

---

## INDEPENDÊNCIA ENERGÉTICA DE GRANJA SUINÍCOLA A PARTIR DO USO DE BIOGÁS

Adriano Henrique Ferrarez<sup>1</sup>, Delly Oliveira Filho<sup>2</sup>, Carlos Alberto Teixeira<sup>3</sup>

### RESUMO

Um grande problema da suinocultura nacional é o tratamento dos dejetos. A utilização de biodigestor pode proporcionar o aproveitamento da energia contida no biogás para geração de energia elétrica e térmica, possibilitando ainda, o tratamento destes dejetos, resolvendo o problema de odor e de carga bactericida da água residuária. No presente artigo apresenta-se o estudo do potencial de produção de biogás de granjas de suínos, visando sua independência energética. Isso pode ser obtido por meio da substituição de energia convencional (GLP e energia elétrica de concessionária local) na produção de água quente para cocção e banho, para aquecimento e climatização de leitões e matrizes e para geração de eletricidade. Foi feita estimativa da receita com a venda dos certificados de emissões reduzidas (tCO<sub>2</sub>eq.). O estudo de caso foi feito com dados de uma granja com, aproximadamente, 570 matrizes. As análises de cenários mostraram que é possível suprir as demandas de energia da propriedade havendo excedente de energia elétrica que pode ser negociado com as concessionárias de energia ou na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

**Palavras-chave:** MDL, resíduos da suinocultura, soluções energéticas

### ABSTRACT

#### ENERGY INDEPENDENCE OF A PIG FARM THROUGH TO THE USE OF BIOGAS

A great problem in the national swine farms is the production of swine manure. The biodigestor can allow the use of the energy contained in the biogas produced, for electric power generation and thermal, and making possible, the treatment of the manure, solving the odor problem and of bactericidal load of the residuary water. In the present article study of the potential of production of biogas of swine farms, seeking its energy independence through the substitution of conventional energy (LPG and electric energy from utilities) for energy of the biogas for the production of hot water for bath, for cooking, heating and climatization of pigs and sows, generation of electricity. Estimate was made of the revenue from the sale of Certified Emission Reductions (tCO<sub>2</sub>eq.). The case study was done with data from a farm with approximately 570 sows. The scenario analysis showed that it is possible to supply the energy demands of the property there is surplus electricity that can be negotiated with the utilities or Trading Chamber.

**Keywords:** CDM, energy solutions, swine waste

---

**Recebido para publicação em 07/05/2008. Aprovado em 18/01/2010**

1- Professor do Instituto Federal Fluminense, IFF, Campus Itaperuna, e-mail: aferrarez@iff.edu.br

2- Professor do Departamento de Engenharia Agrícola, UFV, e-mail: delly@ufv.br

3- Professor da Unidade Acadêmica de Serra Talhada, UFRPE, e-mail: carlos.teixeira@uast.ufrpe.br

## INTRODUÇÃO

O biogás, combustível relativamente barato e de fonte renovável pode ser produzido em qualquer unidade de acúmulo de rejeitos urbanos, esgoto, resíduos agroindustriais e apresenta-se como importante alternativa energética, em condições de desempenhar expressivo papel na substituição do petróleo e de seus derivados (BRASIL, 2005). O gás metano, pode constituir de 50 a 70% do biogás, apresenta consideráveis vantagens sobre outros combustíveis (SOUZA *et al.*, 2003).

O poder calorífico do biogás pode variar de 20.900 a 29.260 kJ m<sup>-3</sup> (5.000 a 7.000 kcal m<sup>-3</sup>) e que dependendo do grau de purificação, pode alcançar até 50160 kJ m<sup>-3</sup> (12.000 kcal m<sup>-3</sup>) (RUAS *et al.*, 2007). No Quadro 1 apresentam-se os valores correspondentes dos principais gases constituintes do biogás.

Pode-se analisar, no Quadro 2, a correspondência energética entre o biogás e outros combustíveis.

A geração de energia elétrica com a utilização de biogás apresenta-se mediana em termos de geração, estando entre R\$ 67 a 190 (MWh)<sup>-1</sup>.

A conversão do biogás em eletricidade se dá com a utilização de motores do tipo veicular (ciclo Otto, por exemplo) acoplado a um gerador ou por meio de microturbinas.

Em um acordo internacional foi assinado em dezembro de 1997, em Quioto, Japão, por 159 nações, decidiu-se pela redução nas emissões mundiais de gases de efeito estufa em 5,2%, no período entre 2008 e 2012, nas quantidades emitidas em 1990. O Protocolo de Quioto prevê, entretanto, que os países desenvolvidos possam promover estas reduções, fora do seu território, por meio do chamado Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL). Devido a isso, foram instituídos os créditos de carbono, que é uma forma das empresas de países desenvolvidos continuarem emitindo CO<sub>2</sub>, pagando por créditos de carbono, em sua devida proporção utilizando-se de projetos MDL implantados em

**Quadro 1.** Composição da mistura gasosa do Biogás

Gases	Porcentagem
Metano (CH <sub>4</sub> )	50 – 75
Dióxido de Carbono (CO <sub>2</sub> )	25 – 40
Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	1 – 3
Nitrogênio (N <sub>2</sub> )	0,5 – 2,5
Oxigênio (O <sub>2</sub> )	0,1 – 1
Ácido Sulfídrico (H <sub>2</sub> S)	0,1 – 0,5
Amônia (NH <sub>3</sub> )	0,1 – 0,5
Monóxido de Carbono (CO)	0 – 0,1
Água (H <sub>2</sub> O)	Variável

Fonte: PINHEIRO (1999)

**Quadro 2.** Equivalência energética de 1 m<sup>3</sup> de biogás em relação a outras fontes de energia

Energético	Ferraz&Mariel(1980)	Sganzerla(1983)	Nogueira(1986)	Santos (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,61	0,61	0,6
Querosene (L)	0,58	0,58	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,55	0,55	0,6
GLP (L)	0,45	0,45	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,8	-
Carvão Mineral (kg)	-	0,74	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,54	3,5	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,43	-	6,5

Fonte: (FERRAZ & MARIEL, 1980; SGANZERLA, 1983; NOGUEIRA, 1986; SANTOS 2000).

**Quadro 3.** Comparação entre os custos mínimo e máximo do biogás com outras formas alternativas de energia

Sistema	Energia R\$ (MWh) <sup>-1</sup>
Fotovoltaico	200 a 400
Eólico	50 a 80
Biomassa	40 a 70
Motor a diesel	100 a 300
Microcentral hidrelétrica	20 a 40

Fonte: (BRASIL, 2005)

países em desenvolvimento. Geralmente, a duração de um projeto de MDL é de 10 anos (PEREIRA et al., 2004; GRZYBOWSKI, 2007).

A utilização de biodigestores nas granjas de suínos possibilita agregar valores à atividade como a utilização energética do biogás para atender às demandas da granja e os créditos de carbono (ESPERANCINI, 2007). Essas ações possibilitam a visão mais ampla nos aspectos ambiental e sustentável da suinocultura brasileira (OLIVEIRA & HIGARASHI, 2006).

Os geradores de calor, ou frio, podem ser adaptados para funcionar com biogás. Como já estão bastante desenvolvidos sua operação pode ser completamente automatizada com sensores instalados no ambiente. A viabilidade de instalação desses geradores deve vir acompanhada de uma análise econômica, objeto de estudo futuro.

A geração de frio pelo processo de absorção da amônia pode ser realizada com a utilização de biogás (ZANIN, *et al.* 2004). A temperatura ambiente considerada aceitável para a matriz varia entre 10 °C e 21 °C, sendo considerada ótima a temperatura de 16 °C. Nas matrizes, as altas temperaturas no interior das instalações influenciam negativamente a eficiência reprodutiva, daí a necessidade de climatização (PEREIRA et al., 2002).

O pólo suinocultor da região do Vale do Piranga é o quarto maior do Brasil, contando com elevado grau de organização dos produtores por intermédio da Associação dos Suinocultores do Vale do Piranga (ASSUVAP) e da Cooperativa de Suinocultores de Ponte Nova e Região (COOSUIPONTE). São mais de 60 produtores na região, com cerca de 55 mil matrizes e um número de cabeças superior a meio milhão (ASSUVAP, 2007). A atividade gera mais de 15 mil empregos diretos e indiretos, contribuindo sobremaneira para o PIB da região, em montante estimado em R\$ 300.000.000,00 por ano na sua economia (ASSUVAP, 2007).

Neste trabalho, avaliou-se a utilização do biogás para produção de água quente para banho, cocção, aquecimento e climatização de leitões e matrizes, geração de eletricidade e uma estimativa da receita com a venda dos certificados de emissões reduzidas (tCO<sub>2</sub>eq.) obtidas pelo tratamento dos dejetos da suinocultura em biodigestores, assim como, em Bartolomeu et al. (2007). Objetiva-se, por meio de estudo de caso, avaliar a independência energética de uma propriedade pertencente a uma Cooperativa de Suinocultores do Estado de Minas Gerais.

## MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado em propriedade localizada no Vale do Rio Piranga em Minas Gerais, cujo proprietário integra a Associação dos Suinocultores do Vale do Piranga (ASSUVAP) e nos Laboratórios da Área de Energia pertencentes ao Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV).

A propriedade possui área total de aproximadamente 34 hectares e sua área construída é composta por 1 fábrica de ração, 16 galpões produtivos (envolvendo gestação, maternidade, creche, recria e terminação), residências, escritório, laboratório, oficinas e biodigestor. O número de matrizes é de 570 e o rebanho é de, aproximadamente, 6.270 cabeças.

A demanda de energia da propriedade foi dividida em: (i) iluminação geral; (ii) geração de calor ou frio; e (iii) geração de energia elétrica. Assim, foram estimados os consumos de energia elétrica e energia térmica convencionais, foram determinados o potencial de geração de eletricidade, de calor e de frio utilizando o biogás produzido na propriedade com a finalidade de substituição das fontes de energia atualmente em uso.

No Quadro 4 mostra-se a potência elétrica instalada em toda a granja considerando seu uso final.

Analisando os dados apresentados no Quadro 5, observa-se que 76,7% do total da carga instalada se encontra em locais mais diretamente ligados ao processo produtivo e 23,3% no escritório e residências.

No Quadro 6 mostra-se o consumo mensal de energia elétrica da propriedade agrícola, em 12 meses.

O cálculo da produção total de biogás da granja foi feito por meio da equação 1, considerando os resultados obtidos por Gaspar (2003), que considera a produção diária de dejetos de cada suíno igual a 2,5 kg e a produção de 1 m<sup>3</sup> de biogás a partir de 12 kg de dejetos de suíno.

$$P_b = 365 n_s d_s V_{bs} \quad (1)$$

em que,

P<sub>b</sub> = Produção anual de biogás (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>);

n<sub>s</sub> = número total de suínos da granja (adimensional);

d<sub>s</sub> = Produção diária de dejetos por suíno (kg); e

V<sub>bs</sub> = Volume de biogás por quilo de dejetos de suíno (m<sup>3</sup> kg<sup>-1</sup>).

**Quadro 4.** Potência elétrica instalada na granja para cada uso final da energia elétrica

Nº	Discriminação das cargas Descrição	Potência (kW)	Potência (cv)	cos $\theta$ (decimal)	Rend. (%)	Quant. (und)	Total (kVA)
<b>Fábrica de Ração</b>							
1	Motor de Moinho	14,72	20,00	0,86	91,00	1	17,12
2	Motor de Moinho	14,72	20,00	0,92	89,30	1	16,00
3	Motor de Moinho	0,55	0,75	0,82	79,50	1	0,67
4	Motor de Moinho	0,55	0,75	0,82	79,50	1	0,67
5	Motor de Moinho	1,47	2,00	0,78	73,10	1	1,89
6	Motor de Moinho	1,47	2,00	0,78	73,10	1	1,89
7	Motor de Moinho	1,47	2,00	0,78	73,10	1	1,89
8	Motor de Moinho	1,47	2,00	0,78	80,70	1	1,89
9	Motor de Moinho	1,47	2,00	0,78	80,70	1	1,89
10	Motor de Moinho	1,47	2,00	0,78	80,70	1	1,89
11	Motor de Moinho	3,68	5,00	0,85	80,70	1	4,33
12	Betoneira	0,24	0,33	0,76	85,00	1	0,32
<b>Pré-Limpeza</b>							
13	Rosca transportadora helicoidal	2,21	3,00	0,80	83,10	1	2,76
14	Rosca transportadora helicoidal	3,68	5,00	0,81	84,80	1	4,54
15	Rosca transportadora helicoidal	3,68	5,00	0,81	85,50	1	4,54
16	Rosca transportadora helicoidal	3,68	5,00	0,85	83,50	1	4,33
<b>Laboratório</b>							
17	Destilador	1,80	-	1	1	1	1,80
18	Estufa	0,90	-	1	1	1	0,90
19	Geladeira	0,25	-	1	1	1	0,25
20	Lâmpada (24h)	0,06	-	1	1	1	0,06
21	Ebulidor	0,15	-	1	1	1	0,15
22	Deonizador	0,10	-	1	1	1	0,10
23	Lâmpada	0,06	-	1	1	2	0,12
<b>Oficina</b>							
24	Motor oficina	2,21	3,00	0,83	89,00	1	2,66
25	Moto serra	0,74	1,00	0,76	89,00	1	0,97
26	Biodigestor Motor	1,47	2,00	0,85	87,00	1	1,73
<b>Casa 1</b>							
27	TV	0,15	-	1	1	2	0,30
28	Ferro Elétrico	1,00	-	1	1	1	1,00
29	Chuveiro	4,40	-	1	1	1	4,40
30	Máquina de lavar	1,00	-	1	1	1	1,00
31	DVD	0,03	-	1	1	1	0,03
32	Lâmpadas	0,06	-	1	1	15	0,90
33	Geladeira	0,25	-	1	1	1	0,25
34	Aparelho de som	0,20	-	1	1	1	0,20
<b>Casa 2</b>							
35	TV	0,15	-	1	1	1	0,15
36	Ferro Elétrico	1,00	-	1	1	1	1,00
37	Chuveiro	4,40	-	1	1	1	4,40
38	Máquina de lavar	1,00	-	1	1	1	1,00
39	DVD	0,03	-	1	1	1	0,03
40	Lâmpadas	0,06	-	1	1	15	0,90
41	Geladeira	0,20	-	1	1	1	0,20
42	Aparelho de som	0,20	-	1	1	1	0,20
<b>Escritório</b>							
43	Geladeira	0,20	-	1	1	1	0,20
44	Chuveiro	4,40	-	1	1	4	17,60
45	TV	0,15	-	1	1	1	0,15
46	Computador	0,20	-	1	1	1	0,20
47	Lâmpadas	0,06	-	1	1	10	0,60
<b>Galpão Gestação 1</b>							
48	Ventiladores Eberle	0,37	0,50	0,76	91,00	15	7,26
49	Bomba Thebe Re168V	1,47	2,00	0,92	90,00	1	1,60
50	Lâmpadas	0,06	-	1	1	6	0,36
<b>Galpão Gestação 2</b>							
51	Ventiladores Eberle	0,37	0,50	0,76	91,00	3	1,45
52	Lâmpadas	0,06	-	1	1	2	0,12
<b>Creches</b>							
53	Lâmpadas (Iluminação)	0,06	-	1	1	26	1,56
54	Lâmpadas (Aquecimento)	0,10	-	1	1	161	16,10
55	Resistência (Aquecimento)	0,13	-	1	1	36	4,68
<b>Maternidades</b>							
56	Lâmpadas (Aquecimento)	0,10	-	1	1	40	4,80
57	Lâmpadas (Iluminação)	0,06	-	1	1	10	0,60
58	Resistência (Aquecimento)	0,13	-	1	1	34	4,42
<b>Terminação</b>							
59	Lâmpadas (Iluminação)	0,06	-	1	1	10	0,60
60	Tomada	0,60	-	1	1	2	1,20
<b>Recria (Crescimento)</b>							
61	Lâmpadas (Iluminação)	0,06	-	1	1	10	0,60
<b>Reposição de Matrizes</b>							
62	Lâmpadas (Iluminação)	0,06	-	1	1	4	0,24

A energia elétrica consumida por ano para o aquecimento da água de banho com a utilização de chuveiro elétrico pode ser calculada utilizando-se a equação 2, o consumo de biogás para aquecimento de água para banho pode ser obtido por meio da equação 3 e o volume anual de biogás necessário para cocção de alimentos nas residências e no escritório pode ser calculado utilizando-se a equação 4.

$$C_{ch} = 365 n_{ch} t_{ch} P_{ch} \quad (2)$$

em que,

$C_{ch}$  = consumo anual de energia elétrica pela utilização do chuveiro (kWh ano<sup>-1</sup>);

$n_{ch}$  = número médio de pessoas que tomaram banho diariamente (adimensional);

$t_{ch}$  = tempo médio de banho de cada pessoa (h); e

$P_{ch}$  = potência do chuveiro elétrico (kW).

$$C_b = 365 n_b V_b \quad (3)$$

em que,

$C_b$  = consumo anual de biogás para aquecimento da água de banho (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>);

$n_b$  = número médio de pessoas que tomaram banho diariamente (adimensional);

$v_b$  = número médio de pessoas que tomaram banho diariamente (adimensional);

$$C_{bc} = 365 n_{bc} V_{bc} \quad (4)$$

em que,

$C_{bc}$  = consumo anual de biogás para cocção de alimentos (m<sup>3</sup> ano<sup>-1</sup>);

$n_{bc}$  = número médio de pessoas que utilizaram o fogão (adimensional); e

$v_{bc}$  = volume unitário médio de biogás gasto por dia (m<sup>3</sup> pessoa<sup>-1</sup>).

Considerou-se 15 pessoas, em média, utilizando o fogão.

**Quadro 5.** Potência instalada e os respectivos locais de uso final na granja.

Descrição	Motores	Laboratório	Galpões	Biodigestor	Residências	Escritório	Total
Potência Instalada (kW)	68,2	3,4	44,4	1,69	16,96	18,75	153,4

**Quadro 6.** Consumo de energia elétrica (kWh) da granja entre julho de 2005 e junho de 2006

Consumo de energia elétrica			Consumo total	Custo	Potência (demanda)
kWh			kWh	R\$	kW
Ano de 2005	Horário de ponta	Horário fora de ponta			
Julho	3961,67	23758,33	27720	8315,99	75,89
Agosto	3367,13	20192,87	23560	7231,09	64,50
Setembro	3378,57	20261,43	23640	7119,94	64,72
Outubro	3567,22	21392,78	24960	7512,77	68,34
Novembro	3424,3	20535,7	23960	7513,77	65,60
Dezembro	1269,11	7610,89	8880	7514,77	24,31
Ano de 2006					
Janeiro	4138,89	24821,11	28960	8601,69	79,29
Fevereiro	2212,36	13267,64	15480	5006,94	42,38
Março	3349,98	20090,02	23440	7042,26	64,17
Abril	2989,83	17930,17	20920	6289,78	57,28
Mai	3447,17	20672,83	24120	7452,32	66,04
Junho	3184,20	19095,8	22280	7102,43	61,00
Total	38290,43	229629,57	267920	81563,03	

**Quadro 7.** Potencial de produção de biogás da propriedade agrícola

	Quantidade	Unidade
Animais da granja	6270	Animal
Biogás médio diário por cabeça	0,21	m <sup>3</sup>
Produção anual estimada de biogás	481000	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

Existem alguns suínos que são abatidos na granja. Para processá-los é necessário o uso de um lança-chamas que utiliza GLP. Propõe-se a substituição do GLP por biogás. A quantidade necessária de biogás para o lança-chamas pode ser obtida utilizando-se a equação 5 e o consumo de energia elétrica para aquecimento dos leitões pode ser obtido utilizando-se as equações 6 e 7.

$$C_{blc} = 313 t_{blc} V_{blc} \quad (5)$$

em que,

$C_{blc}$  = consumo anual de biogás para o lança-chamas ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ );

$t_{lc}$  = tempo de utilização por animal descartado (h); e

$v_{blc}$  = volume unitário médio de biogás gasto pelo queimador ( $m^3 \text{ h}^{-1}$ ).

$$C_{eel} = 365 n_L t_L P_L \quad (6)$$

em que,

$C_{eel}$  = consumo de energia elétrica para o aquecimento de leitões ( $\text{kWh ano}^{-1}$ );

$n_L$  = número de lâmpadas (adimensional);

$t_L$  = tempo de utilização médio das lâmpadas ( $\text{h dia}^{-1}$ ); e

$P_L$  = potência total do conjunto das lâmpadas (kW).

$$C_{ee2} = 365 n_r t_r P_r \quad (7)$$

em que,

$C_{ee2}$  = consumo de energia elétrica para o aquecimento de leitões ( $\text{kWh ano}^{-1}$ );

$n_r$  = número de resistências (adimensional);

$t_r$  = tempo de utilização médio das resistências ( $\text{h dia}^{-1}$ ) e

$P_r$  = potência total do conjunto das resistências (kW).

O volume anual de biogás necessário para o aquecimento dos leitões por meio de câmpulas pode ser obtido utilizando-se a equação 8, enquanto que com a equação 9 obtém-se a energia elétrica para a climatização das matrizes e na equação 10 a geração de frio por meio de um sistema de refrigeração por absorção de amônia com a utilização do biogás para conforto térmico das matrizes em gestação.

$$C_{ch} = 365 n_{cam} t_{cam} V_{bcam} \quad (8)$$

em que,

$C_{bal}$  = consumo de biogás com a utilização de câmpulas ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ );

$n_{cam}$  = número de câmpulas (adimensional);

$t_{cam}$  = tempo de utilização das câmpulas ( $\text{h dia}^{-1}$ ) e

$v_{bcam}$  = volume médio de biogás gasto pela câmpula ( $m^3 \text{ h}^{-1}$ ).

$$C_{eecom} = 365 n_v t_v P_v \quad (9)$$

em que,

$C_{eecom}$  = consumo de energia elétrica para o resfriamento das matrizes ( $\text{kWh ano}^{-1}$ );

$n_v$  = número de ventiladores (adimensional);

$t$  = tempo de utilização médio dos ventiladores ( $\text{h dia}^{-1}$ ); e

$P_v$  = potência dos ventiladores (kW).

$$C_{bgf} = 365 t_{gf} V_{bgf} \quad (10)$$

em que,

$C_{bgf}$  = consumo de biogás para a refrigeração de ambiente ( $m^3 \text{ ano}^{-1}$ );

$t_{gf}$  = Número de horas de funcionamento ( $\text{h dia}^{-1}$ ); e

$v_{bgf}$  = Volume médio de biogás gasto pelo sistema de refrigeração ( $m^3 \text{ h}^{-1}$ ).

O cálculo da energia elétrica produzida a partir do biogás restante, após serem atendidas as demandas térmicas da granja, foi feito considerando a conversão realizada por meio de Motor Ciclo Otto e Microturbina. Considerou-se a concentração de metano ( $\text{CH}_4$ ) de 62%, o Poder Calorífico Inferior do biogás igual a  $22600 \text{ kJm}^{-3}$ , conforme Silveira (1994).

Utilizando-se a equação 11 pode-se calcular a energia elétrica produzida utilizando-se motor ciclo Otto com rendimento de 15%, com a equação 12 a energia elétrica produzida utilizando-se microturbinas com rendimento de 27% e com a equação 13 a receita obtida com a venda dos certificados de emissões reduzidas (CER's) no mercado internacional gerados pelo tratamento dos dejetos da suinocultura por meio da utilização do biodigestor.

$$E_{mco} = \text{PCI } B_{\text{restante}} \eta_{\text{motor}} \Delta t_{op} 0,001 \quad (11)$$

em que,

$E_{mco}$  = energia Elétrica gerada por motor ciclo Otto (MWh);

PCI = poder Calorífico Inferior do Biogás ( $\text{kJ m}^{-3}$ );

$B_{\text{restante}}$  = biogás restante ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

$\eta_{\text{motor}}$  = rendimento do motor ciclo Otto (adimensional); e

$\Delta t_{\text{op}}$  = tempo de operação do sistema ( $\text{h ano}^{-1}$ ).

$$E_{mco} = \text{PCI } B_{\text{restante}} \eta_{\text{microturbina}} \Delta t_{\text{op}} 0,001 \quad (12)$$

em que,

$E_{\text{mt}}$  = energia Elétrica gerada por microturbina (MWh);

PCI = poder Calorífico Inferior do Biogás ( $\text{kJ m}^{-3}$ );

$B_{\text{restante}}$  = biogás restante ( $\text{m}^3 \text{s}^{-1}$ );

$\eta_{\text{microturbina}}$  = rendimento da microturbina (adimensional); e

$\Delta t_{\text{op}}$  = tempo de operação do sistema ( $\text{h ano}^{-1}$ ).

$$R_{\text{cc}} = 0,54 n_s \text{ cot } \$ \quad (13)$$

em que,

$R_{\text{cc}}$  = receita gerada pela venda dos certificados de emissões reduzidas ( $\text{US\$ ano}^{-1}$ );

$n_s$  = número total de suínos da granja (adimensional); e

Cot\$ = Cotação da  $\text{tCO}_2\text{eq}$ . ( $\text{US\$ tCO}_2\text{eq}^{-1}$ ).

O cálculo dos créditos de carbono gerados foi feito considerando-se os resultados obtidos por Angonese et al. (2007), baseando-se na metodologia AM0006 aprovada pelo Conselho Executivo do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo do IPCC. De acordo com esta metodologia cada suíno tem potencial de redução de emissão de  $\text{CO}_2$  equivalente de aproximadamente  $0,54 \text{ t eq. ano}^{-1}$  de  $\text{CO}_2$ .

Foi analisada a situação em que toda a demanda energia térmica da granja foi atendida. Com o biogás restante foi calculada a geração de energia elétrica possível para utilização da granja. O consumo de biogás para a substituição de energéticos foi estimado, de acordo com a coleta de dados feita na propriedade. Foram levantados dados de consumo de energia elétrica, GLP, número de equipamentos, número de funcionários e número de horas de utilização dos equipamentos.

## RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nos Quadros 7 e 8 mostra-se respectivamente o potencial de produção de biogás da granja suinícola

e o consumo de energia convencional pela granja.

Nos Quadros 9 e 10 mostra-se a estimativa do consumo de biogás para o atendimento das demandas energéticas da granja e a energia elétrica produzida por meio de motor ciclo Otto e microturbina a gás considerando-se o volume de biogás restante após atendidas as demandas térmicas da granja.

A partir dos dados apresentados no Quadro 10, constata-se que a produção de biogás seria suficiente para atender a todas as necessidades energéticas da granja. Utilizando-se a conversão energética por meio de motor ciclo Otto, tem-se um excedente de  $84 \text{ MWh ano}^{-1}$ . Com conversão energética por meio de microturbina, o excedente é de  $224 \text{ MWh ano}^{-1}$ . Essa sobra de energia pode ser negociada com as concessionárias de energia ou na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).

No Quadro 11 mostra-se a geração de receita pela venda dos certificados de emissões reduzidas (CER's) no mercado internacional gerados pelo tratamento parcial dos dejetos da suinocultura por meio da utilização do biodigestor.

Na Figura 1 mostra-se a potência elétrica instalada em função do local de uso final da energia elétrica e na Figura 2 mostra-se a produção total e volume de biogás consumido para o atendimento das demandas energéticas da granja.

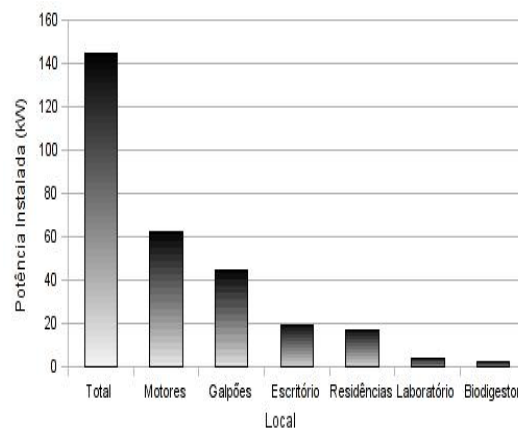


Figura 1. Potência Instalada por local

A partir da Figura 1, constata-se que os motores, principalmente da fábrica de ração, são responsáveis pelo maior consumo de energia elétrica. Os galpões, principalmente os da maternidade e creche devido ao elevado número de lâmpadas e resistências elétricas destinadas ao aquecimento, são o segundo maior consumidor de energia elétrica na propriedade.

**Quadro 8.** Consumo de energia convencional pela granja

Chuveiro elétrico		
Número de pessoas	30	Adimensional
Tempo de banho	0,25	H
Potência dos chuveiros	4,4	kW
Consumo de energia elétrica	12045	kWh ano <sup>-1</sup>
GLP para cocção		
Consumo médio anual	30	Botijão
GLP para lança-chamas		
Consumo médio anual	10	Botijão
Lâmpadas para aquecimento de leitões		
Potência das lâmpadas	0,15	kW
Número de lâmpadas	209	Adimensional
Tempo de utilização	10	h dia <sup>-1</sup>
Consumo de energia elétrica	114428	kWh ano <sup>-1</sup>
Resistências para aquecimento de leitões		
Potência das resistências	0,13	kW
Número de resistências	70	adimensional
Tempo de utilização	10	h dia <sup>-1</sup>
Consumo de energia elétrica	33215	kWh ano <sup>-1</sup>
Climatização das matrizes		
Potência dos Ventiladores	0,37	kW
Número de ventiladores	18	adimensional
Tempo de utilização	7	H dia <sup>-1</sup>
Consumo de energia elétrica	17016	kWh ano <sup>-1</sup>
Outros usos finais de energia elétrica		
Consumo de energia elétrica	105000	kWh ano <sup>-1</sup>

**Quadro 9.** Estimativa do consumo de biogás para atendimento das demandas energéticas da granja

Aquecedor a biogás (Água quente para banho)		
Número de pessoas	30	adimensional
Volume de biogás consumido	0,8	m <sup>3</sup> pessoa <sup>-1</sup>
Consumo de biogás	8760	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Biogás para cocção		
Consumo médio diário de biogás	0,34	m <sup>3</sup> pessoa <sup>-1</sup>
Consumo médio anual de biogás	1862	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Biogás para lança-chamas		
Consumo médio do queimador de biogás	0,87	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Consumo médio anual de biogás	272	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Biogás para aquecimento de leitões		
Número de campânulas	279	adimensional
Consumo médio de biogás por campânula	0,2	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Consumo médio anual de biogás	205707	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Biogás para climatização de matrizes		
Tempo médio de utilização do sistema de absorção por amônia	7	h dia <sup>-1</sup>
Consumo médio de biogás	30,6	m <sup>3</sup> h <sup>-1</sup>
Consumo médio anual de biogás	78183	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Consumo médio anual de biogás para atender as demandas térmicas da granja	295000	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>
Biogás restante	186000	m <sup>3</sup> ano <sup>-1</sup>

**Quadro 10.** Energia elétrica produzida a partir do biogás restante

Energia Elétrica produzida		
Motor ciclo Otto	175	MWh ano <sup>-1</sup>
Microturbina	315	MWh ano <sup>-1</sup>





**Figura 2.** Uso final de energia e volume de biogás

Na Figura 2, mostra-se que o maior consumo de biogás está relacionado ao aquecimento de leitões. Esse consumo é de aproximadamente  $2 \times 10^5 \text{ m}^3 \text{ ano}^{-1}$  ou 42% do biogás produzido na granja.

## CONCLUSÕES

- A energia do biogás pode atender à demanda de energia térmica da granja como aquecimento de água para banho, cocção, conforto térmico de leitões e matrizes.
- A conversão energética do biogás em eletricidade é maior por meio de microturbina ( $375 \text{ MWh ano}^{-1}$ ) do que por meio de motor ciclo Otto ( $175 \text{ MWh ano}^{-1}$ ).
- A demanda de energia elétrica da granja pode ser totalmente atendida havendo excedente que pode ser negociado com as concessionárias de energia ou na Câmara de Comercialização de Energia Elétrica (CCEE).
- A receita obtida com a comercialização dos Certificados de Emissões Reduzidas (CER's) pode chegar a US\$ 705.640 para um período de 10 anos do projeto de MDL. Essa receita, somada com a obtida pela negociação do excedente de energia elétrica, pode ser utilizada para financiar a instalação de equipamentos para o aproveitamento energético do biogás.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANGONESE, A.R. et al. **Potencial de redução de emissão de equivalente de carbono de uma unidade suinícola com biodigestor**, Eng. Agríc.,

Jaboticabal, v.27, n.3, p.648-657, set./dez.2007

ASSUVAP - Associação dos Suinocultores do Vale do Piranga. [www.assuvap.com.br](http://www.assuvap.com.br). 15 jan. 2007.

BARTHOLOMEU, D. B.; BARTHOLOMEU M. B.; RANIERO L. M.; MIRANDA S. H. G. O mercado de carbono e a atividade suinícola. **Revista Agroanalysis**, v.27, n.2, p.46, 2007.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia (MME) - **Plano Nacional de Energia, 2030**, 2005b [www.mme.gov.br/download.do;jsessionid=738C1E1786B4208D6416A4\\_4F35A\\_BE59C?attachmentId=6232&download](http://www.mme.gov.br/download.do;jsessionid=738C1E1786B4208D6416A4_4F35A_BE59C?attachmentId=6232&download). 15 dez. 2005.

ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. de C.; PIMENTEL, A. E. B.; SIMON, E. J. **Viabilidade técnica e econômica da substituição de fontes convencionais de energia por biogás em assentamento rural do estado de são paulo**. Eng. Agríc., Jaboticabal, v.27, n.1, p.110-118, jan./abr. 2007.

FERRAZ, J. M. G., MARIEL, I. E. **Biogás uma fonte Alternativa de Energia**. Brasil, 1980, 27p.

GASPAR, R. M. **Utilização de Biodigestores em Pequenas e Médias Propriedades Rurais, com Ênfase na Agregação de Valor: Um Estudo de Caso na Região de Toledo-PR**, Florianópolis: UFSC, 2003. 121p. (Dissertação de mestrado)

GRZYBOWSKI, N. **Créditos carbono e a suinocultura**. [http://www.acsurs.com.br/cr%20C3%A9ditos\\_de\\_carbono.htm](http://www.acsurs.com.br/cr%20C3%A9ditos_de_carbono.htm). 25 jan. 2007.

NOGUEIRA, L. A. H., **Biodigestão: A Alternativa Energética**. São Paulo, Nobel, 1986, 93 p.

OLIVEIRA, P. A. V.; HIGARASHI, M. M. **Geração e utilização de biogás em unidade de produção de suínos**. Concórdia: Embrapa Suínos e Aves, Série Documentos n. 115, 2006.

PEREIRA, E. M. D.; ALMEIDA, F. A.; MELO, R. J. S.; MACHADO NETO, L. V.; ROCHA, J. M. G.; VIDIGAL, R. C. Eficientização Energética da Fazenda Experimental da PUC Minas - Climatização da granja de suínos. IN: ENCONTRO DE ENERGIA

- DO MEIO RURAL – AGRENER, 4, 2002, Campinas. **Resumos...** Campinas: NIPE, 2002..
- PEREIRA, O. L. S.; REIS, T. M.; FIGUEIREDO, M. das G.; MACHADO, M. P.; CARVALHO, K. M.; PINHO, J. T. Baseline determination and calculation of emissions reduction of greenhouse gases / feasibility study for small-scale project for adoption of clean development mechanism-cdm. In: EUROPEAN PHOTOVOLTAIC SOLAR ENERGY CONFERENCE,19,2004, Paris. **Proceedings...** Paris: European Photovoltaic Solar Energy Conference, 2004.
- PINHEIRO, P. C. C. **Sistemas térmicos.** UNIVERSIDADE FEDERAL DE MINAS GERAIS – UFMG, 1999. 32p.
- RUAS, A. O.; LAENDER, A. T.; OLIVEIRA, G. B.; RAMIRES, J. C. M.; MOREIRA, R. C. J. **Biogás.** Departamento de Engenharia Mecânica (DEMEC) - UFMG <http://www.demec.ufmg.br/disciplinas/ema003/gasosos/biogas/biogas.htm>. 23 jan. 2007.
- SANTOS, P. **Guia Técnico de Biogás.** CCE – Centro para a Conservação de Energia, Portugal, 2000. 117p.
- SGANZERLA, E., **Biodigestor: uma solução.** Agropecuária, Porto Alegre, 1983. 88p.
- SILVEIRA, J. L. **Cogeração Disseminada para Pequenos Usuários: Estudo de Casos para o Setor Terciário,** Campinas: UNICAMP, 1994. 193 p. (Tese de doutorado)
- SOUZA, C. F.; LUCAS JUNIOR, J.; FERREIRA, W. P. M. Biodigestão anaeróbia de dejetos de suínos sob efeito de três temperaturas e dois níveis de agitação do substrato. **Engenharia Agrícola,** Jaboticabal, v.25, n.2, p.530-539, 2003.
- ZANIN, A.; OLIVEIRA FILHO, D.; CORTEZ, L., A. B. Aplicação de sistemas de refrigeração por absorção em frigoríficos de abate de frangos.. In: XXXIII Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola – CONBEA, 33, 2004, Campinas, SP. **Anais...** Campinas: SBEA, 2004. p. 1-15.