

AVALIAÇÃO DE UM SISTEMA DE GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA POR GERADOR A GÁS VOLTADO PARA PEQUENOS PRODUTORES RURAIS

DEVELOPMENT OF AN ELECTRICITY GENERATION SYSTEM THROUGH BIOGÁS FOR SMALL RURAL PRODUCERS

Marcelo Guerra Gonçalves¹

Weverton da Silva Pereira dos Santos²

Inácio Ramos Leite³

RESUMO

A produção de energia elétrica é uma das áreas mais importantes da engenharia devido a sua importância inquestionável para a humanidade. Ela pode ser obtida de diversas formas, mas recentemente, é crescente a preocupação com o desenvolvimento de formas sustentáveis para se obtê-la. A produção de energia elétrica a partir de biogás, obtido a partir da decomposição de resíduos orgânicos, é uma das formas que mais evoluíram nos últimos anos, em função do custo relativamente alto da energia e da preocupação com a destinação adequada destes resíduos. Neste contexto, este trabalho adaptou um gerador de energia, originalmente fabricado para operar com gasolina, para utilizar gás como combustível, visando sua aplicação com biogás produzido em biodigestores de propriedades rurais. Testes foram realizados utilizando o gás GLP, e os resultados mostraram bom desempenho durante seu funcionamento e menor custo do quilowatt-hora produzido, quando comparado com o custo do mesmo obtido utilizando gasolina como combustível.

Palavras-chave: Gerador, GLP, biogás.

¹ Graduando em Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: marceloguerre@icloud.com

² Graduando em Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: wevertonsantinho@hotmail.com

³ Docente no Curso de Engenharia Elétrica no Centro Universitário UNIFAFIBE de Bebedouro, SP. E-mail: inacioramosleite@yahoo.com.br

ABSTRACT

The production of electrical energy is one of the most important areas of engineering due to its unquestionable importance for humanity. It can be obtained in a number of ways, but more recently, there is a growing concern about the development of sustainable ways to obtain it. The production of electricity from biogas, obtained from the decomposition of organic waste, is one of the forms that have evolved most in recent years, due to the relatively high cost of energy and the concern with the proper disposal of this waste. In this context, this work adapted an energy generator, originally manufactured to operate with gasoline, to use gas as a fuel, aiming its application with biogas produced in biodigestors of rural properties. Tests were performed using LPG gas, and the results showed good performance during operation and lower cost of kilowatt-hours produced, when compared to the cost of the same obtained using gasoline as fuel.

Keywords: Generator, LPG, Biogas.

1 INTRODUÇÃO

São muitas as fontes de energias renováveis encontradas no planeta Terra, e o Sol é a maior. Além de fornecer calor e luz, é responsável pela movimentação do ar atmosférico, possibilitando a utilização do vento em energia eólica. Outra fonte de energia é a química, normalmente obtida através da queima de compostos orgânicos, como hidrocarbonetos derivados do petróleo (gás liquefeito de petróleo, gasolina e gás natural). Está é muito utilizada em diversos meios, através da sua conversão em energia mecânica, elétrica e térmica (MOREIRA, 2017).

Os sistemas híbridos são aqueles formados por duas ou mais fontes de energia. São de grande importância quando utilizados na geração de energias renováveis, sendo indispensável em regiões descentralizadas ou isoladas com pouco suprimento de energia elétrica. A instalação de reator anaeróbio para a obtenção e utilização de biogás na produção de energia elétrica vem se destacando nos últimos anos. Estes gases podem ser produzidos na decomposição de matéria

orgânica, uma fonte de energia facilmente obtida em qualquer região do país, até mesmo naquelas mais afastadas de centros energéticos (REIS, 2011).

Até a década de setenta, os processos anaeróbios sofriam certa resistência em sua aceitação, pois exalavam mal cheiro nas redondezas de suas instalações, dificultando sua utilização. A partir dos anos setenta, foram adotadas medidas de controle para estes gases, impedindo que viessem escapar para a atmosfera, principalmente por se tratar de um gás combustível que contribui 21 vezes mais que o gás carbônico para aumento do efeito estufa. Devido a isso, o biogás produzido passou a ser coletado e mensurado para ser utilizado comercialmente, ou queimado em um curto período de tempo (CHERNICHARO, 2007).

A biomassa pode ser obtida através de resíduos orgânicos que provêm da agricultura, centros urbanos e indústrias. Encontra-se biomassa nos vegetais e resíduos produzidos no campo, resultantes de plantações não lenhosas como a cana-de-açúcar, e também, plantações lenhosas, como a madeira. Os biofluidos, também são considerados como biomassa. Entre eles estão os óleos vegetais obtidos da mamona e da soja, podendo ser consumidos diretamente como energia renovável (CORTEZ; LORA; GÓMEZ, 2011).

A forma mais rápida de se obter energia através da biomassa é queimando-a. Ela também pode ser utilizada em um processo de gaseificação pela decomposição térmica, utilizando cavacos de madeira, cascas de frutos, resíduos urbanos, etc. Este processo pode converter matérias sólidas em combustíveis gasosos. O gás produzido é utilizado diretamente como combustível, sem nenhum tratamento para a produção de calor e energia (BRAND, 2010).

Vários fatores estão induzindo a geração de energia distribuída. No Brasil, 81% da energia elétrica, provêm dos recursos hídricos que se localizam distantes dos grandes centros urbanos e industriais, com alto consumo de eletricidade, fator que aumenta o desperdício de energia. Para contornar este problema, o Brasil necessita de novas alternativas para a geração de energia elétrica, para assim, distribuir geograficamente sua produção, com maior confiabilidade e flexibilidade na operação de seu (SEP) sistema elétrico de potência (LORA; HADDAD, 2006).

Neste contexto, este trabalho teve como objetivo adaptar um gerador de energia a gasolina, de modo a deixá-lo apto a operar com gás combustível, a fim de

avaliar seu desempenho e possível utilização por pequenos produtores rurais que possuem biodigestores em suas propriedades.

2 REFERENCIAL TEÓRICO

2.1 Energias renováveis

O consumo de energia tem aumentado em todos os segmentos, seja comercial, residencial ou industrial, muitos exploram recursos em combustíveis fósseis como fonte de energia, mas são recursos limitados e que poluem o meio ambiente. Sendo assim muitos países iniciaram a exploração de fontes alternativas, como o vento, o Sol, fontes hídricas, geotérmicas e da biomassa, energias que não geram impacto ambiental e é considerada energia verde, ou de fontes renováveis (REIS, 2017).

2.1.1 Energia solar

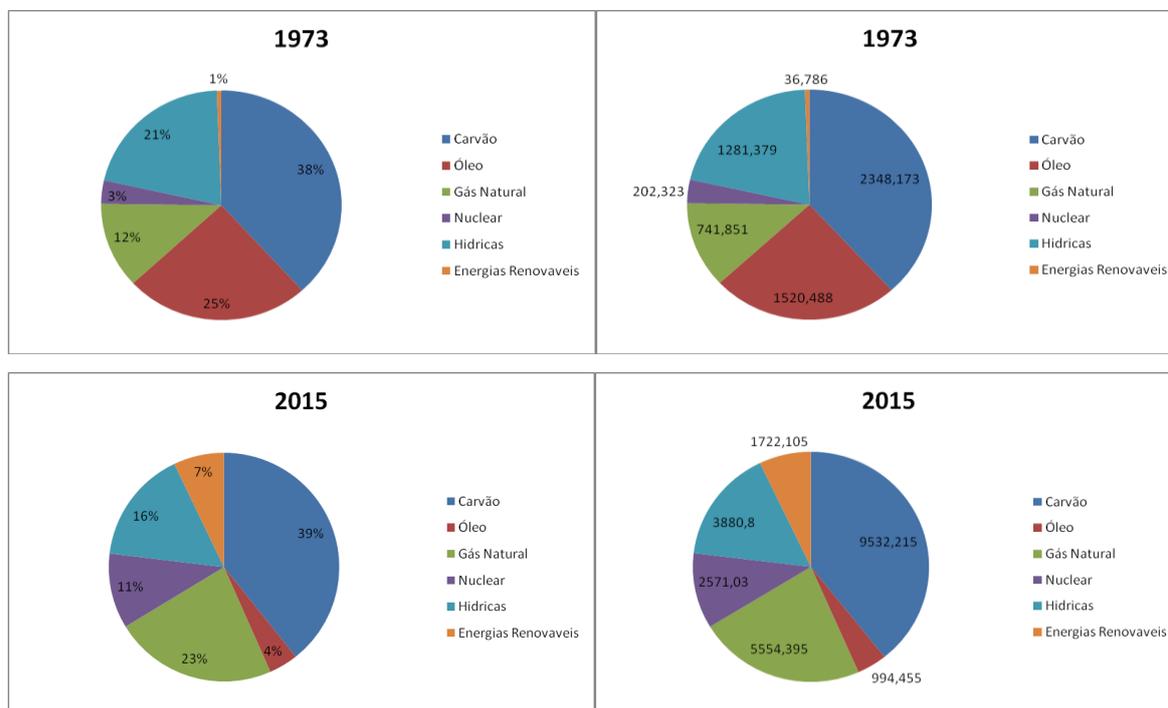
No período de um ano o Sol emite energia 10 mil vezes mais que a energia consumida no mundo. Sua produção permanente chega a 390 sextilhões de KWh, mas o sol emite seus raios em várias direções e por este motivo parte da energia não chega a superfície de nosso planeta e, portanto, não pode ser aproveitada. O planeta Terra recebe mais de 1500 quatrilhões de kWh de energia por ano (PEREIRA, 2009).

O Brasil possui grande potencial para utilização do aquecimento solar, e seu aproveitamento em grande escala poderá trazer grandes benefícios para inúmeros segmentos da sociedade. A zona residencial responde por 24% do consumo integral de energia elétrica no país e, dentro desse setor, tem-se representação média de 26% do consumo total devido ao aquecimento de água. O aquecimento de água para banho em residências brasileiras é responsável por mais de 6,0% de toda a demanda nacional de energia elétrica (OLIVEIRA et al., 2008).

Na Figura 1, mostra a quantidade de usinas para geração de energia por combustíveis renováveis e não renováveis, as outras formas incluem a energia

eólica, bicompostíveis, por resíduos, térmica e solar do ano de 1971 à 2010, fonte Key World Energy Statistics 2012 – IEA (International Energy Agency) (REIS, 2017).

Figura 1. Geração de energia no Mundo por fontes renováveis e não renováveis.



Fonte: REIS (2017).

2.1.2 Energia eólica

Por volta de 1970 iniciou-se a utilização do vento como fonte de energia e função da crise de abastecimento de petróleo. Hoje em dia a energia eólica é reconhecida mundialmente por ser uma energia alternativa e vem crescendo nos últimos anos. Em 2009, o crescimento deste tipo de energia cresceu em torno de 28,6% (PEREIRA, 2009).

O ruído gerado pelo sistema eólico ao girar as pás tem causado um impacto no ambiente ao redor dos geradores e foi um tema muito discutido, causando a paralização e a não propagação da energia eólica nos anos 80 e início dos anos 90. O desenvolvimento tecnológico na última década, tem melhorado significativamente dos níveis de ruído produzidos pelos empreendimentos de geração de energia eólica (PINTO; MARTINS; PEREIRA, 2017).

2.2 Energias descentralizadas

A descentralização de energia normalmente é associada ao transporte de energia de longas distancias, instaladas em grandes torres, formando linhas de transmissão de grande porte para levar a energia gerada para pontos de distribuição próximos aos grandes centros de consumo de energia elétrica, e por sua vez distribuída individualmente para cada consumidor, residencial, industrial, comercial, rural ou urbano (REIS, 2017).

Para Salomon e Lora, (2009), a geração descentralizada de energia, próximo da fonte consumidora proporciona lucro adicional, reduz o consumo de eletricidade das instalações e pode ser comercializada em processos de cogeração de eletricidade e calor, o que reduz as emissões de metano que causam o efeito estufa, além de atender as regras do sistema regulador do mercado energético (ROSA et al., 2016).

Muitos equipamentos já utilizam gás natural para alimentar os sistemas de cogeração. Trata-se de um combustível que, devido as suas propriedades químicas, possui alta eficiência energética. Contudo, é uma fonte de energia muito explorada no território nacional, mas quase toda importada da Bolívia, de onde o gás é transportado para o Brasil por meio do gasoduto Bolívia-Brasil com 3150 Km de extensão (PEREIRA, 2009).

2.3 Poluição do meio ambiente

A maioria das indústrias sofre com resíduos industriais. Para que se possa ter uma visão detalhada do problema, é preciso conhecer os processos de fabricação, verificando quais resíduos ele gera, qual o teor de matéria orgânica, teor de sólidos em suspensão e concentração de substâncias tóxicas, e determinar onde será sua disposição final. A rede pública de esgoto e suas classificações são os mais acessíveis. O solo recebe boa parte destes resíduos como fertilizantes quando aplicado de forma controlada para que não provoque contaminações (VILLEN, 2001).

A suinocultura no Brasil é uma prática desenvolvida especialmente em pequenas propriedades rurais e adaptada à indústria. Aproximadamente 85% dos porcos são produzidos em áreas de até 100 hectares, constituindo-se uma das mais significativas fontes de receita para 46,5% das 5,8 milhões de propriedades rurais no país (RAMIREZ et al., 2002 apud OLIVEIRA, 2014). A poluição do solo e água ocasionada pela suinocultura e seus impactos ambientais são severos nas regiões produtoras. Uma alternativa eficiente para diminuir esse problema pode ser a construção de reatores anaeróbios de alta taxa (OLIVEIRA, 2014).

O tratamento anaeróbio é realizado através da fermentação bacteriana sem a presença de oxigênio livre. Neste processo a matéria orgânica complexa é transformada em metano e gás carbônico (biogás) (VILLEN, 2001).

No Brasil o aproveitamento energético do biogás vem crescendo, mas a grande maioria dos aterros sanitários e estações de tratamento localizadas em indústrias e áreas domésticas não aproveitam seu potencial energético, apenas coletam e queimam toda a produção do biogás (TSAGARAKIS, 2007 apud ROSA et al., 2016).

2.4 Combustíveis e suas fontes

O crescimento do setor energético das destilarias e usinas do Brasil foi tão intenso como em outros segmentos. Porém, ocorreu paulatinamente, devido a fatos institucionais. O bagaço pode ser um combustível com grande proporção no setor sucroalcooleiro, sem custos e sem utilização para outras finalidades nas usinas e destilarias. Com o alto custo da lenha e da energia elétrica o setor melhorou sua eficiência energética, buscando a autonomia de combustíveis (LEAL, 2010).

Geralmente, os estudos de alternativas para aproveitar o potencial energético dos subprodutos do tratamento devem ser considerados em todas as necessidades e realidades das estações. As variações do processo e energia, são indispensáveis para a tomada de decisão, e utilizados para elaborar dados fundamentais para os estudos de viabilidade econômica de empreendimentos de aproveitamento energético que sejam tecnicamente viáveis para cada ETE (ROSA et al., 2016).

O biodiesel também é um combustível obtido de fontes renováveis, podendo ser produzido através de gorduras animais ou óleos vegetais. No Brasil a mamona, o óleo de Palma (azeite de dendê), amendoim, pinhão o girassol entre outros, são utilizados na fabricação deste combustível. O biodiesel pode ser utilizado puro ou misturado ao óleo diesel de petróleo em diversas porções para ser utilizado em motores a diesel, entre eles motores de caminhões, geradores de calor ou eletricidade (PEREIRA, 2009).

O lodo desidratado, se for submetido à secagem, pode melhorar seu poder calorífico, sendo capaz de ser utilizado como um combustível, substituindo a lenha ou o carvão. Já o biogás, deve ser utilizado no local de produção, na própria ETE. Muitas utilizam o biogás para secagem do lodo, e seu excedente para gerar eletricidade em motores de combustão interna. Existe também o uso integral do biogás para a geração elétrica, utilizando os gases do escape dos motores para secagem do lodo (ROSA et al., 2016).

2.5 Geração

O fornecimento de gás tem que ser próximo da instalação, muitas vezes são fornecidos pela distribuidora, possuindo muitos controles de segurança para o equipamento, os motores a gás natural são diferentes dos motores a diesel, elas utilizam combustíveis vários gêneros, como o biogás, obtidos em aterros e são de menor poder calorífico. A carência de energia determina a potência dos motores a ser utilizados na geração (PEREIRA, 2009).

É necessário que a propriedade tenha recursos e instalações que necessitem de uma demanda de energia que justifique o dinheiro empregado na geração com o uso do biogás. Um fator limitante é o número de animais necessário na propriedade rural para produzir resíduos que serão transformados em biogás viabilizando a geração de energia. O aumento de produção e utilização de energia na propriedade, implicam em contratação de mão de obra específica e novos investimentos. As consequências destas alterações devem ser avaliadas em projetos futuros (MARTINS; OLIVEIRA, 2011).

O biogás gerado nos biodigestores pode ser usado para a produção de energia inicial para fornecer energia mecânica em turbinas e motores há combustão, esses acoplados a geradores elétricos são capazes de fornecer energia elétrica. Um metro cúbico de biogás (1 m³ de biogás) é equivalente a 6,5 kwh de energia elétrica e a eficiência dos sistemas de cogeração varia entre 30 e 38%, ou seja entre 1,95 e 2,47 kwh (OLIVEIRA, 2009).

2.5.1 Geração isolada e Geração distribuída

Na geração isolada o suprimento externo de energia não existe em caso de perda de uma fonte, sendo inviável economicamente a geração de energia reserva para suprir a demanda de carga instalada. Na geração distribuída existem possibilidades de suprimento de energia externo em caso de perda de uma fonte, lembrando que os custos associados e suas características tem que ser avaliados cuidadosamente (REIS, 2017).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste trabalho, um gerador de energia elétrica a gasolina (EP2500, Honda, Manaus, AM), com potência aparente de 2,5 kVA, saída de tensão com 120/240 VAC e 12 VDC, foi adaptado para a queima de gás e seu desempenho foi testado e avaliado quanto ao consumo de combustível e rendimento (Figura 2).

Figura 2. Gerador modelo EP2500 fabricado pela Honda



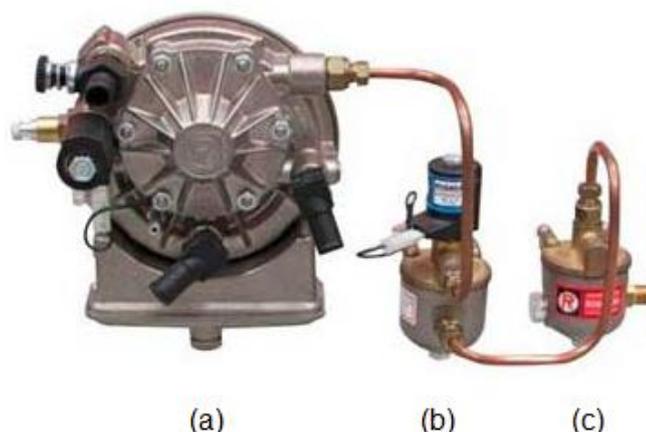
Fonte: Própria Autoria.

3.1 Materiais

O gerador utilizado foi adaptado utilizando-se os seguintes materiais:

- um botijão de gás GLP com capacidade para 2 kg;
- um regulador de pressão manual (FRG 13BR, Famabras, Itaquaquecetuba, SP), com finalidade de regular a pressão de alimentação do sistema em $1,5 \text{ kgf/cm}^2$;
- um filtro de decantação (*Standard 4100F*, Rodagás, São Paulo, SP), específico para sistemas bicompostíveis, auxiliando na retenção da impurezas presentes no gás (Figura 3c);
- uma eletroválvula de GLP (*Standard 2560/1*, Rodagás, São Paulo, SP), com filtro acoplado (Figura 3b);
- um redutor de pressão vaporizador de GLP (*Standard 2400/2*, Rodagás, São Paulo, SP), para redução e controle do gás (Figura 3a).

Figura 3. (a) redutor de pressão vaporizador de GLP; (b) eletroválvula de GLP com filtro acoplado; (c) filtro de decantação.



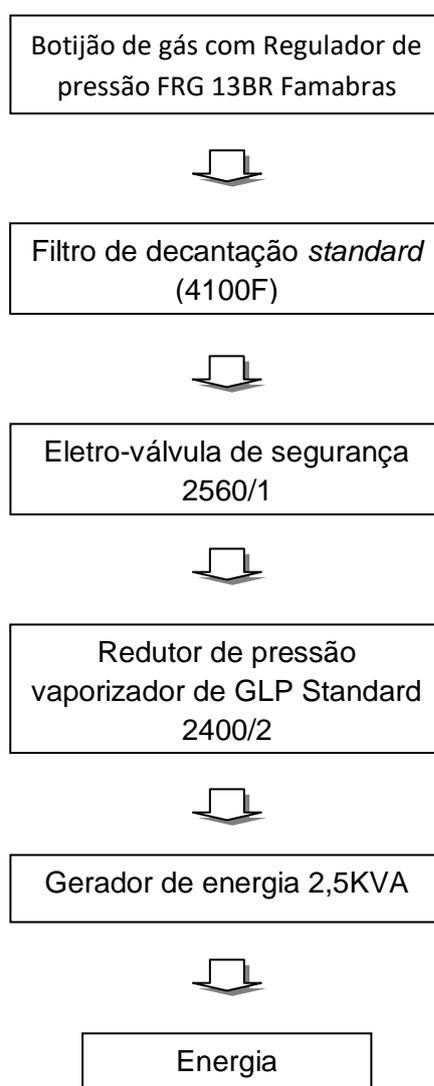
Fonte: Rodagás (2018).

3.2 Montagem do sistema

O gerador utilizado foi adaptado de acordo com o sistema ilustrado no diagrama de blocos apresentados na Figura 4. Na adaptação realizada, o gás foi direcionado ao primeiro filtro de decantação (c), instalado antes da eletroválvula de

segurança (b) para evitar entupimento dos orifícios desta válvula e diminuir a quantidade de impurezas que chega ao redutor de pressão vaporizador (a), aumentando sua eficiência de queima e melhorando o funcionamento do sistema de geração. A injeção do gás no motor foi feita na saída do carburador, fazendo com que ar ambiente e gás combustível alimentem simultaneamente o gerador.

Figura 4. Diagrama de montagem do sistema.



Fonte: Própria Autoria.

3.3 Operação do sistema

A partida do gerador foi realizada com gasolina, combustível original do equipamento. A geração de energia inicia-se no momento da partida manual do gerador e estabiliza-se no momento em que a lâmpada de LED vermelha, indicadora de geração, mantém-se acesa, sem oscilar.

Após a partida, fechou-se o registro de alimentação de gasolina e acionou-se o disjuntor de alimentação geral, que por sua vez alimenta a eletroválvula de segurança, permitindo a mudança de combustível. Então, o gás é liberado para alimentação do redutor de pressão vaporizador, acendendo-se a lâmpada de LED verde, iniciando-se a mudança de combustível no sistema. O sistema pode levar de 30 a 60 segundos para estabilizar, e somente após sua estabilização pode-se fechar o disjuntor dos circuitos alimentados pelo gerador.

A parada do gerador pode ocorrer de maneira emergencial ou por parada programada. Na parada emergencial, pode-se desligar o disjuntor geral do gerador, disjuntor dos circuitos ou o botão da eletroválvula. No caso de *trip* do gerador, a eletroválvula de segurança é desligada imediatamente por estar inter-travada na geração 12 VCC do sistema. O redutor vaporizador possui um sistema de vácuo na entrada da câmara de combustão que libera ou bloqueia a passagem de gás. Sem vácuo o sistema é desligado automaticamente. O sistema de alimentação do gás possui duplo sistema de segurança (eletroválvula e redutor vaporizador) para garantir a estanqueidade do gás em caso de *trip*, emergência ou parada programada do gerador.

3.4 Avaliação do desempenho gerador

O gerador foi avaliado gerando 500W, 1.000W, 1.500W e 2.000 W de potência, valores correspondentes a 25%, 50%, 75% e 100% de sua capacidade, com gasolina e GLP. Em cada experimento, foi monitorada a tensão de saída e medido o consumo de combustível. Com base nas medições de consumo de combustível e no valor de mercado dos mesmos, determinou-se o custo do kWh gerado com cada combustível.

3.4.1 Determinação do consumo de GLP e gasolina

O consumo de GLP durante a operação do gerador foi determinado com o auxílio de uma balança digital comercial (Pluris, Filizola, Campo Grande, MS). Inicialmente, pesou-se o botijão vazio e, em seguida, o mesmo foi abastecido e pesado novamente. Durante a realização dos experimentos, determinou-se a massa do botijão antes e depois de cada teste, obtendo-se, pela diferença entre a massa inicial e final, a massa de GLP consumida.

O consumo de gasolina foi medido com o auxílio de uma Proveta graduada PYREX com volume de 1000 ml, uma bureta QUIMEX com volume de 50 ml e um balão Herba com volume de 500 ml.

No início, abastecemos a Proveta com 1000 ml de gasolina e no final de cada experimento, foi observado a quantidade consumida, conforme marcação descrita na proveta. O balão foi utilizado para reabastecimento. A Bureta foi utilizada para abastecer o gerador, pois o combustível é injetado no carburador por gravidade.

Figura 6. Gerador modelo EP2500 fabricado pela Honda.



Fonte: Própria Autoria.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A geração de energia se manteve constante nos experimentos realizados com 25%, 50% e 75% da capacidade do equipamento, mantendo sua tensão de saída em 120 VAC. Observou-se ainda que, com o aumento da potência gerada, houve um aumento no consumo de combustível, de acordo com a Tabela 1.

Tabela 1. Consumo de combustível apresentado pelo gerador em função da carga, tensão e do tipo de combustível.

Experimento	Carga (%)	Potência (W)	Tensão (V)	Gasolina (L h ⁻¹)	GLP (kg h ⁻¹)
1	25	500	120	0,96	0,408
2	50	1.000	120	1,2	0,552
3	75	1.500	120	1,35	0,576
4	100	2.000	117	1,75	0,792

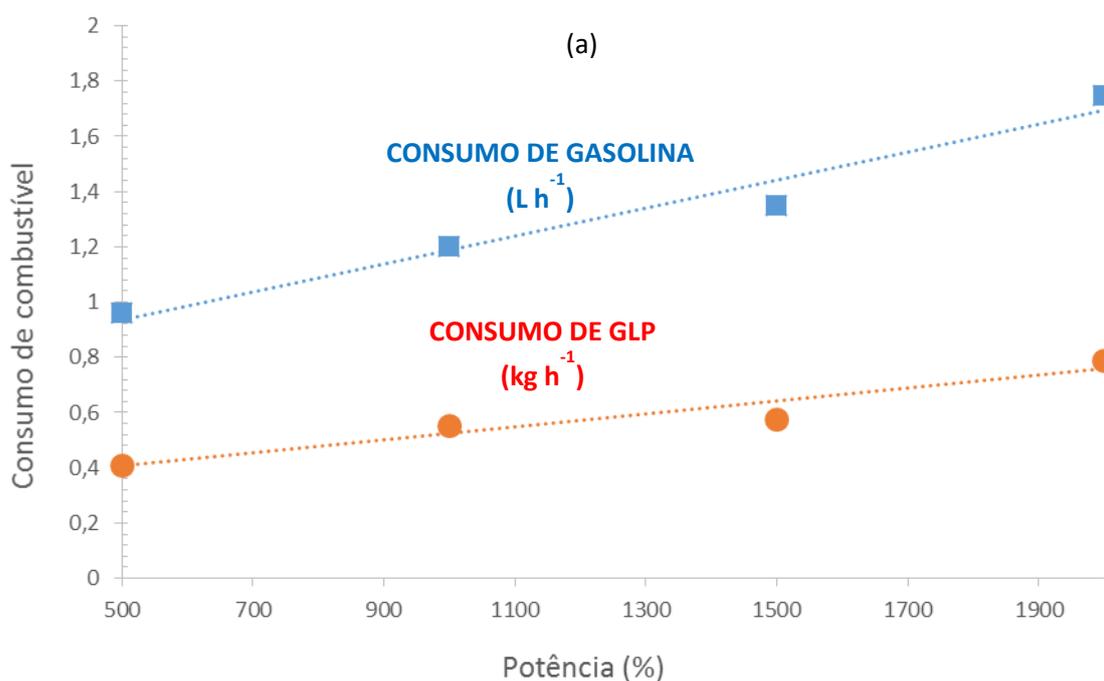
Fonte: Própria Autoria.

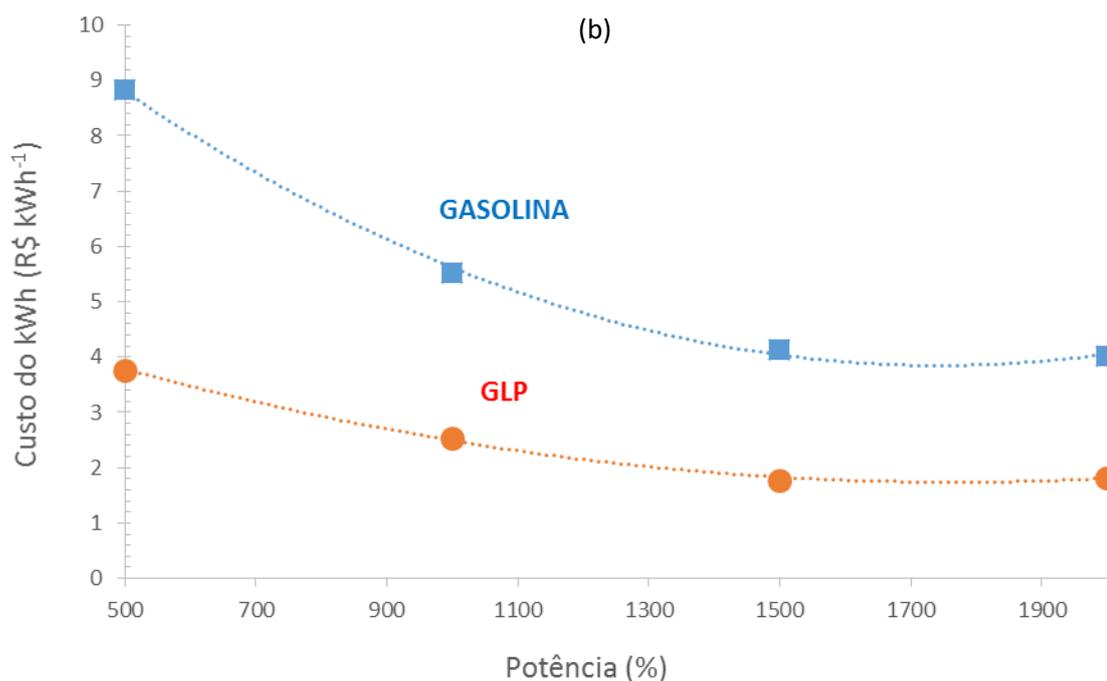
Além disso, verificou-se que elevando a geração para 2.000 W, a tensão oscilou, afundando para 117 VAC. Na Figura 7 foram apresentados graficamente o consumo de combustível em função da potência gerada e a relação entre a energia produzida e o custo do combustível, em reais por kWh, para os dois tipos de combustível testados. Os cálculos foram realizados considerando-se os custos de R\$ 4,60 por litro de gasolina e R\$ 60,00 reais por botijão de 13 kg de GLP (aproximadamente R\$ 4,61 por quilograma de GLP). Na Figura 7a, nota-se uma relação de proporcionalidade entre o consumo e potência. Na Figura 7b constatou-se que o custo da energia produzida utilizando gasolina foi maior que a produzida com o GLP. Operando no máximo da capacidade do gerador, o custo do kWh produzido com GLP foi de R\$ 1,83/kWh, contra um custo R\$ 4,02/kWh quando o combustível utilizado foi à gasolina. Estes valores indicam a energia gerada a partir da gasolina gera um custo quase 220% maior do que com GLP.

De acordo com Oliveira (2009), a gasolina apresenta poder calorífico inferior próximo em torno de 10.300 kcal/kg, em relação ao valor apresentado pelo GLP, que

apresenta 11.000 kcal/kg. Esta diferença entre o poder calorífico dos combustíveis utilizados é um dos motivos pelos quais o consumo de GLP foi significativamente menor que o de gasolina. Além disso, acredita-se que a utilização do gás tenha melhorado a eficiência de queima do combustível, contribuindo com o melhor rendimento apresentado pelo GLP.

Figura 7. (a) Consumo horário de combustível em função da potência produzida; (b) Custo do kWh produzido por cada combustível testado.





Fonte: Própria Autoria.

Tendo em vista uma possível aplicação do sistema de geração de energia avaliado em propriedades rurais que possuem biodigestores, novos testes devem ser realizados com o biogás para se obter uma avaliação mais precisa. Contudo, segundo Okamura (2013), o poder calorífico inferior do biogás de biodigestor é em torno de 4.780 kcal/kg. Logo, é esperado que o consumo observado pelos produtores rurais que venham a utilizar o sistema de geração de energia avaliado neste trabalho seja maior do que o consumo de GLP observado no presente estudo.

Durante a realização dos experimentos com o GLP, foram observados alguns problemas operacionais no momento da partida do gerador. Observou-se que o sistema apresentou dificuldade para gerar vácuo suficiente para acionar o sistema de segurança do redutor vaporizador, fazendo com que o combustível não chegasse ao gerador. Por este motivo, a partida do equipamento nos experimentos realizados com o GLP foi realizada com gasolina, e, em seguida, o GLP passou a ser utilizado para alimentar o sistema.

5 CONCLUSÃO

A adaptação do gerador foi realizada e considerada satisfatória, uma vez que o sistema apresentou bom funcionamento, apresentando falhas apenas na partida. Verificou-se que a operação do equipamento utilizando o GLP apresentou menor custo por quilowatt-hora produzido, mostrando-se como uma opção com potencial para ser utilizado na produção de energia elétrica a partir de biogás produzido em biodigestores de pequenas propriedades rurais. Testes utilizando este tipo de gás não foi possível em função da indisponibilidade de biodigestores.

REFERÊNCIAS

- BORZANI, Walter; SCHMIDELL, Willibaldo; AQUARONE, Eugênio (Coord.). **Biotecnologia industrial**: fundamentos. São Paulo: Blucher, 2001. v. 01.
- BRAND, Martha Andreia. **Energia de biomassa florestal**. Rio de Janeiro: Interciência, 2010.
- CHERNICHARO, Carlos Augusto de Lemos. **Reatores anaeróbios**. 2. ed. Belo Horizonte: Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG, 2008. v. 05.
- CORTEZ, Luís Augusto Barbosa (Coord.). **Bioetanol de cana-de-açúcar**: P&D para produtividade e sustentabilidade. São Paulo: Fapesp, 2010.
- CORTEZ, Luís Augusto Barbosa; LORA, Electo Eduardo Silva; GÓMEZ, Edgardo Olivares (Org.). **Biomassa para energia**. Campinas: UNICAMP, 2008.
- GÓMEZ-EXPÓSITO, Antonio; CONEJO, Antonio J. **Sistemas de energia elétrica**: análise e operação. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2015.
- HONDA. **Gerador EP2500CX**: manual do proprietário. 2018. Disponível em: <<https://www.honda.com.br/produtos-de-forca/sites/hpf/files/2018-03/EP2500CX%20LBH.pdf>>. Acesso em: 14 out. 2018.
- LORA, Electo Eduardo Silva; HADDAD, Jamil (Org.). **Geração distribuída**: aspectos tecnológicos, ambientais e institucionais. Rio de Janeiro: Interciência, 2006.
- MOREIRA, José Roberto Simões. **Energias renováveis, geração distribuída e eficiência energética**. Rio de Janeiro: LTC - Livros Técnicos e Científicos, 2017.

OLIVEIRA, Rafael Daléo. **Geração de energia elétrica a partir do biogás produzido pela fermentação anaeróbia de dejetos em abatedouros e as possibilidades no mercado de carbono.** Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Elétrica) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 2009.

OLIVEIRA, Roberto Alves de; DUDA, Rose Maria; FERNANDES, Gracie Ferraz Rodrigues. **Reator anaeróbio compartimentado para o tratamento de águas residuárias de suinocultura.** Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522014000400383&lng=pt&nrm=iso>. Acesso em: 01 mar. 2018.

OKAMURA, Layssa Aline. **Avaliação e melhoria do poder calorífico de biogás proveniente de resíduos sólidos urbanos.** Dissertação (Mestrado em Ciências e Tecnologia Ambiental) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

PEREIRA, Mário Jorge. **Energia: eficiência e alternativas.** Rio de Janeiro: Ciência Moderna, 2009.

REIS, Lineu Belico dos. **Geração de energia elétrica.** 2. ed. Barueri, [s.n.]. 2011.

_____. **Geração de energia elétrica.** 3. ed. Barueri: Manole, 2017.

RODAGAS. **Catálogo de produtos e peças.** 2014. Disponível em: <<http://www.rodagas.com.br/images/rodagas/produtos/GLP/PDF/CAT2400-2.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

RODAGAS. **Catálogo de produtos e peças.** 2014. Disponível em: <<http://www.rodagas.com.br/images/rodagas/produtos/GLP/PDF/CAT-4100.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

RODAGAS. **Catálogo de produtos e peças.** 2015. Disponível em: <<http://www.rodagas.com.br/images/rodagas/produtos/GLP/PDF/CAT-2560-1.pdf>>. Acesso em: 13 out. 2018.

ROSA, Aldo Vieira da. **Processos de energias renováveis: fundamentos.** 3. ed. Rio de Janeiro: Elsevier, 2015.

ROSA, André Pereira et al. **Potencial energético e alternativas para o aproveitamento do biogás e lodo de reatores UASB: estudo de caso estação de tratamento de efluentes Laboreaux (Itabira).** 2016. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo.php?script=sci_arttext&pid=S1413-41522016000200315>. Acesso em: 21 mar. 2018.

Recebido em 4/12/2018

Aprovado em 17/12/2018