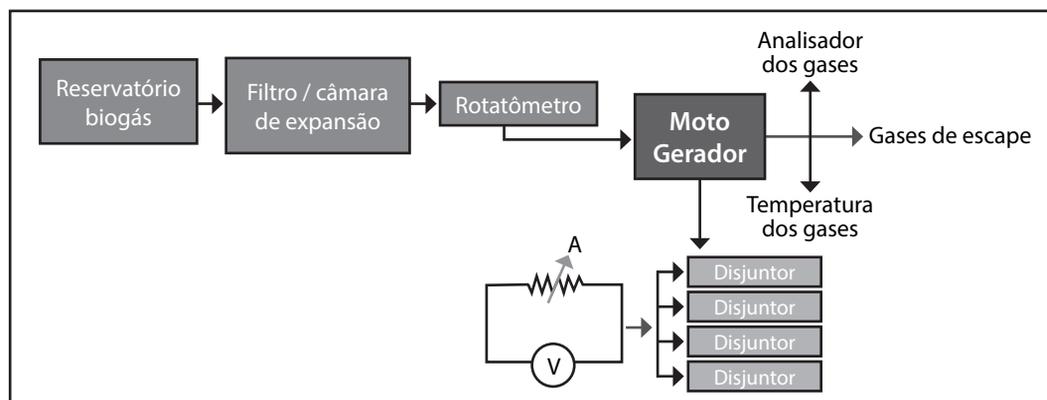
Fonte: Os autores (2014).

Tabela 4 - Especificação do analisador de gases, utilizado no ensaio

Variável	Faixa de medição	Exatidão	Resolução
Hexano	0 – 20.000 ppm vol	4 ppm	1 ppm
Propano	0 – 40.000 ppm vol	4 ppm	1 ppm
CO	0 – 10% vol	0,02%	0,01%
O <sub>2</sub>	0 – 20% vol	0,1%	0,01%
Temperatura	-10 – 140 °C		1 °C

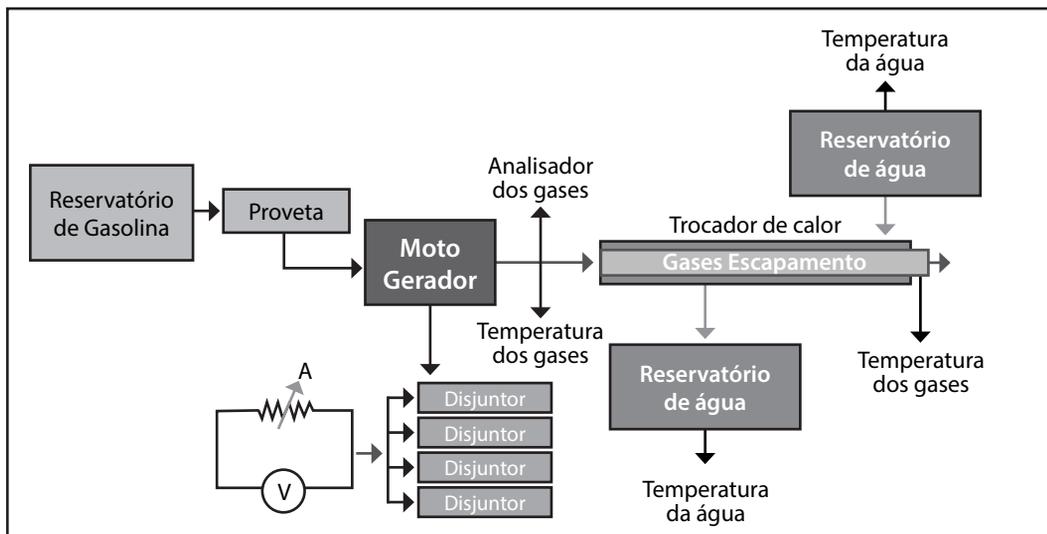
Fonte: Os autores (2014).

As figuras 1 e 2 apresentam o *layout* dos aparatos experimentais realizados para os testes com biogás e gasolina, respectivamente.

Figura 1 – *Layout* do aparato experimental com biogás

Fonte: Os autores (2014).

Figura 2 - Layout do aparato experimental com gasolina



Fonte: Os autores (2014).

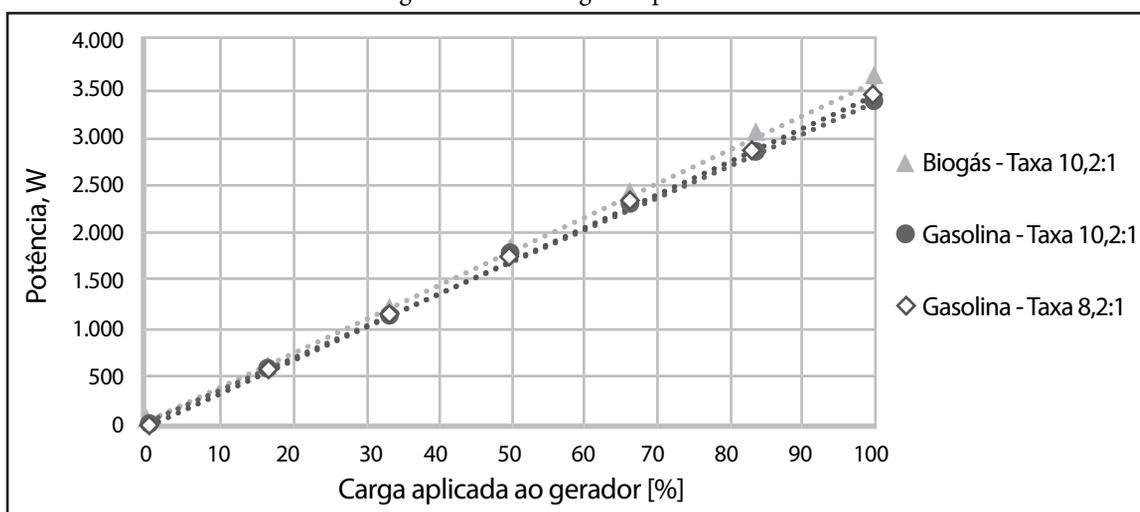
## 5 Resultados

Este capítulo apresentará os resultados identificados no presente estudo, para as análises com biogás (10,2:1) e com gasolina (8,2:1 e 10,2:1), e as discussões sobre os mesmos. No teste realizado com biogás, na taxa de 8,2:1, o motor não apresentou condições de funcionamento, mesmo alterando a vazão de gás. Isso é justificável, pois, para compensar o baixo poder calorífico do biogás, é necessário trabalhar com taxas de compressão mais elevadas.

### 5.1 Potência gerada

O sistema de resistências, utilizado para alterar a carga do gerador, possui resistências de 500 W, quando acionadas em 220 V. Como o gerador trabalha em 240 V, a potência das resistências será um valor maior que os 500 W previstos para cada resistência. Como o sistema que compõe o grupo gerador é o mesmo para todos os testes realizados, os valores de potência gerada pelo sistema, para cada situação estudada, foram muito próximos. A figura 3 mostra o gráfico com a potência gerada, para cada situação estudada.

Figura 3 – Potência gerada pelo sistema



Fonte: Os autores (2014).

## 5.2 Consumo específico

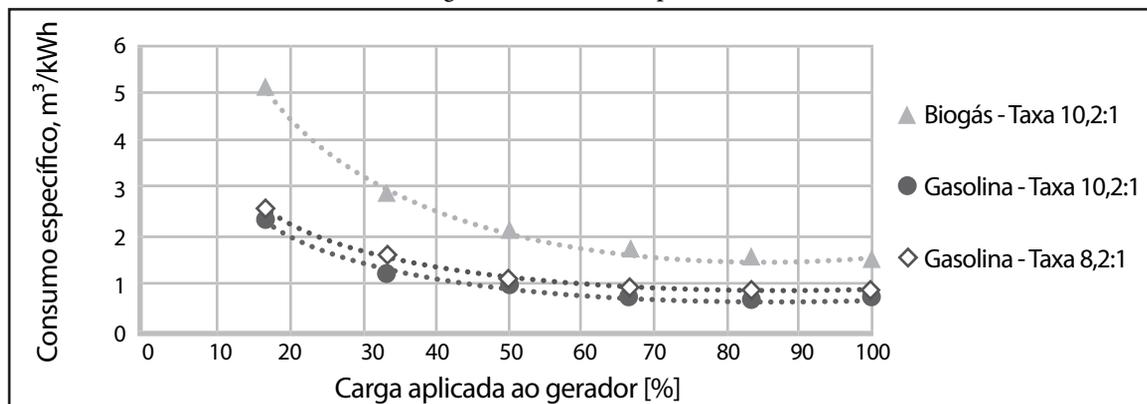
O consumo específico, identificado nos testes realizados, está apresentado na figura 4.

À medida que a carga aplicada no gerador aumenta, o consumo específico de combustível cai. Isso ocorre porque o sistema moto gerador analisado possui alimentação de combustível com controle mecânico, não sendo possível ajustar para baixas cargas aplicadas no gerador. Assim, o consumo específico tende a diminuir em condições de melhor operação do sistema, ou seja, mais próximo da potência

nominal do gerador, 100% de carga aplicada.

Pode-se observar também que o consumo específico é maior na taxa de compressão de menor valor analisada, de 8,2:1. Essa condição ocorre, pois, como apresentado por Dal Bem *et al.* (2006), a taxa de 10,2:1 possui maior eficiência de conversão de energia do combustível em energia mecânica que a taxa de 8,2:1. Assim, é possível obter um melhor aproveitamento da energia liberada pelo combustível, resultando em uma maior pressão no interior dos cilindros e menor consumo específico.

Figura 4 – Consumo específico



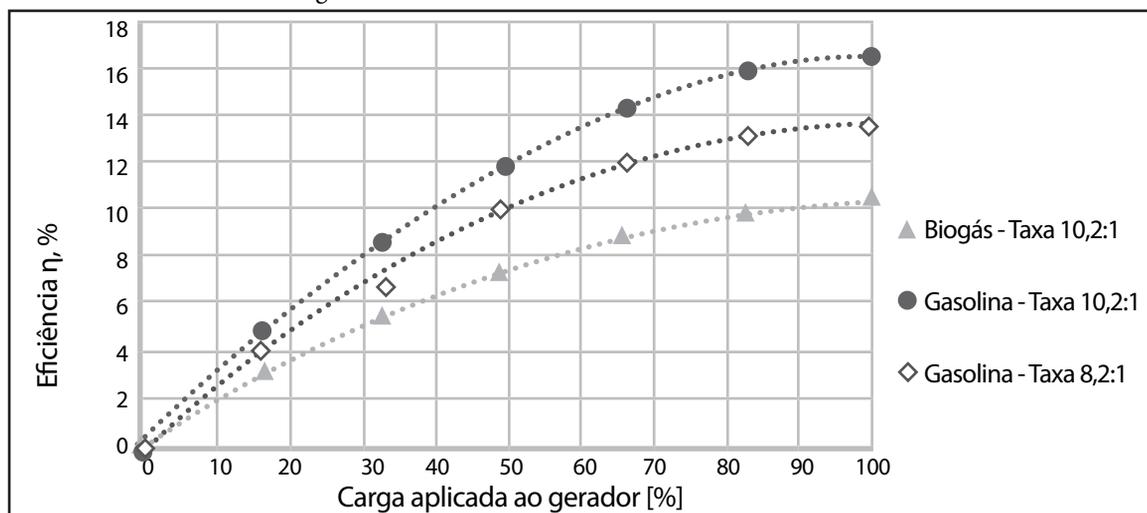
Fonte: Os autores (2014).

## 5.3 Eficiência

A eficiência do sistema é um parâmetro inversamente proporcional ao consumo

específico. A figura 5 mostra a eficiência dos sistemas estudados.

Figura 5 – Eficiência identificada nos sistemas estudados



Fonte: Os autores (2014).

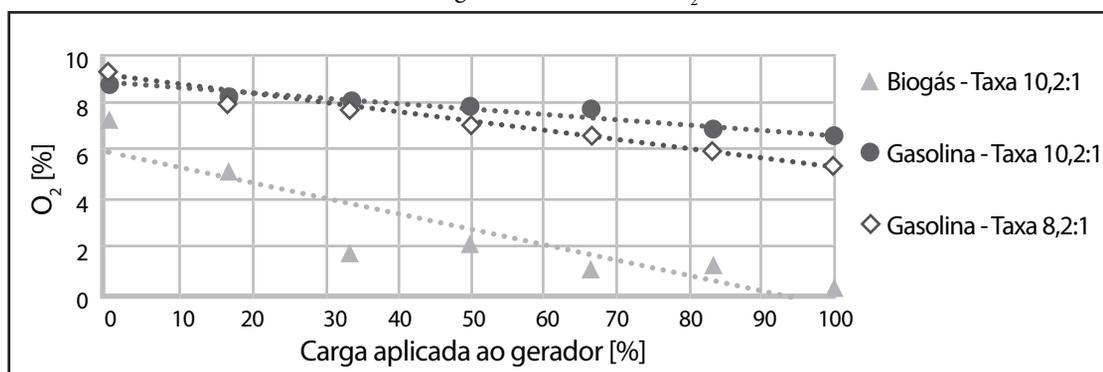
Conforme pode-se observar na figura 5, a configuração à gasolina, com taxa de compressão igual a 10,2:1, apresentou maior eficiência, comparada às demais configurações estudadas, em todas as cargas aplicadas. Conforme apresentado por Dal Bem *et al.* (2006), isso ocorre porque, em maiores taxas de compressão, a eficiência de conversão do combustível em energia mecânica é maior. Comparando, na mesma taxa de 10,2:1, com gasolina e com biogás, observa-se que a eficiência com gasolina é maior que com biogás.

Essa situação ocorre porque, como apresentou Mihic (2004), a eficiência volumétrica de um combustível a gás é menor que a de um combustível líquido, pois a admissão de gás reduz a quantidade de ar admitido.

#### 5.4 Emissões

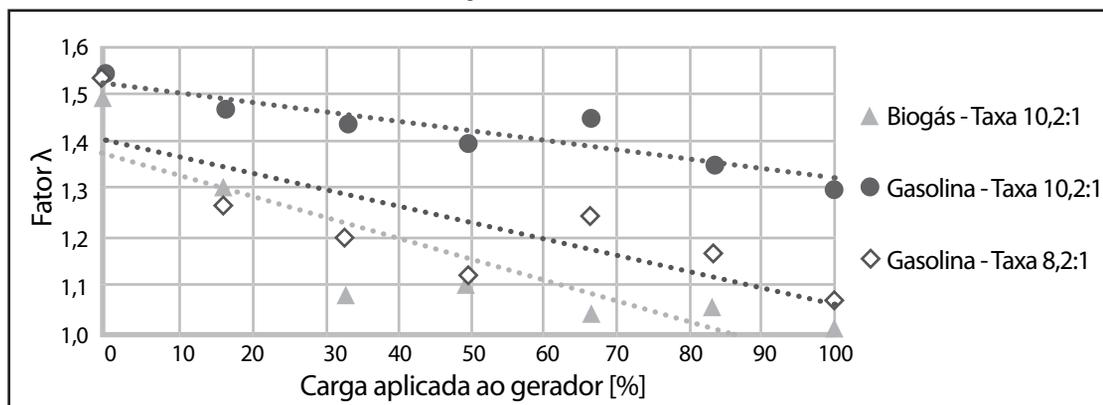
Os percentuais de O<sub>2</sub>, identificados no escapamento e os valores de λ, indicam que a combustão ocorreu com excesso de ar. Os dados são apresentados nas figuras 6 e 7.

Figura 6 – Emissões de O<sub>2</sub>



Fonte: Os autores (2014).

Figura 7 – Excesso de ar



Fonte: Os autores (2014).

Como apresentou a figura 7, todos os testes realizados apresentaram excesso de ar. Em relação ao teste com biogás, o excesso de ar verificado está de acordo com o estudo realizado por Carvalho (2011). As análises realizadas pelo autor possuíam o fator λ maior que 1 em

todas as condições verificadas e apresentaram percentual de O<sub>2</sub> maior que 3% para a configuração com GNV.

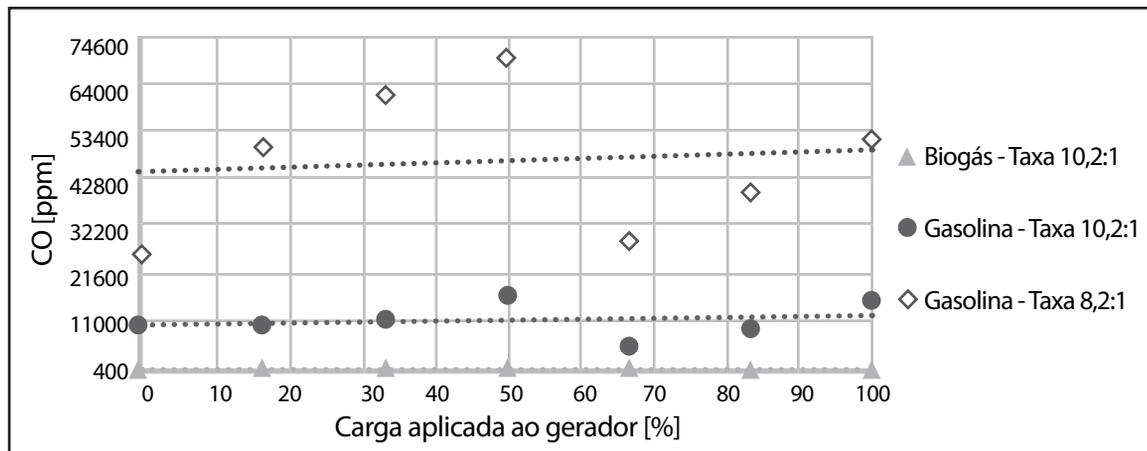
Uma característica importante do motor estudado é o controle mecânico de admissão de ar, do tipo carburador. Como o sistema

original foi desenvolvido para gasolina, é difícil controlar exatamente a quantidade ideal na admissão para se obter uma combustão adequada com biogás. Isso é demonstrado, para a configuração estudada, com biogás, quando a admissão de ar apresenta melhores resultados em cargas

superiores a 50% do valor aplicado ao gerador.

Dentre as emissões geradas pelos sistemas apresentados neste estudo, as de CO são extremamente tóxicas ao ser humano (VASCONCELLOS, 2000). As emissões de CO verificadas neste estudo estão apresentadas na figura 8.

Figura 8 – Emissões de CO



Fonte: Os autores (2014).

Na figura 8, pode-se observar que os níveis de CO para o biogás são menores que as duas configurações estudadas com gasolina. O resultado apresentado neste estudo está de acordo com o trabalho de Korakianitis, Namasivayam e Crookes (2011), cujas emissões de CO, em motores abastecidos com gás natural, são de 50 a 90% menores que as emissões apresentadas por motores a gasolina. Os percentuais identificados também são semelhantes aos valores encontrados por Lemos (2013).

O comportamento das emissões de CO para gasolina teve a mesma característica nas duas taxas de compressão e pode ser explicado, através do modo como o motor estabilizou até 50% de carga. Nessa faixa de trabalho, o afogador trabalhou semi acionado para estabilizar seu funcionamento. Assim, de 0 a 50% da carga aplicada, quando a entrada de ar foi restringida, é observado um aumento das emissões de CO com o aumento de carga aplicada. No instante, em que o afogador deixa de ser acionado, a entrada de ar está livre, então há maior disponibilidade

de ar para a combustão que reduz os percentuais de CO no escapamento. Com o aumento da carga aplicada ao gerador, há maior necessidade de combustível, e o CO aumenta novamente. Outro ponto importante de salientar é que a taxa de 8,2:1 apresenta um percentual de CO superior a taxa de 10,2:1. Isso é justificado, através da turbulência existente na combustão. Como apresentado por Martins (2011), a taxa de compressão de 10,2:1 possui uma turbulência de mistura maior que a taxa de 8,2:1, o que facilita a oxidação do CO para CO<sub>2</sub>.

## 6 Conclusões

O presente estudo, de modo geral, mostra que a geração de energia elétrica é satisfatória para as condições estudadas. Para cada carga solicitada, em cada situação analisada, os valores de potência elétrica, gerada pelo sistema motor gerador, foram semelhantes.

Porém, para gerar a mesma potência elétrica, a condição de biogás como combustível, apresentou maior consumo, logo, menor eficiência

do sistema. A baixa eficiência, consequência de um maior consumo, produz uma vazão maior de gases no escapamento do motor.

As emissões de O<sub>2</sub> e do fator  $\lambda$  indicaram que os sistemas estudados trabalharam com excesso de ar. Para a condição com biogás, pode-se observar uma tendência em valores de  $\lambda$  mais próximos de 1, quando o moto gerador está operando em potências próximas à nominal do equipamento.

Quanto às emissões de CO, gás extremamente tóxico, o sistema utilizando biogás apresentou níveis baixos, como era esperado. Para os sistemas estudados à gasolina, com a taxa de compressão de 10,2:1, os níveis foram inferiores a 17.500 ppm dos gases, existentes no escapamento. Isso mostra um bom resultado para as emissões de CO, quando comparado com a situação do motor original, com 8,2:1 de taxa de compressão, onde foi identificado níveis entre 30 mil e 70 mil ppm.

É possível dizer que o sistema com biogás atende às necessidades de produção de energia para o qual foi proposto, apesar de sua eficiência ser baixa. Quanto aos sistemas a gasolina analisados, é possível concluir que o sistema original, com taxa de compressão de 8,2:1, nos tópicos relatados neste artigo, apresentou resultados piores do que a taxa de 10,2:1.

## Referências

- ALVES, J. W. S. **Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos**. 2000. 165 p. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.
- CARVALHO, M. A. S. **Avaliação de um motor de combustão interna ciclo Otto utilizando diferentes tipos de combustíveis**. 2011. 168 f. Dissertação (Pós- Graduação em Engenharia Industrial) - Universidade Federal da Bahia, Salvador, 2011.
- COSTA, D. F. **Geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento de esgoto**. 2006. 194 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- DAL BEM, A. J. *et al.* Análise de desempenho de um motor ciclo Otto alimentado com etanol de 75°INPM e com taxa de compressão aumentada. **Minerva**, v. 6, n. 2, p. 203-212, 2006.
- KORAKIANITIS, T.; NAMASIVAYAM, A.; CROOKES, R. Natural-gas fueled spark-ignition (SI) and compression-ignition (CI) engine performance and emissions. **Progress in Energy and Combustion Science**, v. 37, p. 89-112, 2011.
- LEMONS, M. V. D. **Uso eficiente de biogás de esgoto em motores geradores**. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Mecânica) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2013.
- MARTINS, J. **Motores de combustão interna**. Minho: Pubindústria 2011.
- METZ, B. *et al.* **Climate Change 2007: mitigation of climate change**. Cambridge: Cambridge University Press, 2007.
- MIHIC, S. Biogas fuel for internal combustion engines. **Annals of Faculty Engineering Hunedoara**, v. 2, n. 3, p. 179-190, 2004.
- PECORA, V. **Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP: estudo de caso**. 2006. 152 f. Dissertação (Pós-Graduação em Energia) - Instituto de Eletrotécnica e Energia, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2006.
- PERSSON, M., JÖNSSON, O., WELLINGER, A. **Biogas upgrading to vehicle fuel standards and grid injection**. Vienna: IEA Bioenergy, 2006. 34 p.
- SOUZA, J.; SCHAEFFER, L. Estudo para fabricação de cilindros especiais para biometano. **Revista Liberato**, Novo Hamburgo, v. 11, n. 15, p. 1-88, jan./jun. 2010.
- SOUZA, R. G.; SILVA, F. M.; BASTOS, A. C. Desempenho de um conjunto motogerador adaptado a biogás. **Ciências Agrotécnicas**, Lavras, v. 34, n. 1, p. 190-195, 2010.
- SUZUKI, A. B. P. *et al.* Uso de biogás em motores de combustão interna. **Revista Brasileira de**

**Tecnologia Aplicada nas Ciências Agrárias**, Guarapuava, v. 4, n. 1, p. 221-237, 2011.

VASCONCELLOS, E. A. **Transporte urbano nos países em desenvolvimento**. 3. ed. São Paulo: Annablume, 2000.

ZANETTE, A. L. **Potencial de aproveitamento energético do biogás no Brasil**. 2009. 97 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento Energético) - Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2009.

