

APROVEITAMENTO ENERGÉTICO DE BIOGÁS E DE ENERGIA FOTOVOLTAICA EM PEQUENAS PROPRIEDADES

Ederaldo Godoy Júnior

Departamento de Energia da Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP, (12) 9115-9451, godoyjr@feg.unesp.br

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, (12) 225-4005, godoyjr@unitau.br

José Luz Silveira

Depto.de Energia da Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP, (12) 3123-2800, joseluz@feg.unesp.br

Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, (12) 225-4005, giorgio@unitau.br

José Rui Camargo

Depto. de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, (12)229-2566, rui@mec.unitau.br

Wendell de Queiróz Lamas

Departamento.de Energia da Universidade Estadual Paulista – Campus de Guaratinguetá, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP, (12) 3123-2800, wendell@feg.unesp.br

Departamento de Engenharia Mecânica da Universidade de Taubaté, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, (12) 225-4005, wendell@unitau.br

Resumo: *Este trabalho analisa a viabilidade técnica e econômica da implantação de um sistema híbrido, composto por um digestor anaeróbio associado a um cogenerador compacto a biogás, e por um sistema fotovoltaico, visando auto-suficiência energética a uma pequena propriedade rural. A potência elétrica requerida é de 5,8kW, sendo a produção de biogás insuficiente para satisfazer a demanda energética; optou-se pela utilização do biogás para suprimento energético no período noturno e pelo sistema fotovoltaico durante o dia. Dessa forma promove-se sustentabilidade e eficiência em locais onde a implantação de redes de energia elétrica é inviável economicamente.*

Palavras-chave: *biodigestor, biogás, energia fotovoltaica.*

NOMENCLATURA

$Q_{\text{biogás}}$	Produção de biogás [Nm^3/dia]
Q_{esgoto}	Vazão de esgoto bruto [m^3/dia]
$I_{\text{plBIO+FOT}}$	Custo de implantação do sistema biodigestor + fotovoltaico [US\$]
$C_{\text{oBIO+FOT}}$	Custo operacional do biodigestor + fotovoltaico [$\text{US}\$/\text{Nm}^3$]
P_{el}	Preço de compra de eletricidade [$\text{US}\$/\text{kW.h}$]
R -	Receita [US\$/ano]
r	Taxa de juros [% aa]
H	Horas trabalhadas
TOTEM	modulo de energia total (<i>total energy module</i>)
$C_{\text{mBIO+FOT}}$	Custo de manutenção do biodigestor + fotovoltaico [$\text{US}\$/\text{Nm}^3$]

1. INTRODUÇÃO

O presente trabalho avalia a implantação de micro centrais energéticas híbridas para pequenas propriedades rurais em localidades remotas. O conjunto híbrido consiste de um sistema biodigestor anaeróbio, um sistema cogrador/motor de combustão interna a biogás e um sistema fotovoltaico, visando em conjunto promover auto-suficiência energética para uma propriedade.

A proposta é promover o aproveitamento energético do biogás gerado, a partir do tratamento anaeróbio dos resíduos produzidos por uma família padrão de 6 indivíduos e uma pequena suinocultura com 80 animais, e ainda o aproveitamento da radiação solar.

A demanda elétrica requerida pela pequena propriedade, de modo a torná-la auto-suficiente é de 5,8 kW, sendo a produção de biogás insuficiente para acionar o sistema gerador elétrico em todo tempo necessário para satisfazer esse requerimento. Optou-se então pela associação de um sistema fotovoltaico, de forma que durante o dia o suprimento energético seja o solar e durante a noite pela combustão do biogás que será estocado em um gasômetro durante todo o dia.

Conclui-se que com os aspectos técnicos e econômicos associados ao sistema híbrido, os quais permitem seguramente a implantação e, conseqüentemente promoção da sustentabilidade e eco-eficiência numa eco-habitação em localidades onde a implantação de redes de energia elétrica é praticamente inviável economicamente, acrescentando-se a isso o aspecto social de sobrevivência.

2. OBJETIVO

Este trabalho vem propor uma alternativa de energização de propriedades rurais, através da implantação de sistemas híbridos de energia, composto por um sistema biodigestor anaeróbio, um sistema de cogeração compacto de energia acionado por biogás e um sistema fotovoltaico.

3. CENÁRIO ATUAL DA GERAÇÃO DE BIOGÁS NO BRASIL E DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS BIODIGESTORES, NOS PAÍSES EM DESENVOLVIMENTO

Segundo o IBGE (2000), no Brasil é produzido cerca de 64.000.000,00 Nm^3/dia de biogás.

Na produção de biogás, além do aspecto energético, o processo de digestão anaeróbia apresenta dois benefícios: O controle da poluição ambiental e a obtenção de um biofertilizante, cuja utilização possibilita a diminuição do consumo de fertilizantes químicos (Pradella e Alves, 1999).

No Brasil já se tentou desenvolver programas de energização comunitária por biogás. Tais iniciativas datam de mais de dez anos, tendo, aparentemente perdido interesse dos órgãos que a geriam. Dentre esses órgãos pode-se citar o Ministério de Minas e Energia através do “Departamento de Estudo de Novas Fontes Alternativas de Energia”, da extinta Embrater e suas regionais, além de algumas secretarias estaduais de agricultura (Coelho et al. (ed), 2000).

Os efluentes domésticos, comerciais, industriais alimentícios, agroindústrias, de bebidas, de papel e celulose, de laticínios e de suinoculturas, possuem alto teor de matéria orgânica, o que propicia um alto potencial para produção de metano.

Na Tailândia, de acordo com Silva (2001), a Biogas Advisory Unit (BAU) da Chiang Mai University, com apoio do Thai National Energy Policy Office (NEPO), iniciaram um programa para atender médias e grandes fazendas de produção de animais, especialmente suínos, em outubro de 1995. A criação intensiva de suínos traz consigo grandes impactos ambientais. Segundo o autor, espera-se que com a implantação dos biodigestores ao longo de 6 anos, sejam aproveitados por ano cerca de 9.125.000 Nm³ de biogás de resíduos suínos e produzidos cerca de 10.950 MWh de energia elétrica, além da produção de cerca de 31.536 toneladas de biofertilizante. Ainda de acordo com Silva (2001), a BAU vem funcionando bem, mas tem esbarrado num sério problema, que é a compra da energia excedente por parte das concessionárias, tendo em vista que alguns fazendeiros geram mais energia do que necessitam. Porém, nem as empresas de geração e nem as de distribuição de energia elétrica tem interesse em comprar o excedente e, por isso, têm-se operado apenas alguns sistemas, não operando na potência total de geração de eletricidade.

4. CENÁRIO ATUAL DA UTILIZAÇÃO DE SISTEMAS FOTOVOLTAICOS, NO BRASIL E NOS PAISES EM DESENVOLVIMENTO

Segundo Silva (2001) e NREL (2000), o programa de Eletrificação Fotovoltaica na Amazônia e Equador, objetivou atender a seis comunidades indígenas, totalizando cerca de 10 mil habitantes, com eletricidade a partir de tais sistemas sendo utilizada na escola, na refrigeração de vacinas dos postos de saúde e para comunicação de rádio. Os sistemas contam com painéis de 60 W, inversores de 24 VCC / 110 VAC, três sistemas de 1.000 A.h e outros de 2.000 A.h, permitindo a geração de 12,6 kW em cada sistema implantado. O sistema foi financiado pela União Européia, pelo Centro Apropriado para el Desarrollo Tecnológico (CADT), pelo Governo do Estado do Amazonas e também com a participação local, totalizando cerca de US\$ 700,000 e apresentou um custo de geração e distribuição da energia em torno de US\$ 25 / W, estando atualmente em funcionamento.

5. IMPACTO AMBIENTAL CAUSADO PELO DESCARTE DE BIOGÁS

O efeito estufa é o aprisionamento de calor na atmosfera, impedindo sua perda para o espaço. Sem o efeito estufa, a terra seria aproximadamente 33 °C mais fria do que é tornando-se inabitável (Schiffer e Unninayar, 1991). O problema de nosso planeta agora é o aumento potencial do efeito estufa devido à alta concentração na atmosfera de gases estufa. Esses gases são, em grande parte, de origem antropogênica, e suas concentrações estão maiores do que em épocas passadas (Watson et al., 1996). Resumindo, as fontes do efeito estufa são: (1) a produção de gás carbônico pela queima de combustíveis fósseis e biomassa, e uso de terra; (2) a produção de metano; (3) a produção industrial de gases cloro-fluor-carbonos, que também implicam na redução do ozônio estratosférico; (4) liberação de óxido nitroso, pela aplicação de fertilizantes em terras cultiváveis; e (5) a produção de ozônio troposférico. Como o metano contribui cerca de 21 vezes mais que o gás carbônico para o efeito estufa, sua combustão é vista com vantagem tanto para o meio ambiente, quanto para a geração de energia.

6. CONFIGURAÇÃO DO SISTEMA HÍBRIDO PROPOSTO

A configuração do sistema proposto é mostrada na Fig. (1).

6.1. SISTEMA OTIMIZADO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS

A descrição detalhada do processo no sistema de digestores anaeróbios de fluxo ascendente em manto de lodo, é mostrado na Fig. (2): (1º) o efluente pré-tratado (gradeado e desarenado) é

distribuído na parte inferior do manto de lodo do primeiro biodigestor; (2º) conforme o efluente atravessa esse manto (zona de digestão), microorganismos anaeróbios, digerem a matéria orgânica, produzindo biogás na superfície dos grânulos de lodo, tornando-os leves; (3º) dependendo da velocidade ascendente do fluxo do efluente, o manto de lodo se expande, e alguns grânulos gaseificados são arrastados ascendentemente; (4º) na zona de separação de fases sólida-líquida-gasosa, por meio de um separador em formato helicoidal, o efluente é direcionado para a saída, os grânulos gaseificados são degasados no separador fases, tornando-os pesados novamente a ponto de precipitarem, as bolhas de biogás são direcionadas para a coleta; (5º) o efluente passa pelos mantos de lodo e sistemas de separação de fases dos outros digestores em série, formando cascata.

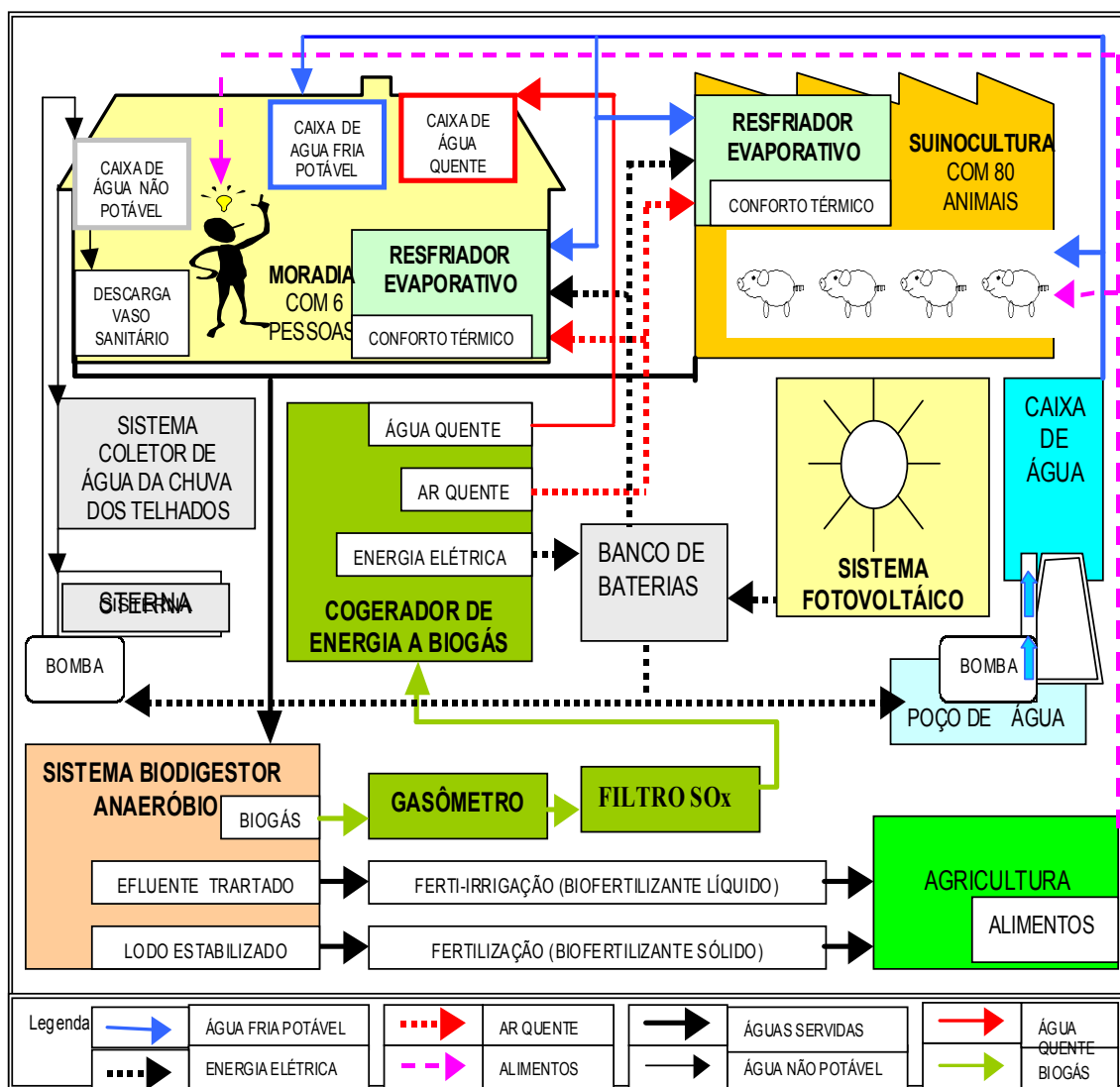


Figura 1. Desenho esquemático do sistema híbrido



**SISTEMA OTIMIZADO DE BIODIGESTORES ANAERÓBIOS DE FLUXO
ASCENDENTE DISPOSTOS EM SÉRIE FORMANDO CASCATA**

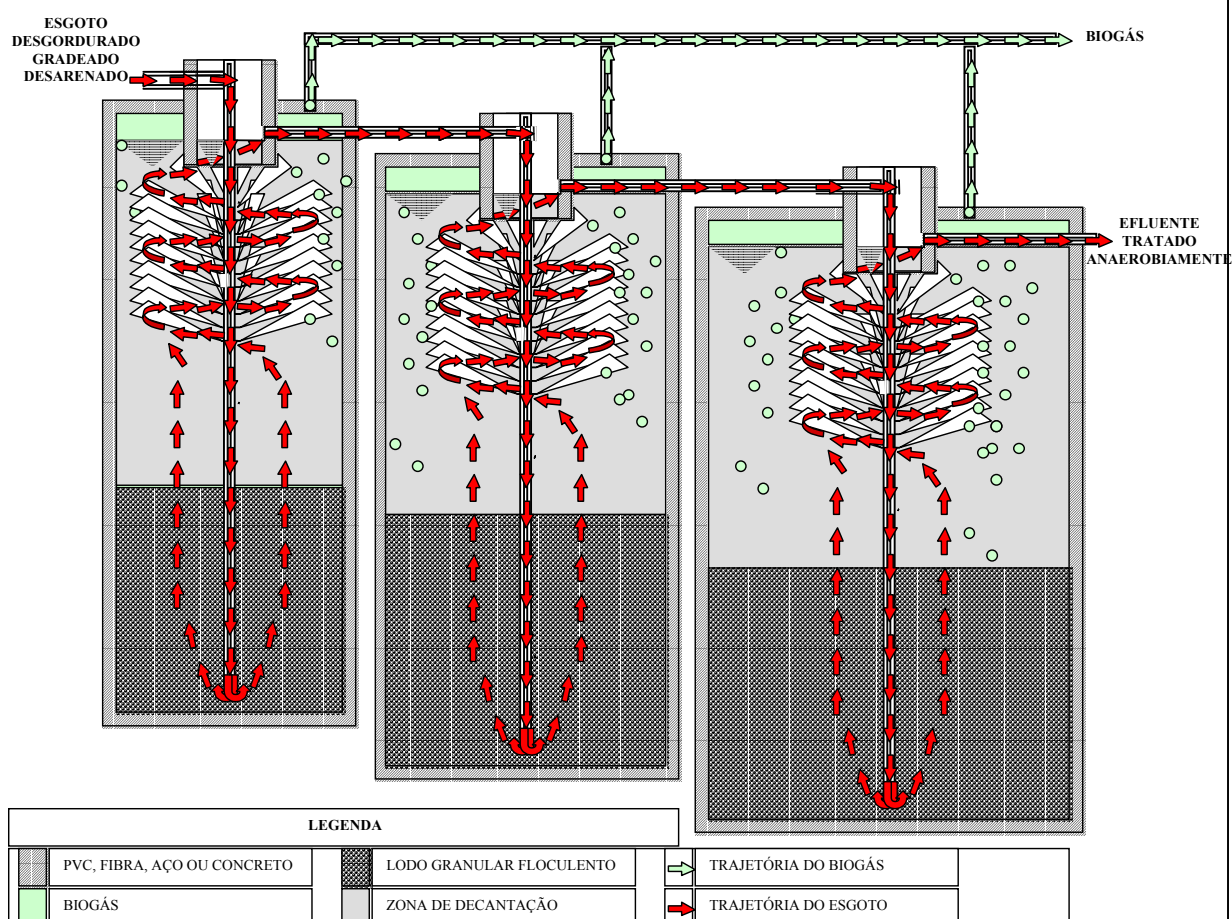


Figura 2. Desenho esquemático do Sistema Otimizado de Biodigestores Anaeróbios de Fluxo Ascendente em Manto de Lodo e fotos do sistema implantado

6.2. SISTEMA DE ARMAZENAMENTO E PURIFICAÇÃO DO BIOGÁS.

No tocante ao aproveitamento energético do biogás gerado foram sugeridas 3 implantações: 1) armazenamento do biogás, através de um gasômetro; 2) filtragem do gás sulfídrico através de um filtro de óxido de ferro; 3) conversão energética do biogás em energia elétrica e água quente, através de um sistema cogerador compacto de energia convertido a biogás. Esse sistema é mostrado na Fig. (3).

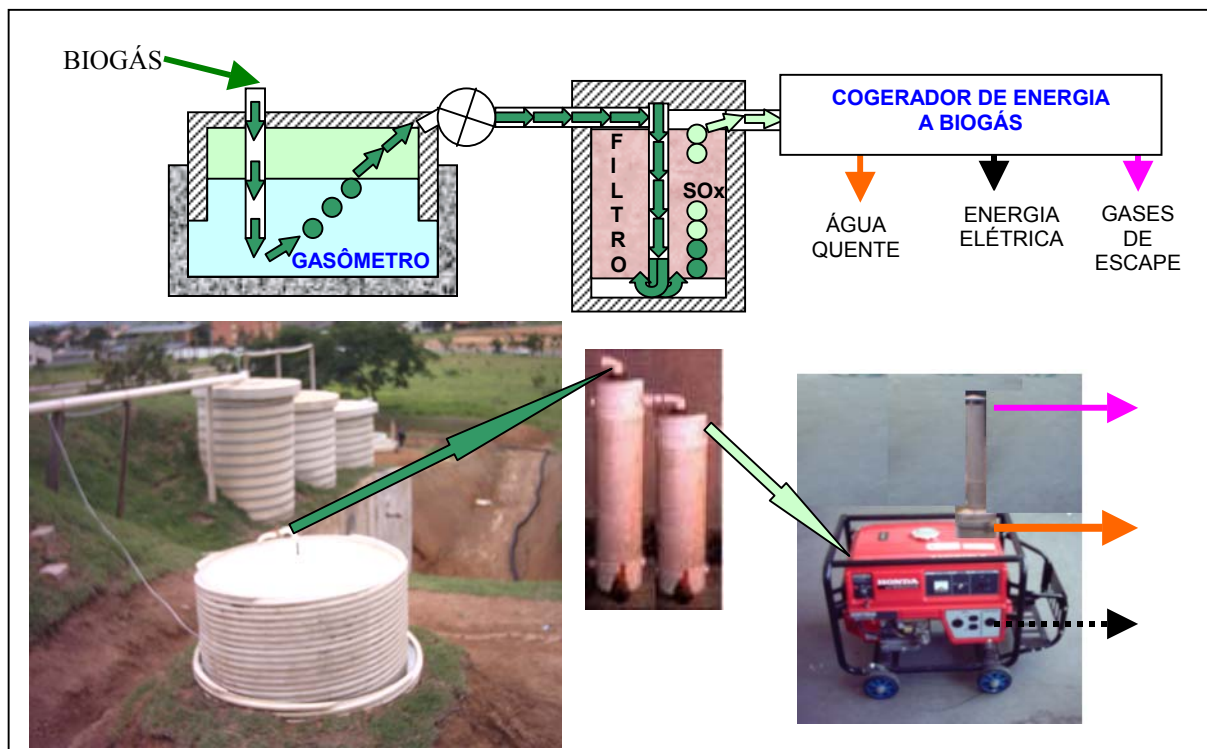


Figura 3. Desenho esquemático do sistema de armazenamento e purificação do biogás, associado ao sistema de cogeração de energia, e foto do gasômetro conectado ao sistema biodigestor, juntamente o sistema de filtragem e cogeração

6.3. SISTEMA COGERADOR COMPACTO A BIOGÁS

Nessa configuração, para o aproveitamento energético do biogás, foi proposta a tecnologia denominada de cogeradores compactos, que se constituem de motores alternativos de combustão interna, convertidos a biogás. No caso utilizou-se uma unidade de 5,8 kW. Os principais componentes dessa unidade de cogeração são: Um motor alternativo de combustão interna, um gerador elétrico, um sistema de controle que assegure o bom rendimento da instalação e, quando necessário, um isolante acústico.

Segundo Silveira (1994), cogeradores compactos, utilizando motor de combustão interna, podem aproveitar de 50 a 70% da energia disponível do combustível na forma de energia térmica e de 23 a 30% na forma de energia elétrica. O rendimento total global desses sistemas de cogeração varia de 80 a 90%. O calor produzido por essas instalações é disponível numa faixa de temperatura entre 80°C a 450°C. A Figura (4), ilustra o funcionamento dessa unidade.

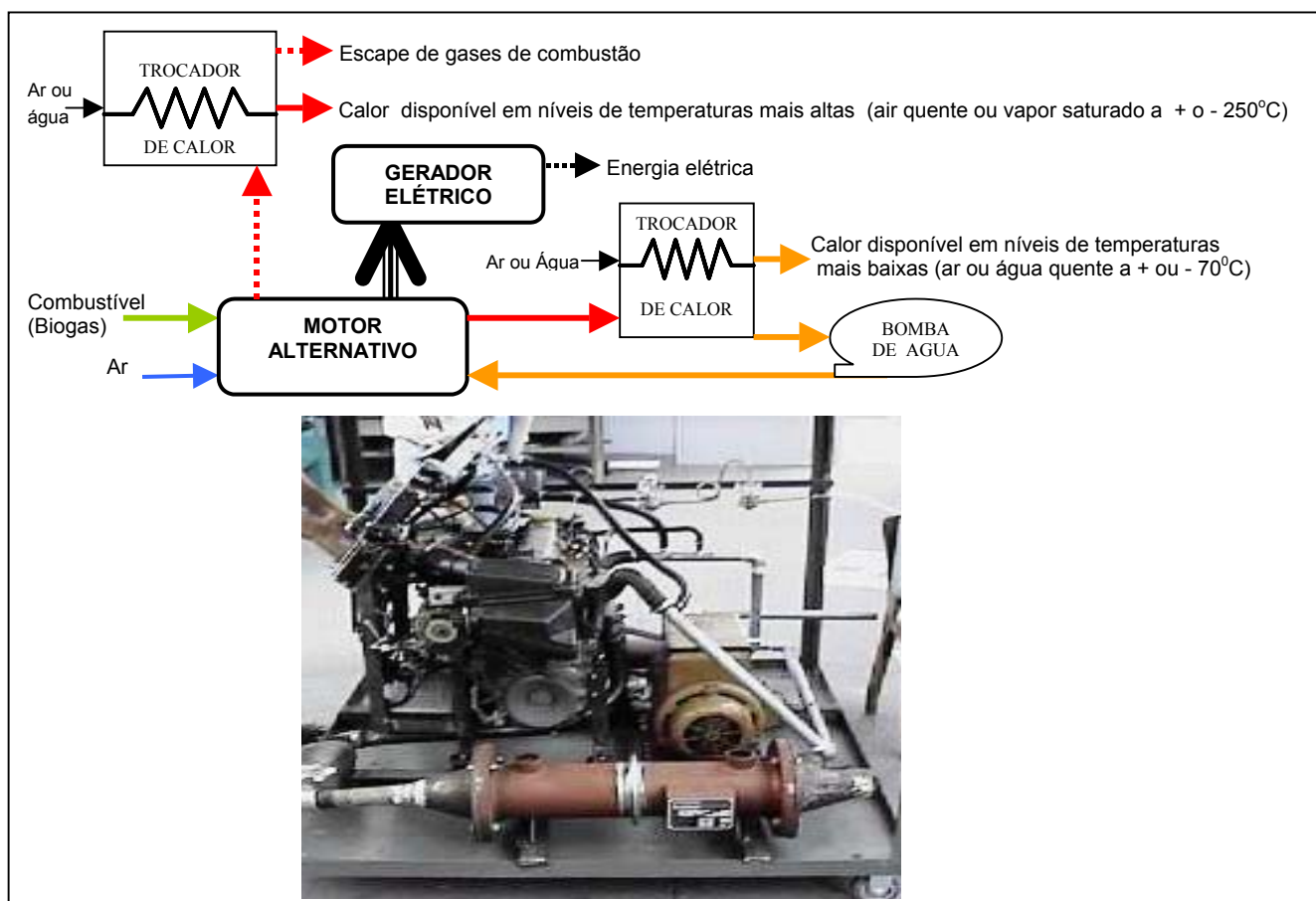


Figura 4. Detalhamento esquemático do funcionamento do sistema cogeração, apresentando a recuperação do calor dos gases de escape e da refrigeração do motor e, foto do cogeração compacto a biogás

6.4. SISTEMA GERADOR FOTOVOLTÁICO

O sistema fotovoltaico foi dimensionado utilizando o software solar 1.1. desenvolvido por Laranci et al (2003), obtendo-se assim um projeto que é constituído de 197 painéis Solon Alpha com uma potência instalada de 13.790 kW e um custo total de US\$ 53,012.70.

7. ESTIMATIVAS

Considerando-se que na propriedade tenha uma família de 6 pessoas e se crie cerca de 80 animais numa suinocultura, e que a DQO do efluente produzido seja de 1.500 ml/DQO e a DQO do efluente tratado seja de 80 ml/DQO, a produção de biogás será de aproximadamente 11,5 Nm³/dia.

Como o sistema gerador de 5,8 kW consome cerca de 2,5 Nm³ de biogás por hora, será possível com os 11,5 Nm³ de biogás produzidos por dia, manter o cogeração compacto funcionando por cerca de 4,5 horas por dia.

Considerando-se a vazão do efluente da suinocultura acrescido do esgoto sanitário seja de 13m³ por dia, e que o biodigestor opere com um tempo de retenção hidráulica de 4 dias, a capacidade de tancagem do biodigestor será de 51,6 m³. O custo estimado de um biodigestor em tubos de PVC do tipo Rib Loc, com esse volume de tancagem, é de US\$ 12,000.00.

O custo sistema de cogeração de 5,8 kW foi estimado em US\$ 3,000.00.

8. ANÁLISE ECONÔMICA DO SISTEMA HÍBRIDO

O custo estimado de implantação é definido como o custo dos investimentos necessários para a geração, purificação, armazenamento e combustão do biogás em sistema cogrador de energia compacto, juntamente com os custos do sistema fotovoltaico. O custo de operação é definido como o custo dos insumos mais os da mão de obra necessária. A Tabela (1) apresenta dados estimados da configuração de aproveitamento do biogás gerado na pequena propriedade com 6 pessoas e 80 suínos.

Tabela 1. Dados estimados da configuração de aproveitamento do biogás gerado na pequena propriedade com 6 pessoas e 80 suínos

	Unidade	Total
$Q_{\text{biogás}}$	[Nm ³ /dia]	11,5
Q_{esgoto}	[Nm ³ /dia]	12.900
$I_{\text{plBIO+FOT}}$	[US\$]	68,012.27
$C_{\text{oBIO+FOT}}$	[US\$/Nm ³]	0,018
$C_{\text{mBIO+FOT}}$	[US\$/Nm ³]	0,004

Adotando-se: $H = 8.760$ h/ano; $P_{\text{el}} = 0,075$ US\$/kw; $r = 12\%$ aa
temos então que:

$$C_{\text{eh}} = \frac{I_{\text{plBIO+FOT}} * F + C_{\text{oBIO+FOT}} + C_{\text{mBIO+FOT}}}{H * \frac{Q_{\text{esgoto}}}{24}} \quad (1)$$

onde:

$$F = \frac{q^k * (q - 1)}{q^k - 1} \quad (2)$$

$$q = 1 + \frac{r}{100} \quad (3)$$

$$k = \frac{I_{\text{pl}}}{R} \quad (4)$$

$$R = H * \frac{Q_{\text{b}}}{24} * (P_{\text{el}} - C_{\text{eh}}) \quad (5)$$

A Tabela (2) apresenta os resultados do tempo de retorno do investimento (*payback*).

Tabela 2. Resultados dos cálculos do C_{eh} e R para as variações de k

k (anos)	F	C_{eh} (US\$/m³)	R
1	1,0012	0.314	- 188,649.00
2	0,5009	0.168	-9,800.00
2,1	0,477	0.161	- 1,225.00
2,2	0,455	0,155	6,125.00
3	0,3341	0.119	50,225.00

9. CONCLUSÕES

Pela Tabela (2), pode-se concluir que o *payback* acontece em 2,2 anos.

Podemos concluir que o aproveitamento do biogás gerado em biodigestores rurais em propriedades isoladas associado ao aproveitamento fotovoltaico da energia solar é tecnicamente possível e economicamente atrativo, além de permitir uma maior proteção ambiental.

Concluindo, nas condições brasileiras, o uso de motores a biogás para acionar pequenos geradores elétricos pode ser uma ótima solução, porque os sistemas fotovoltaicos terão um preço de investimento mais conveniente.

10. AGRADECIMENTOS.

Ao Departamento de Energia da Universidade Estadual Paulista – UNESP, Campus de Guaratinguetá e, ao Departamento de Engenharia Mecânica da UNITAU – Universidade de Taubaté, pelo apoio logístico, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq pela bolsa de Doutorado e de Produtividade em Pesquisa e as empresas TIGRE S.A.Tubos e Conexões, KHOS e TRIGÁS pelo apoio por meio de doação de materiais, mão-de-obra e equipamentos.

11. REFERÊNCIAS

- Coelho, S. T., Paletta, C. E. M. e Freitas, M. A. V. (eds), 2000, “Medidas mitigadoras para a redução de emissões de gases de efeito estufa na geração termelétrica”, Dupligráfica, Brasília, 222 p.
- INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA, Pesquisa Nacional de Saneamento Básico, 2000, disponível em <http://www.ibge.gov.br/home/default.php>. Site visitado em 13 jan. 2000.
- Laranci, P., Reto, A. B. A., Silveira, J. L., Desideri, U. and Villela, R. C., 2002, “Development of SOLAR Version 1.1: A Software for Selecting Commercially Available Photovoltaic Panels, Including the Economic Analysis”, Guaratinguetá, 114 p.
- NATIONAL RENEWABLE ENERGY LABORATORY, “Village Power Project”, Available from Internet: <http://www.rspv.nrel.gov>. Site visitado em 13 jan. 2000.
- Pradella, D. Z. A. e Alves, J. W., 1999, “Mudanças Climáticas e o Incremento da recuperação de uso de Biogás”, Revista digital da ANBIO (Associação Nacional de Biosegurança), disponível em <http://www.anbio.org.br/>. Site visitado em 12 fev. 2001.
- Schiffer, R. A., Unninayar, S., 1991, “The Detection of Climate Change Due to the Enhance Greenhouse Effect”, A synthesis of findings based on the GEDEX Atmospheric Workshop, Columbia, Maryland, 9-11 July 1991.
- Silva, E. P. & Cavaliero, C. K. N., 2001, “Regulação Energética e Meio Ambiente: Propostas para a Região Amazônica Isolada”, NIPE/UNICAMP, Campinas, 193 p.
- Silveira, J. L., 1994, “Cogeração Disseminada para Pequenos Usuários: Estudo de Casos para o Setor Terciário”, Tese de Doutorado na UNICAMP, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, SP, 193 p.
- Watson, R.T. et al., 1996, “Technical summary: impacts, adaptations, and mitigation options. In: Watson, R. T., Zinyowera, M. C., Moss, R. H. (eds.), Climate change 1995 – Impacts, adaptations and mitigation of climate changing: Scientific-Technical analyses”, Contribution of working group II to the second assessment report of the Intergovernmental panel on climate change, Cambridge University press, Cambridge, p. 20 – 53.

DIREITOS AUTORAIS

Os autores são os únicos responsáveis pelo trabalho.

ENERGETIC USE OF BIOGAS AND PHOTOVOLTAIC ENERGY IN SMALL FARMS

Ederaldo Godoy Júnior

São Paulo State University, Guaratinguetá Branch, Department of Energy, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP, Brazil, 55 (12) 9115-9451, godoyjr@feg.unesp.br
University of Taubaté, Department of Mechanical Engineering, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, Brazil, 55 (12) 225-4005, godoyjr@unitau.br

José Luz Silveira

São Paulo State University, Guaratinguetá Branch, Department of Energy, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP, Brazil, 55 (12) 3123-2800, joseluz@feg.unesp.br

Giorgio Eugenio Oscare Giacaglia

University of Taubaté, Department of Mechanical Engineering, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, Brazil, 55 (12) 225-4005, giorgio@unitau.br

José Rui Camargo

University of Taubaté, Department of Mechanical Engineering, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, Brazil, 55 (12) 229-2566, rui@mec.unitau.br

Wendell de Queiróz Lamas

São Paulo State University, Guaratinguetá Branch, Department of Energy, Av. Dr. Ariberto Pereira da Cunha, 333, 12516-410, Guaratinguetá, SP, Brazil, 55 (12) 3123-2800, wendell@feg.unesp.br
University of Taubaté, Department of Mechanical Engineering, Rua Daniel Danelli, s/n, Jd. Morumbi, 12060-440, Taubaté, SP, Brazil, 55 (12) 225-4005, wendell@unitau.br

Abstract: *The present work analyses the technical and economical feasibility for implementing a hybrid system, comprising an anaerobic biodigester together with a compact biogas energy cogenerator and a photovoltaic one, aiming energy self-sufficiency for a small rural property. The required power is to be 5.8kW, for which the biogas yield is not sufficient. Therefore, one has chosen for using biogas for night supply only, and the photovoltaic one for day supply. Thus, one should have sustainability and ecological efficiency in a small rural property, where implementing of conventional electric energy is not economically viable.*

Keywords: *biodigester, biogas, energy photovoltaic.*