

XI-111 - GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DO USO DO BIOGÁS PRODUZIDO NO BIODIGESTOR DO IFRN CAMPUS APODI

Plínio Tavares Barbosa⁽¹⁾

Graduado em Química pelo Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Rio Grande do Norte – (IFRN).

Francisco Felipe Maia da Silva⁽²⁾

Graduado em Química pela Universidade Estadual do Ceará – (UECE), Mestrado em Química pela Universidade Federal do Ceará – (UFC) e Doutorado em Química pela Universidade Federal do Ceará – (UFC).

Marcos Erick Rodrigues da Silva⁽³⁾

Graduado em Engenharia Civil pela Universidade Federal do Ceará – (UFC), Mestrado e Doutorado em Engenharia Civil (Saneamento Ambiental) pela Universidade Federal do Ceará – (UFC).

Endereço⁽¹⁾: Rua 8, 44 - Novo Mondubim - Fortaleza - CE - CEP: 60763-778 - Brasil - Tel: (84) 99850-1922 - e-mail: pliniotavaresapodi@hotmail.com

RESUMO

Com os avanços tecnológicos atrelados com o crescimento populacional, proporcionou uma grande demanda energética no planeta. Problemas enfrentados nos últimos anos pelo fornecimento energético do Brasil impulsionaram a necessidade de diversificar a sua matriz energética nacional. Além disso, o setor rural é um dos mais afetados com essa carência, que muitas vezes é provocada pelo afastamento dos centros de distribuição de eletricidade. Porém, os resíduos de biomassa é uma fonte de energia disponível e renovável, apesar de causar sérios problemas ambientais quando não gerenciados. Uma alternativa para minimizar essa problemática é a utilização da biodigestão na produção de biogás. Este estudo teve como objetivo utilizar o biogás produzido no biodigestor modelo indiano instalado para tratar os dejetos suínos da pocilga na Fazenda Escola do IFRN-Campus Apodi para geração de energia elétrica. Para isso, foi necessário realizar adaptações em um motor-gerador afim de que fosse possível substituir o combustível convencional pelo o biogás. O biogás produzido foi tratado com solução NaOH a 10% e filtros de sílica e limalha de ferro. Variáveis como o consumo, potência e produção energética foram analisadas e comparadas com outros combustíveis a gasolina e butano. Dentre os principais resultados, percebeu-se que os rendimentos energéticos foram satisfatórios no que se diz respeito à produção de eletricidade. Além disso, os estudos mostraram que a tecnologia avaliada contribui com a preservação do meio ambiente e pode ser aplicada em áreas rurais em que a problemática do fornecimento e tarifas de energia elétrica são mais evidentes.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Biomassa, Dejetos Animais, Energia Elétrica.

INTRODUÇÃO

Com os avanços tecnológicos juntamente com o crescimento da população do planeta resultaram em uma grande demanda energética na atualidade. Além do mais, o uso em larga escala de fontes existentes como o petróleo tem provocado uma série de impactos ambientais e social no mundo. Com isso, o surgimento de novas tecnologias na produção das chamadas energias renováveis tem ganhado ênfase no cenário nacional. (SILVA e CAVALIERO, 2014).

O setor rural é um dos mais afetados no país com essa indisponibilidade energética, pois sofre com a precariedade do fornecimento energético ou acesso a essas tecnologias na geração de eletricidade. Contudo, as áreas rurais apresentam um grande potencial energético a ser explorado, visto que, nele podem ser implantadas diversas tecnologias limpas que buscam atender essa carência (CAMPOS et al., 2010).

De acordo com o Balanço Energético Nacional – BEN (2014), o Brasil dispõe de uma matriz elétrica de origem predominantemente renovável, com destaque para a geração hidráulica que é responsável por 70,6% da oferta. Porém, esse potencial hídrico de produção de eletricidade apresenta problemas sociais e ambientais, o

alagamento provocado pelo represamento de cursos de rios provoca perda de sua fauna e flora local, assim como, remoção de famílias atingidas (GOLDENBERG e VILLANUEVA, 2003).

Os resíduos de biomassa são considerados fonte de energia disponível e renovável, apesar de causar sérios problemas ambientais quando não gerenciados (QUIAO et al., 2011). Entre os diversos tipos de resíduos gerados, os dejetos de animais possuem potencial de produção de biogás. Uma alternativa para minimizar essa problemática ambiental dos resíduos de biomassa é a produção do biogás através da digestão anaeróbia (QUIAO et al., 2011).

Nesse sentido, o uso energético do biogás gerado pelos resíduos pode ser um dos princípios de desenvolvimento sustentável aplicável a essas áreas rurais, uma vez que, pode ser produzido a partir da decomposição de qualquer matéria orgânica disponível, sejam elas oriundas dos rejeitos urbanos ou agrícolas (ALVES, 2000).

Pequenas propriedades podem utilizar o biogás como fonte energética, tanto para dar acesso à eletricidade ou como fontes térmicas para a cocção de alimentos em suas residências, minimizando os custos financeiros de famílias (CAMPOS et al., 2010).

Porém, para que a produção de biogás seja realizada, é necessária a construção de biodigestores, estrutura projetada que favorece a degradação anaeróbia da biomassa (BLEY JUNIOR et al., 2009). O processo biológico referente à formação do biogás envolve quatro etapas: hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese, representado na Figura 1. Nesse processo ocorre a quebra de moléculas complexas pela ação de grupos de bactérias, tendo assim o gás metano (CH_4) como um dos produtos final (BITTON, 2005).

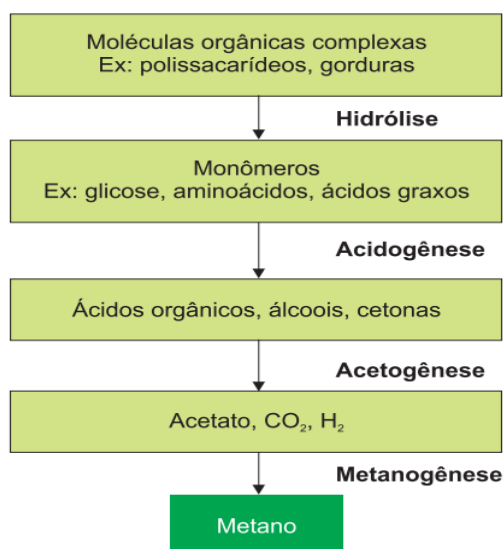


Figura 1 – Etapas da degradação anaeróbica
FONTE: BITTON, (2005)

Desse modo, o biogás trata-se de uma mistura gasosa proveniente da fermentação anaeróbia da matéria orgânica, que consiste em diferentes proporções de gases como metano (CH_4), dióxido de carbono (CO_2) e gás hidrogênio (H_2), sendo o metano o predominante (COSTA; FERLING; NOGUEIRA, 2001).

O gás porcentagem de metano presente no biogás, esta ligada diretamente com o poder calorífico do mesmo, formado por compostos de carbono, hidrogênio e oxigênio, o biogás quando há sua combustão completa, ocorre à formação de água e gás carbônico como produtos da reação (RIBEIRO, 1993).

Alves Filho (2004), afirma que a proporção de gás metano na mistura, está diretamente relacionada ao tipo de material degradado e parâmetros empregados no digestor. A Tabela 1 abaixo representa as proporções dos gases que constituem o biogás.

Tabela 1 – Composição Química do Biogás

Componentes	Fórmula Química	Porcentagem (%)
Metano	CH ₄	60-70
Gás Carbônico	CO ₂	30-40
Hidrogênio	H ₂	1.0
Nitrogênio	N ₂	0.5
Monóxido de Carbono	CO	0.1
Oxigênio	O ₂	0.1
Acido Sulfídrico	H ₂ S	0.1

FONTE: FONTE: BOTERO; PRESTON, (1997).

O biogás pode se considerado um combustível gasoso que apresenta poder energético semelhante ao do gás natural. Este combustível pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em propriedades rurais. Na atualidade já existem diversas tecnologias para efetuar a conversão energética do biogás (COELHO et al., 2006).

BIODIGESTORES E COMVERSÕES ENERGÉTICA

Magalhães (1986) descreve o biodigestor como uma câmara onde ocorre um processo bioquímico denominado de digestão anaeróbica, tendo como subprodutos o biofertilizante e gases predominantes como o dióxido de carbono e metano. Os tipos de biodigestores mais utilizados são os modelos, Chinês, Indiano e o Canadense. A estrutura projetada e construída proporciona condições ideais para vida de grupos especializados de bactérias anaeróbicas que degradam a matéria orgânica presente no substrato (BLEY JUNIOR et al. 2009).

Motores de combustão interna são comumente usados para conversão da energia química em mecânica a energia química do combustível se transforma em trabalho mecânico, e este utilizado para diversos fins, como automotivas, geração de eletricidade entre outros. São bastante empregados na conversão energética do biogás, devido ao fato de poderem operar com diferentes tipos de combustíveis. Porém os combustíveis fósseis como o diesel, gasolina, gás natural, entre outros, são e continuarão sendo nos próximos anos os combustíveis mais usados nessa área (SALOMON, 2007; LEMOS, 2013).

A utilização desse gás como fonte energética, pode ser uma alternativa viável para solucionar uma problemática, que é a grande produção de resíduos orgânicos no mundo, e ao mesmo tempo, diminuir a emissão de gases como o metano, reaproveitando-o como fonte de produção de energia elétrica (PECORA, 2006).

Dessa forma, tem-se o biogás como uma boa opção de biocombustível, que pode ser utilizado para geração de energia de eletricidade. Por isso, o presente estudo teve como objetivo avaliar a viabilidade do uso do biogás produzido no biodigestor do IFRN - Campus Apodi como combustível na produção de energia elétrica.

MATERIAIS E MÉTODOS

SISTEMA DE PRODUÇÃO DO BIOGÁS

Para a produção de biogás foi utilizado um biodigestor modelo indiano cujas dimensões estão apresentadas na Figura 2. A alimentação do biodigestor ocorria de forma contínua através da caixa de entrada (1). A campânula e a caixa de saída do biofertilizante foram confeccionadas com caixas de PVC (2 e 4), o biodigestor possuía capacidade de tratamento de 5000 L de dejetos, e possuía um septo divisor em seu interior (3) que proporcionava um tempo de retenção hídrica da biomassa de aproximadamente 35 dias.

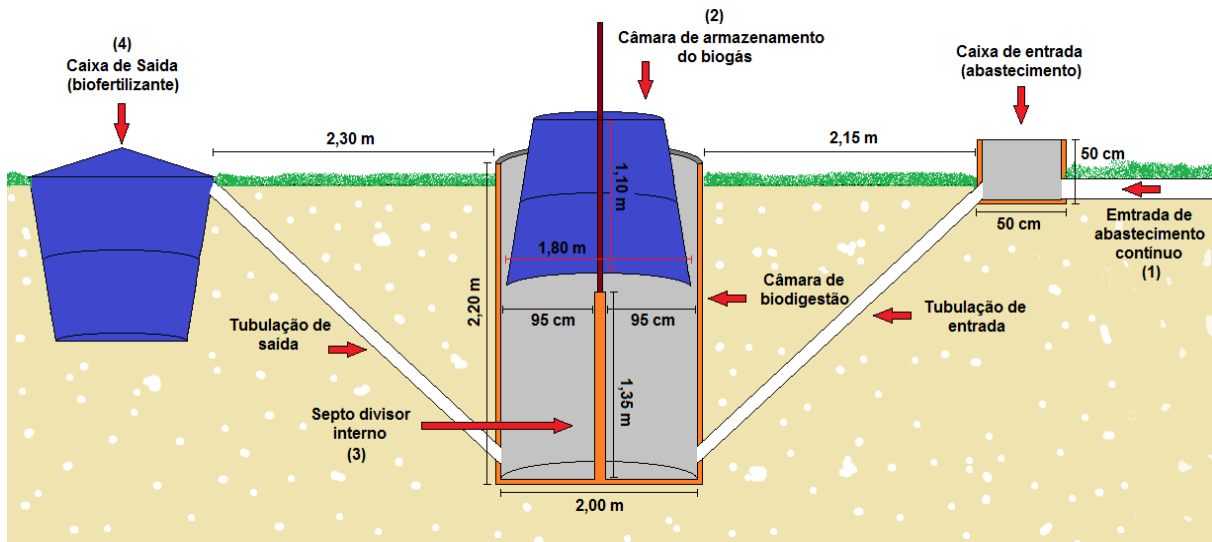


Figura 2 – Corte vertical do biodigestor modelo Indiano do IFRN-Campus Apodi

Foram utilizados como matéria orgânica para a produção de biogás, os dejetos suínos da Fazenda Escola do IFRN - Campus Apodi. Durante a alimentação, os dejetos suínos eram diluídos em água, na proporção de 1:1 kg/L segundo metodologia utilizada por Oliver et al. (2008).

COMPRESSÃO E PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS

Com o objetivo de minimizar a concentração do gás sulfídrico (H_2S) e o gás carbônico (CO_2) na composição do biogás, realizou-se o tratamento químico do biogás definido pelas reações descritas nas equações 1 e 2, mostradas a seguir.



A Figura 3 mostra o esquema contendo o sistema de filtração do biogás através da lavagem com uma solução de hidróxido de sódio (NaOH) 10% (1), limalha de ferro (2) e por fim, uma fase com sílica (3), para remoção da umidade presente no biogás (CAPSTONE, 2001). O filtro foi instalado na tubulação que ligava o biodigestor ao compressor usado pra comprimir o biogás em cilindro metálico a uma pressão de 115 psi.

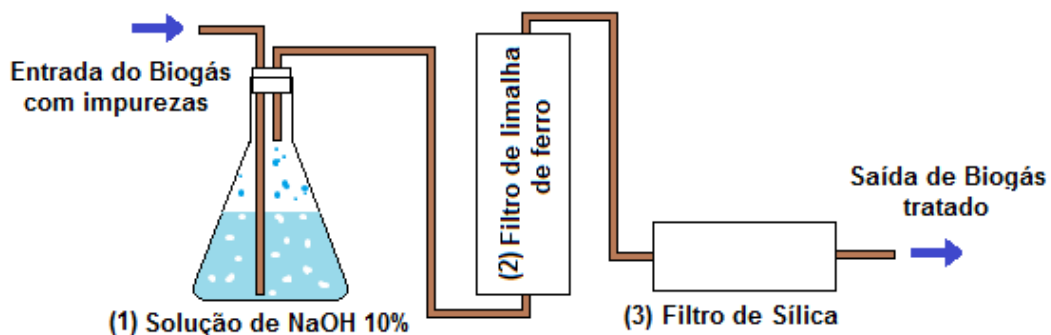


Figura 3 – Esquema de filtro usado para purificação do biogás

TESTES COM MOTOR DE COMBUSTÃO INTERNA

Para que a produção de energia fosse possível, adquiriu-se um conjunto motor-gerador 4 tempos a gasolina (Figura 4), com potência de 5500 W do gerador e motor de 12,9 HP, de marca SOMAR (SCHUZ) S5500MG, com sistema de ignição elétrica integrado.



Figura 4 – Motor-Gerador

FONTE: Elaborado pelo o autor, (2014).

No motor, foram realizadas adaptações mecânicas em seu sistema de carburador (parte responsável pela mistura gasosa de ar/combustível) visando a substituição total do combustível convencional (a gasolina) pelo o biogás.

Foi, também, necessário analisar a proporção de ar/combustível adequada para o motor, a fim de alcançar o melhor desempenho do conjunto motor-gerador, utilizando o biogás como combustível. Para isto, foi instalado um sistema de venturi com regulador de fluxo de gás controlado de acordo com o tempo de admissão do motor permitindo o melhor funcionamento do motor-gerador.

Com o objetivo de identificar o desempenho do motor-gerador utilizando o biogás como combustível, foram realizados experimentos comparativos com outros dois combustíveis, a Gasolina e o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP) que tem como componente majoritário o butano.

CÁLCULO DA VAZÃO MÁSSICA DE BIOGÁS GERADO PELO CONJUNTO MOTOR-GERADOR

Para calcular a vazão mássica de biogás proporcionada pelo conjunto motor-gerador, foi aplicado a Equação 3, representada a seguir.

$$F = \frac{Q \cdot MM \cdot P}{z \cdot R \cdot T} \quad \text{equação (3)}$$

Onde:

F: Vazão Mássica ($\text{Kg} \cdot \text{h}^{-1}$); **Q:** Vazão Volumétrica ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$); **MM:** Massa Molar do Metano ($\text{Kg} \cdot \text{Kmol}^{-1}$);
P: Pressão (Pa); **z:** Fator crítico de compressibilidade; **R:** Constante Universal dos Gases reais ($\text{Pa} \cdot \text{m}^3 \cdot \text{mol}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$); **T:** Temperatura (K).

Para a medição da vazão volumétrica (Q) e a pressão (P) do fluxo de biogás, foi necessária a instalação de um gasômetro de fluxo da marca LAO INDÚSTRIA, juntamente a um manômetro digital na tubulação de alimentação do motor, que permitiu calcular a vazão volumétrica em ($\text{m}^3 \cdot \text{h}^{-1}$) de gás consumido pelo grupo motor-gerador, bem como, a pressão exercida pelo gás durante o funcionamento do motor.

No que se refere ao cálculo da vazão volumétrica de gasolina do grupo motor-gerador, instalou-se, no local do tanque de combustível, uma vidraria graduada em mililitros com volume fixo de combustível (gasolina). O motor ficou em funcionamento durante um intervalo de tempo de 10 minutos, com uma determinada carga padrão de (3000 W) e esse intervalo de tempo foi relacionado com o volume de combustível consumido.

Para a realização dos testes utilizando o biogás como combustível, instalou-se uma válvula de controle de fluxo de baixa pressão e um medidor de volume gás na saída do cilindro contendo o biogás comprimido. Posteriormente, foi calculado o consumo em m³ do conjunto, assim como a eficiência energética em relação ao consumo de cada combustível utilizado, quando os mesmos estivessem submetidos à carga de 3000 W de potência em seu gerador de eletricidade. Para isso, variáveis como corrente, tempo de funcionamento, potência e tensão foram observadas, e posteriormente aplicadas na (Equação 4):

$$E_{qe} = \frac{t_h \cdot P}{C_m} \quad \text{equação (4)}$$

Em que, E_{qe} : é a Equivalência energética do combustível (Wh. m⁻³), t_h : o tempo de funcionamento em horas (h), P : potência em W consumida e C_m : Consumo do motor (m³).

MEDIÇÃO DO POTENCIAL ENERGÉTICO DO BIOGÁS

O motor utilizando biogás como combustível foi submetido a vários níveis de rotação, visando avaliar o seu desempenho. O desempenho do conjunto motor-gerador foi avaliado após a aplicação de uma carga de 3000 W, fornecido pelo equipamento (da marca NOVA ÉTICA), que usa aquecimento por resistência elétrica, (Figura 5). O sistema instalado permite calcular a tensão e corrente produzida pelo conjunto motor-gerador. O rendimento do biogás foi comparado com o de outros combustíveis convencionais como a gasolina e butano.



Figura 5 – Equipamento de aquecimento com resistência elétrica utilizado como carga

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Após o acondicionamento em biodigestor dos dejetos produzidos na pocilga do IFRN - Campus Apodi, a produção de biogás foi consolidada. Com isso, iniciou-se os testes com o conjunto motor-gerador adaptado para funcionar usando o biogás como combustível.

Vale ressaltar que, antes da sua utilização, o biogás foi tratado e comprimido em cilindro de metal, possibilitando um fluxo contínuo de fornecimento de combustível para o motor, permitindo a instalação do gasômetro para medir o consumo em m³ do motor.

DESEMPENHO DO CONJUNTO MOTOR-GERADOR

O motor-gerador foi adaptado com um sistema de injeção de gás (Figura 6) em seu carburador que permite controlar a entrada de biogás no motor de acordo com a demanda energética exigida. Além desse sistema de injeção de gás, instalou-se uma válvula de controle de pressão do biogás, de forma que não interferiu no funcionamento do motor com o combustível convencional (gasolina).



Figura 6 – Adaptações no motor-gerador

O motor apresentou desempenho satisfatório com os dois tipos de combustíveis gasosos (biogás e o GLP) avaliados. Além disso, percebeu-se que os níveis de rotações necessários para a geração de eletricidade foram facilmente atingidos e foram identificados pela tensão produzida pelo gerador. E, em geral, não apresentou anormalidade no funcionamento quando comparado com a gasolina que é referenciada como combustível padrão para o motor testado.

CONSUMO DE GASOLINA DO MOTOR-GERADOR

Na tabela 2 estão apresentados os resultados dos parâmetros operacionais do motor-gerador utilizando os diferentes combustíveis aplicando uma carga constante de 3000W. Também, verifica-se que o conjunto motor-gerador apresentou um consumo de aproximadamente de 2,93 litros de gasolina por hora de funcionamento, trabalhando com uma carga de 3000 W.

Segundo os dados do fabricante do motor-gerador, o consumo médio para 75% de sua carga máxima (4.125 W) é de 4L de combustível (gasolina). Como os experimentos foram conduzidos com carga de 3000W (55% da sua carga máxima), observa-se uma relação proporcional entre o consumo de combustível e a carga aplicada.

VAZÃO MÁSSICA DOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS NO CONJUNTO MOTOR-GERADOR

As vazões mássicas do biogás, GLP e da gasolina foram calculadas através da Equação 3 e estão apresentadas na Tabela 2.

Tabela 2 – Dados experimentais de operação do motor-gerador como diferentes combustíveis

Combustível	Vazão volumétrica (m³.h⁻¹)	Pressão do fluxo de gás (Pa)	Temperatura (K)	Vazão mássica (Kg.h⁻¹)
Biogás (Metano)	3,93	800	305,15	0,068
GLP (Butano)	0,956	2120	305,15	0,167
Gasolina	2,93x10 ⁻³	-	305,15	2,175

Foi possível observar que, a vazão volumétrica do biogás apresentou-se superior ao do GLP, isso pode ter ocorrido pelo fato de que o metano, gás responsável pelo poder calorífico do biogás, não está em concentração elevada. De acordo com Botero e Preston (1997), o biogás pode apresentar em sua composição até 70% de gás metano em sua composição, contendo ainda, gás carbônico, sulfeto de hidrogênio entre outros (não combustível).

Em geral, a concentração de metano no biogás está relacionada com a composição da matéria orgânica (substrato) utilizada e com as condições anaeróbias para fermentação (ALVES FILHO, 2004). Assim, de certa forma, isso poderia explicar o motivo de uma demanda maior de combustível (biogás) do grupo motor-gerador.

Contudo, outra hipótese é que o sistema de tratamento do biogás utilizado não tenha atingido uma elevada eficiência contribuindo para o baixo teor de metano no biogás.

Por outro lado, é possível inferir que a menor vazão volumétrica requerida pelo GLP esteja relacionada com a elevada pureza do gás butano na sua composição (98%) (MANÁGAS, 2015). Já a gasolina apresentou a maior vazão mássica em relação aos demais combustíveis. Isso deve-se ao fato da gasolina se tratar de um combustível líquido.

EQUIVALÊNCIA ENERGÉTICA DOS COMBUSTÍVEIS UTILIZADOS

Para calcular a equivalência energética do conjunto motor-gerador usando os combustíveis estudados, foi necessário utilizar a Equação 4 descrita anteriormente. A produção de energia gerada a partir de cada combustível usado no estudo está representada na Figura 7, mostrada abaixo.

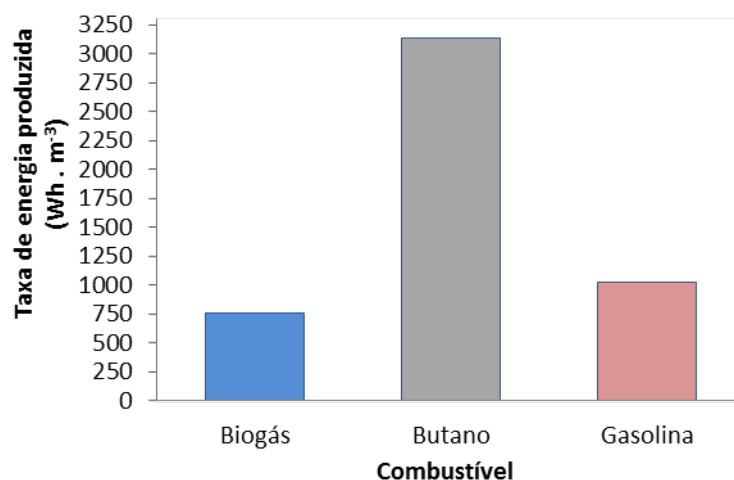


Figura 7 – Geração de eletricidade de cada combustível estudado

Como pode ser observada na Figura 7, a taxa de energia produzida utilizando o biogás como combustível foi aproximadamente de 750 W.h.m⁻³. Ressalta-se que essa taxa foi inferior a obtida nos estudos de Barreira (2003) que reportou uma taxa média de 1,43 kW.h.m⁻³.

Vale destacar que as adaptações realizadas no conjunto motor-gerador, como também, as especificações técnicas do motor (taxa de compressão, sistema de injeção) ou a baixa concentração de metano presente no biogás, podem ter influenciado para baixa eficiência do conjunto motor-gerador utilizado no presente estudo.

Para o combustível GLP obteve-se uma taxa de energia produzida de aproximadamente de 3100 Wh.m⁻³. Assim, apesar de não ser tão usual esse combustível em motores de combustão interna, ele apresentou o melhor rendimento dentre os combustíveis usados no experimento. Já com a gasolina como combustível (padrão) observou-se uma taxa de energia produzida de aproximadamente 1 kW.h.m⁻³, relativamente próximo do obtido como o biogás.

Mesmo o GLP e a gasolina apresentando maior equivalência energética comparado com o biogás, é importante destacar que a problemática dos derivados do petróleo não seria solucionado, tendo em vista que a utilização da gasolina e o GLP como fonte energética não seria renovável. Por isso, torna-se viável a produção de eletricidade a partir do biogás, visto que, além de ser um biocombustível renovável, pode ser adquirido de matéria prima muitas vezes indesejada, como é o caso dos dejetos animais ou qualquer matéria orgânica presente em resíduos ou rejeitos.

Outro fator que deve ser questionado na utilização da gasolina para a produção de eletricidade é seu valor comercial, a disposição desse combustível no decorrer dos anos, bem como a sua ação na natureza quando

utilizado em larga escala. Portanto, a busca por novas fontes de energias renováveis e baratas apresenta-se como uma solução para essa problemática nacional.

CONCLUSÕES

Com a pesquisa, foi possível produzir eletricidade utilizando o biogás como combustível para motores de combustão interna, gerado em biodigestor modelo indiano, abastecidos com dejetos suínos do IFRN – Apodi. Com os experimentos realizados, comprovou-se a viabilidade desse biocombustível para geração de energia elétrica e a substituição de parte dos combustíveis de origens fósseis, além de se mostrar uma tecnologia aliada à preservação do meio ambiente e que bastante promissora para as áreas rurais da região do nordeste brasileiro que muitas vezes sofre bastante com problemas de fornecimento e tarifas de energia elétrica.

No que diz respeito à utilização de motores de combustão interna para essa produção de energia elétrica, a tecnologia mostra-se bastante promissora, uma vez que, não requer um alto grau de conhecimento para operá-la ou sofisticadas mudanças em seu sistema mecânico para o funcionamento com o biogás como combustível, além de tratar-se de uma tecnologia barata que pode ser adquirida por pessoas de baixa renda, permitindo seu uso nas diversas áreas afins.

No que se refere à metodologia utilizada no trabalho, optou-se por aquela que seria mais simples de ser reproduzido, consistindo na utilização de materiais de fácil aquisição, bem como, adaptações mecânicas simples no conjunto motor-gerador, com o intuito de que se houver uma disseminação dessa tecnologia, seria mais viável adotá-la devido a sua acessibilidade.

É importante salientar que no trabalho não foi empregado somente o biogás como combustível para a geração de eletricidade, mais também o Gás Liquefeito de Petróleo (GLP), e a gasolina, combustível convencional do grupo motor-gerador.

Porém, esses demais combustíveis foram utilizados somente como critério de comparação do desempenho do motor a biogás, em que o mesmo apresentou um consumo de aproximadamente 4 m³ de biogás com uma carga em seu gerador de 3000W de potência, gerando aproximadamente 0,8 kWh de energia, que mesmo divergindo-se de algumas literaturas como as de Ferraz e Mariel (1980), Sganzerla (1983), Nogueira (1986) e Barreira (2003), isso pode estar relacionado com a eficiência do grupo motor-gerador, visto que, foi possível observar que os valores obtidos durante o experimento foram 50% menor que os citados pelas literaturas acima, para as equivalências do biogás e gasolina. Porém, foi possível produzir eletricidade a partir do biogás.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. ALVES FILHO, M. Tese mostra potencial energético do biogás. *Jornal da Universidade Estadual de Campinas*, 2004. Disponível em: < <http://www.unicamp.br/unicamp/unicamphoje/jornalPDF/ju242pag09.pdf> > Acesso em: 18/08/2014.
2. ALVES, J. W. S. Diagnóstico técnico institucional da recuperação e uso energético do biogás gerado pela digestão anaeróbia de resíduos. 2000, 165f. (Dissertação de Mestrado). Programa Interunidades de Pós Graduação em Energia (PIPGE) do Instituto de Eletrotécnica e Energia (IEE) da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2000.
3. BALANÇO ENERGÉTICO NACIONAL – BEM, 2014: Ano base 2013/ Empresa de Pesquisa Energética. – Rio de Janeiro: EPE, p. 288, 2014.
4. BARREIRA, P. Biodigestores: energia, fertilidade e saneamento para a zona rural. 2 ed. São Paulo: Ícone, p.106, 2003.
5. BITTON, G. *Wastewater microbiology*. Willey Liss Inc. 3 ed. New York, p.763, 2005.
6. BLEY JUNIOR, C.; LIBÂNIO, J. C.; GALINKIN, M.; OLIVEIRA, M. M. *Agroenergia de biomassa: perspectivas energéticas, sócio-econômicas e ambientais.*: Itaipu Binacional/FAO, Techno Politik Editora, 2. ed. Foz de Iguçu/Brasília, p. 140, 2009.
7. BOTERO, R.; PRESTON, T. R. Biodigestor de Bajo Costo para La Producción de Combustible y Fertilizante a Partir de Excretas. In: *International Center of Numerical Methods Engineering (CIMNE)*, Spain, p. 20, 1997.

8. CAMPOS, R. A.; BARROS, R. W. S.; HENRQUEZ, J. R.; DUTRA, J. C. C. Estudo numérico da eficiência ecológica na combustão de biogás com aplicação de equilíbrio químico. In: Rio Oil & Gas Expo and Conference, Rio de Janeiro, 2010.
9. CAPSTONE, Application Guide landfill/Digester Gas Use With the Capstone Microturbine, Capstone Turbine Corporation. California, p. 4, 2001.
10. COELHO, S. T.; VELÁZQUEZ, S. M. S. G.; SILVA, O. C.; ABREU, F. C. Geração de Energia Elétrica a partir do Biogás Proveniente do Tratamento de Esgoto Utilizando um Grupo Gerador de 18 Kw. In: Congresso Brasileiro de Planejamento Energético, Brasília – DF, 2006.
11. COSTA, D. F.; FERLING, F. F.; NOGUEIRA, F. G. Produção de energia elétrica a partir de resíduos sólidos urbanos. 2001. Trabalho de Graduação Interdisciplinar para Conclusão de Curso da Faculdade de Engenharia FAAP. São Paulo, 2001.
12. FERRAZ, J. M. G.; MARIEL, I. E. Biogás uma fonte Alternativa de Energia. Brasil, Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1980, p. 27. (EMBRAPA-CNPMS. Circular técnica, 3).
13. GOLDENBERG, J.; VILLANUEVA, L. D. Energia, Meio Ambiente & Desenvolvimento. Editora da Universidade de São Paulo, 2 ed. São Paulo, p. 226, 2003.
14. LEMOS, M. V. D. Uso Eficiente de Biogás de Esgoto em Motores Geradores. 2013. 60f. (Projeto de Graduação) Engenharia Mecânica da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2013.
15. MAGALHÃES, A. P. T. Biogás: um projeto de saneamento urbano. São Paulo: Nobel, p. 120, 1986.
16. MANÁGAS INSTALAÇÕES DE GASES ESPECIAIS, Metano: propriedades dos gases, disponível em: <http://www.managas.com.br/index.php/gases/8-propriedades-dos-gases/40-etano?%20option=com_content> acessado em: 10 de março de 2015.
17. NOGUEIRA, L. A. H., Biodigestão: A Alternativa Energética. São Paulo, Nobel, p.93, 1986.
18. OLIVER, A. P. M.; SOUZA NETO, A. A.; QUADROS, D. G.; VALLADARES, R. E. Manual de Treinamento em Biodigestão, p. 23 versão 2.0, Winrock, Salvador BA, 2008.
19. PECORA, V. V. Implantação de uma unidade demonstrativa de geração de energia elétrica a partir do biogás de tratamento do esgoto residencial da USP. 2006. 108f. (Dissertação Mestrado). Pós-Graduação em Energia da Universidade de São Paulo (Instituto de Eletrotécnica e Energia). São Paulo, 2006.
20. QUIAO, W.; YAN, X.; YE, J.; SUN, Y.; WANG, W.; ZHANG, Z. Evolution of biogas production from different biomass wastes with/without hydrothermal pretreatment. Renewable Energy, v. 36, p. 3318, 2011.
21. RIBEIRO, W. X. Comparação dos parâmetros técnicos de um motor diesel funcionando com óleos diesel e óleo diesel/biogás. Universidade Federal do Ceará, Centro de Ciências Agrárias, Departamento de Engenharia Agrícola, Fortaleza, 1993.
22. SALOMON, K. R. Avaliação Técnico-econômica e ambiental da utilização do Biogás proveniente da biodigestão da vinhaça em tecnologias para geração de eletricidade. 2007. 219f. Tese de Doutorado (Doutorado em Conversão de Energia) - Instituto de Engenharia Mecânica, Universidade Federal de Itajubá, Itajubá-MG, 2007.
23. SGANZERLA, E. Biodigestor: uma solução. Editoro: Porto Alegre Agropecuária, p. 88, 1983.
24. SILVA, E. P; CAVALIERO, C. K. N. Perspectivas para as fontes renováveis de energia no Brasil. Disponível em:<http://www.unicamp.br/unicamp/unicamp_hoje/ju/fevereiro2003/Ju204pg02.html> Acesso em: 17 de junho de 2014.