

DESEMPENHO DE UM CONJUNTO MOTOGERADOR ADAPTADO A BIOGÁS

Performance of a motogenerator adapted for biogas

Rodrigo G. Souza¹, Fabio M. Silva², Adriano C. Bastos³

RESUMO

O presente trabalho foi desenvolvido na Estação de Produção e Uso de Biogás, da Universidade Federal de Lavras. O objetivo foi desenvolver e avaliar um sistema de alimentação de um motor estacionário com biogás. Foi utilizado um motor de 4 tempos com 4077 W de potência nominal à rotação de 4200 rpm acoplado a um gerador de 2400 W com rotação operacional de 3600 rpm. O biogás utilizado foi produzido em um biodigestor modelo indiano a partir de esterco bovino, contendo, em média, 63 % de metano. Os experimentos foram realizados com o motor operando, inicialmente, a gasolina na sua versão original e, posteriormente, com o sistema de alimentação a biogás. Para os ensaios foram medidas as rotações e o consumo energético do motor, além da tensão e corrente gerada para alimentar três potências resistivas iguais a 1000, 1200 e 1500 W. Para o conjunto motogerador alimentado a gasolina na sua versão original, observou-se uma potência média gerada de 840,2 W com tensão de 109 volts e eficiência do conjunto de 12,14 %. Para o conjunto motogerador operando a biogás utilizando o sistema de alimentação desenvolvido, observou-se uma potência média de 934,59 W, tensão 100,90 volts e eficiência de 8,22 %. Foi possível operar estavelmente o conjunto motogerador com combustível alternativo, biogás, utilizando o sistema de alimentação desenvolvido, substituindo em 100% o uso de gasolina.

Termos para indexação: Biogás, carburador, motogerador, energia calorífica, combustível alternativo.

ABSTRACT

The present work was conducted at the Unity of Production and Use of Biogas of Lavras Federal University. Its objective was to develop and to evaluate the biogas powering system in a stationary motor using biogas. A four-timing stationary motor with 4077 W nominal potency at a 4200 rpm rotation was used coupled to a generator of 2400 W with operational rotation of 3600 rpm. The biogas used in the experiment was produced in an Indian model biodigestor operated with bovine manure, containing an average of 63% methane. The experiments were accomplished with a gasoline operating motor on its original version adapted for biogas. For the experiment, the rotation and the energy consumption of the motor were measured, besides the tension and current generated to feed three resistance potencies of 1000, 1200, and, 1500 W. For the motogenerator group using the gasoline in its original version we observed an average potency of 840.2 W with an average tension of 109 volts and an average group efficiency of 12.14 %. For the motogenerator group operating with biogas using the supply system developed here, we observed an average potency of 934.59 W, an average tension of 100.90 volts and an average efficiency of 8.22 %. It was possible to steadily operate the motogenerator with biogas as the alternative fuel, using the supply system developed substituting 100% of the gasoline used.

Index terms: Biogas, carburetor, motogenerator, calorific energy, motogenerator, alternative fuel.

(Recebido em 17 de maio de 2006 e aprovado em 26 de janeiro de 2009)

INTRODUÇÃO

O desenvolvimento das nações está diretamente relacionado à oferta de componentes energéticos, água e alimentos, sendo muito difícil analisar a prioridade de um deles independente dos demais, bem como das questões de ordem ambiental. A crise de petróleo, nos anos 1970, fez com que o mundo despertasse para a busca de formas alternativas de energia. O Brasil determinou a criação do Proálcool nos anos 1980 e outros programas de incentivo ao uso de combustíveis alternativos, como óleo vegetal, gasogênio, gás natural, biogás, etc.

Na década de 1990, a preocupação mundial passou a ser a da qualidade do ambiente. Em 1992, na cidade do

Rio de Janeiro, foi realizada a Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, conhecida como RIO 92, que teve, como resultado e plano de ação, a Agenda 21 (1992) que estabelece a substituição de 20 % das fontes energéticas por renováveis até o ano 2000 e 50 % até o ano 2020. Mais uma vez, os combustíveis alternativos e renováveis vêm à tona, como uma das soluções para o desenvolvimento auto-sustentado.

A utilização do biogás como combustível para o acionamento de equipamentos estacionários, sem dúvida, é a maneira mais prática, simples e, muito provavelmente, mais econômica de se aproveitar esta forma de energia alternativa.

¹Universidade Federal de Lavras/UFLA – Departamento de Engenharia – Lavras, MG – ergengenharia@yahoo.com.br

²Universidade Federal de Lavras/UFLA – Departamento de Engenharia – Lavras, MG

³Universidade Federal de Lavras/UFLA – Departamento de Engenharia – Lavras, MG

O biogás é, basicamente composto de 60 % a 75 % de CH₄ (metano), 25 % a 40 % de CO₂ (dióxido de carbono) e traços de H₂S, N₂, H₂, CO, O, etc. Ele tem sido utilizado por meio da combustão em fogões, aquecedores, incubadoras e pequenos motores, etc., normalmente equipamentos de uso estacionário. Em motores estacionários, pode-se utilizar o biogás diretamente produzido nos biodigestores, sem purificação, para o acionamento de bombas hidráulicas e geradores de energia, sendo, assim, uma grande vantagem o seu uso no meio rural.

É sempre importante lembrar que a queima *in natura* do biogás, em razão da presença do CO₂, é mais lenta e, energeticamente, libera menos calor por unidade de massa ou volume que os gases combustíveis convencionais, como o gás liquefeito de petróleo, ou GLP e o gás natural, o que deve ser considerado no dimensionamento dos equipamentos ou redimensionamento dos já existentes. O poder calorífico do GLP, em média, é da ordem de 46.000 kJ/kg e o do gás natural de 43.500 kJ/kg, contra 19.500 kJ/kg do biogás.

Neste trabalho, objetivou-se desenvolver e avaliar um sistema de alimentação de um motor estacionário, utilizando como combustível alternativo o biogás. O sistema desenvolvido constou da adaptação do carburador original a gasolina para operar 100% com biogás *in natura*.

MATERIALE MÉTODOS

Os ensaios experimentais foram desenvolvidos na Estação de Produção e Uso de Biogás, do Setor de Máquinas e Mecanização, do Departamento de Engenharia, da Universidade Federal de Lavras. A referida Estação consta de um biodigestor modelo indiano para a produção, estrutura de purificação e armazenamento do biogás. No caso deste trabalho, foi utilizado biogás *in-natura*.

Motogerador

O conjunto motogerador utilizado nos ensaios foi da marca Briggs & Stratton, originalmente a gasolina, de 4 tempos, com potência nominal de 4077 W (5,5 cv), a rotação de 4200 rpm, acoplado a um gerador de 2400 W, com rotação operacional de 3600 rpm.

Método utilizado para medir o consumo de biogás

Para a medida do consumo de biogás pelo conjunto motogerador foi utilizado, a exemplo de Ortiz-Canavate et al. (1981), um medidor volumétrico para gás. Esse medidor é de fabricação de Liceu Indústria e apresenta as seguintes especificações técnicas:

- Marca: LAO
- Modelo: MG-6
- Carga nominal: 6 m³.h⁻¹
- Vazão mínima: 0,06 m³.h⁻¹
- Pressão máxima de trabalho: 1000mmca
- Aplicação: medida volumétrica de metano/biogás

O medidor descrito foi especialmente calibrado pelo fabricante, verificando-se que, para medidas volumétricas de gás, correspondentes às vazões de 0,04 a 8,6 m³.h⁻¹, sob pressão de 200 mmca, o erro máximo foi de +0,6 % a -1,0 % com perda de carga de 1 a 17 mmca.

O volume de gás consumido (V_g) é dado pela diferença de leitura registrada analogicamente pelo medidor, em metro cúbico, para um dado intervalo de operação do motor. Todas as tomadas de tempo relacionadas com o ensaio do motor foram feitas por meio de um cronômetro digital, com precisão de leitura de décimos de segundos. A vazão mássica de biogás (mĠ) do motor se definiu pelo volume medido em determinado intervalo de tempo de operação (t), como segue:

$$(m\dot{G}) = (V_g/t) \cdot \rho_g$$

sendo V_g/t igual a Q_g, portanto: (mĠ) = Q_g · ρ_g

Atenção especial deve ser dada à massa específica do biogás (ρ_g) que, basicamente, depende de sua composição e é significativamente influenciada pelas condições atmosféricas do ambiente, como pressão e temperatura.

Amestoy & Ferreyra (1987) apresentam a seguinte relação para o cálculo da massa específica do gás metano em função da porcentagem volumétrica de seus componentes:

$$\rho_{g_n} = (0,72 \%CH_4 + 1,96 \%CO_2)/100$$

Quanto à influência das condições atmosféricas locais sobre a massa específica do biogás, Mitzlaff (1988) apresenta a seguinte relação:

$$\rho_g = [\rho_{g_n} \cdot (288/101,33).Pa/(t_g + 273)]/1000$$

O poder calorífico inferior do biogás (H_g) pode ser definido pela expressão que segue:

$$H_g = pCH_4 \cdot 50.000 \text{ kJ.kg}^{-1}$$

Assim, para o biogás com 63 % de metano, têm-se:

- ρ_{g_n} - massa específica normal (1,1788 kg.m⁻³)
- pCH₄ - proporção mássica do metano no biogás (0,385 kg.kg⁻¹)

- Hg - poder calorífico inferior (19.250 kJ.kg⁻¹)
 - ρg - massa específica em condições ambiente (0,001022 kg.l⁻¹)

Obs.: pressão ambiente de 90 KPa e temperatura do biogás de 22°C.

Método utilizado para medir consumo de gasolina

Como combustível para operar o motor nos ensaios, utilizou-se a gasolina fornecida pelos postos de abastecimento automotivo, com as seguintes especificações:

- Hd - poder calorífico inferior = 43.960 kJ.kg⁻¹
 - pd - massa específica = 0,739 kg.l⁻¹

A medida do consumo de gasolina do motor foi obtida pela diferença de nível em coluna graduada, para um determinado intervalo de tempo de operação do motor. A escala graduada da proveta era dividida em milímetros e a correspondência volumétrica foi de 0,305 ml.cm⁻¹.

Assim, o volume de gasolina consumido foi determinado em mililitros pela seguinte relação:

$$Vd = n \cdot 0,305$$

O cálculo da vazão mássica de gasolina (mḡ) do motor se definiu pelo volume consumido em determinado intervalo de tempo de operação do mesmo, como segue:

$$m\dot{g} = (Vd/t) \cdot pd$$

sendo Vd/t igual a Qd, portanto, mḡ = Qd · pd

Método utilizado para determinar a eficiência do conjunto

Para calcular a eficiência do conjunto motogerador, trabalhando com o carburador original a gasolina e adaptado a biogás com centelha avançada, utilizou-se a seguinte equação:

$$\eta_{\text{conj.}} = [(P \cdot 1000^{-1}) \cdot 3600] / (m\dot{c} \cdot Hc)$$

onde:

P: Potência gerada (W); mḡ: vazão mássica do combustível (kg.h⁻¹); Hc: poder calorífico do combustível (kJ.kg⁻¹).

Método utilizado para determinar a energia calorífica

Para calcular a energia calorífica nas diversas condições de ensaio, utilizou-se a seguinte equação:

$$Ec = Hc \cdot \rho c \cdot Qc \cdot T$$

Onde:

Hc: poder calorífico do combustível (kJ.kg⁻¹); ρc: massa específica do combustível (kg.l⁻¹); Qc: vazão volumétrica de combustível (l.h⁻¹).

Ensaio no conjunto motogerador

Os ensaios foram feitos, inicialmente, com o motor operando dentro de suas características originais utilizando gasolina. As dimensões da entrada e da saída do carburador original é de 22 mm e do venturi de 14mm.

Para os ensaios nas condições originais do motor, foi medido o consumo de combustível, rotação, potência gerada, tensão e corrente para diferentes cargas no gerador, onde foram traçados gráficos da potência gerada e eficiência do conjunto, em função do consumo de combustível para três diferentes potências resistivas (1000, 1200 e 1500 watts).

O sistema de alimentação desenvolvido para o motor operar com biogás constou da inserção de uma entrada lateral de biogás com diâmetro interno de 5 mm, no venturi do carburador original. Associada ao carburador adaptado a biogás, foi utilizada uma válvula de fluxo de baixa pressão, que possibilitou controlar a vazão de biogás na entrada do venturi, permitindo o fluxo somente no tempo de admissão do motor, quando a pressão de admissão caiu. Buscando-se obter melhor desempenho do motor, a centelha foi avançada em +4,82°, onde, deslocando-se a bobina que gera a centelha da vela do motor em relação ao ponto fixo normal especificado pelo fabricante, a exemplo do que cita Barbosa (1990). O motor, assim adaptado, foi alimentado com biogás *in natura* vindo diretamente do biodigestor, passando somente pelo filtro de H₂S.

Para as avaliações do conjunto gerador, utilizou-se um multímetro para a medida da tensão e corrente e para a medida de rotação, utilizou-se um tacômetro digital com sensor reflectivo, que foi instalado no volante do motor.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As tabelas e os gráficos a seguir mostram dados do desempenho do conjunto motogerador com cargas variáveis nas seguintes situações: motor operando com o

carburador original a gasolina, motor operando com o sistema desenvolvido adaptado para biogás.

Desempenho operacional do conjunto motogerador à gasolina

Por meio dos resultados apresentados podem ser verificados os desempenhos do conjunto motogerador acionado nas diferentes condições de ensaio. Na Figura 1, mostra-se o desempenho do conjunto acionado à gasolina nas condições originais e pode-se observar um aumento da vazão mássica ($\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$), em função do aumento da potência no gerador (W). Foi possível manter constante a rotação operacional do motor operando nessas condições (em torno de 3500 rpm). Para a potência resistiva de 1000 W, obteve-se uma vazão mássica ($\text{m}\ddot{\text{g}}$) de 0,54 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ a

uma potência no gerador de 806,06W e uma potência ativa de 725,94 W, sendo o co-seno do ângulo de fase do gerador igual a 0,9 e a energia calorífica obtida, de 395,79 kJ. Para a potência resistiva de 1200 W, obteve-se uma vazão mássica ($\text{m}\ddot{\text{g}}$) de 0,55 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$, a uma potência no gerador de 822,9 W e uma potência ativa de 740,66 W, para uma energia calorífica de 405,54 kJ. Para a potência resistiva de 1500 W, observou-se uma vazão mássica ($\text{m}\ddot{\text{g}}$) de 0,61 $\text{kg}\cdot\text{h}^{-1}$ a uma potência no gerador de 891 W e uma potência ativa de 801,90 W, com uma energia calorífica de 444,52 kJ. A eficiência do conjunto motogerador operando originalmente a gasolina, foi em média de 12,14 %.

Esses resultados foram tomados como padrão de comparação para o motor operando com biogás.

Tabela 1 – Ensaio do conjunto motogerador acionado a gasolina.

Pr (W)	R. (Ω)	U (V)	I (A)	PA (W)	P (W)	N (rpm)	Q _{gas.} (l/h)	Ec (kJ)	η_{conj} (%)	m $\ddot{\text{g}}$ (kg/h)
1000	14,73	109	7,40	725,94	806,6	3500	0,731	395,79	12,23	0,54
1200	14,44	109	7,55	740,66	822,9	3500	0,749	405,54	12,18	0,55
1500	13,58	110	8,10	801,90	891,0	3500	0,821	444,52	12,03	0,61
Média	14,25	109	7,68	756,17	840,2	3500	0,77	415,28	12,14	0,57

Pr: Potência Resistiva; R: Resistência; U: Tensão; I: Corrente; PA: Potência ativa; P: Potência; Q_{gas.}: Vazão volumétrica; Ec: Energia calorífica; η_{conj} : Eficiência do conjunto, m $\ddot{\text{g}}$: Vazão mássica

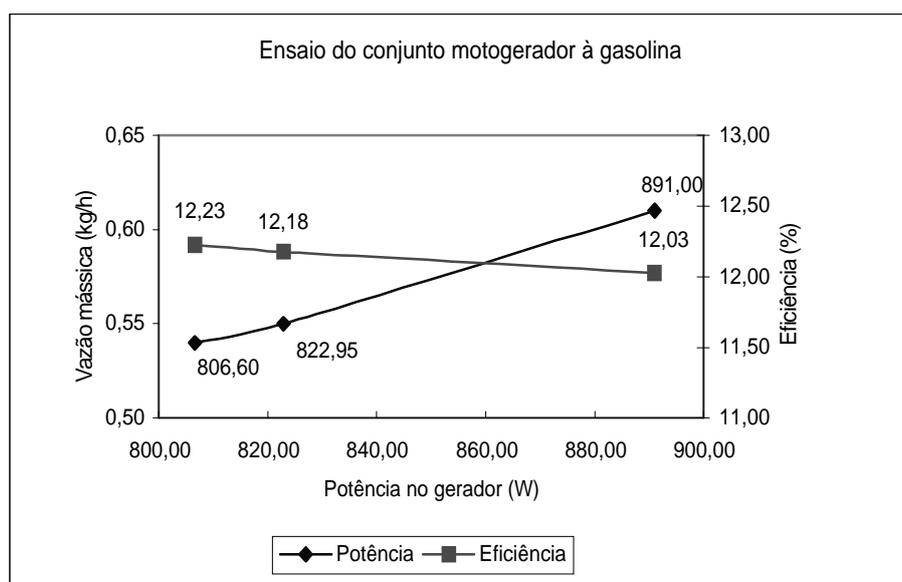


Figura 1 – Desempenho do conjunto motogerador acionado a gasolina

Desempenho operacional do conjunto motogerador com o sistema desenvolvido adaptado para biogás

No gráfico da Figura 2, mostra-se o desempenho do conjunto motogerador operando com o sistema alimentação desenvolvido e adaptado para biogás e centelha avançada em +4,82°, em relação ao ponto original. Neste ensaio, o motor teve aumento do consumo com aumento da potência gerada em relação a todos os ensaios anteriores. Não foi possível manter as rotações constantes para as potências resistivas ensaiadas, tendo variado entre 3340 e 3460 rpm, como mostrado na Tabela 2. Observou-se uma vazão mássica (\dot{m}_G) de 2,02 kg.h⁻¹ no primeiro ensaio, com potência no gerador de 847,08 W e uma potência ativa de 762,37 W, para uma energia calorífica de 649,23 kJ. Para a potência resistiva de 1200 W, obteve-se uma vazão

mássica (\dot{m}_G) de 2,15 kg.h⁻¹ para uma potência no gerador de 965,71 W e uma potência ativa de 869,14 W com uma energia calorífica de 688,70 kJ e, para a potência resistiva de 1500 W, observou-se uma vazão mássica (\dot{m}_G) de 2,21 kg.h⁻¹, para uma potência no gerador de 990,97 W e uma potência ativa de 891,88 W, com uma energia calorífica de 708,25 kJ. Nessa condição a potência máxima gerada obtida foi 11,22 % maior que a potência máxima obtida com o motor operando a gasolina; porém, a tensão caiu para 100,9 volts em média.

A eficiência média do conjunto motogerador, operando com a centelha avançada foi de 8,22 %. Isto deve-se ao fato de o poder calorífico da gasolina ser maior do que o poder calorífico do biogás e também pelo fato de o motor ter sido projetado para operar com gasolina.

Tabela 2 – Ensaio do conjunto motogerador acionado a biogás.

Pr (W)	R. (Ω)	U (V)	I (A)	PA (W)	P (W)	N (rpm)	Q _g . (l/h)	Ec (kj)	η_{conj} (%)	m? (kg/h)
1000	13,92	108,60	7,80	762,37	847,08	3460	1980	649,23	7,83	2,02
1200	10,50	100,70	9,59	869,14	965,71	3400	2100	688,70	8,41	2,15
1500	8,80	93,40	10,61	891,88	990,97	3340	2160	708,25	8,40	2,21
Média	11,07	100,90	9,33	841,13	934,59	3400	2080	682,06	8,22	2,13

Pr: Potência Resistiva; R: Resistência; U: Tensão; I: Corrente; PA: Potência ativa; P: Potência; Q_g: Vazão volumétrica; Ec: Energia calorífica; η_{conj} : Eficiência do conjunto, m_g: Vazão mássica

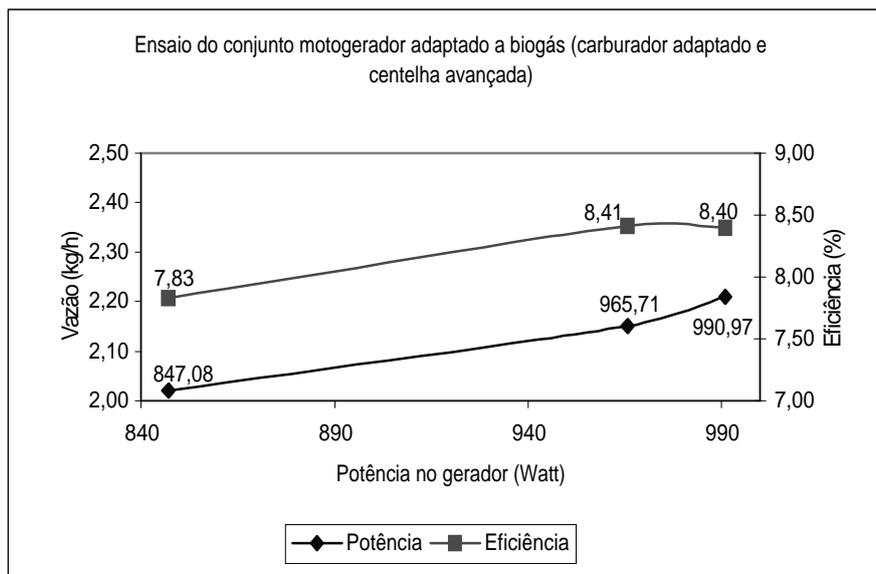


Figura 2 – Desempenho do conjunto motogerador operando com o sistema de alimentação desenvolvido para biogás.

CONCLUSÕES

A partir dos resultados obtidos nos ensaios do conjunto motogerador operando com combustível original (gasolina) e operando com o combustível alternativo (biogás), pôde-se concluir o seguinte:

- para o conjunto alimentado com gasolina obteve-se potência média gerada de 840,2 W com tensão de 109 volts, rotação de 3500 rpm e eficiência média do conjunto de 12,14 %;

- para o conjunto alimentado com biogás, utilizando o sistema desenvolvido e operando com centelha avançada, a potência média gerada foi maior de 934,59 W, porém com tensão menor de 100,9 volts, observou-se ainda redução na rotação operacional que foi de 3400 rpm e na eficiência média do conjunto de 8,22 %.

Foi possível operar o conjunto motogerador estavelmente operando 100% com biogás, utilizando-se o sistema de alimentação desenvolvido e adaptado ao motor.

AGRADECIMENTOS

A FAPEMIG e CNPq, pelo apoio das bolsas e financiamento deste trabalho.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGENDA 21. **Plano de ação da declaração do Rio:** Conferência das Nações Unidas para o Meio Ambiente e Desenvolvimento, RIO 92. Rio de Janeiro, 1992.

AMESTOY, E.A.; FERREYRA, R.D. Utilização del biogas. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL DE BIODIGESTION ANAEROBIA, 1987, Montevideo. **Anais...** Montevideo: Comisión de Agroenergía, 1987. p.63.

BARBOSA, C.R.F. **Otimização da curva de avanço de centelha de um motor otto bicombustível alimentado com gás natural comprimido.** 1990. 99p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Mecânica)-Universidade Federal do Rio Grande do Norte, Natal, 1990.

MITZLAFF, K. van. **Engines for biogás.** Viesbaden: Veiweg, 1988. 133p.

ORTIZ-CAÑAVATE, J.; HILLS, D.J.; CHANCELLOR, W.J. Diesel engine modification to operate on biogas. **Transaction ASAE**, Amsterdam, p.808-813, 1981.