

VIABILIDADE DA GERAÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA ATRAVÉS DE UM MOTOR GERADOR UTILIZANDO BIOGÁS DA SUINOCULTURA

Anderson Coldebella¹
Samuel Nelson Melegari de Souza²
Priscila Ferri³
Evandro Marcos Kolling⁴

Resumo: Uma das maiores fontes de energia disponíveis nas áreas rurais e agroindustriais é a biomassa. A mesma aparece na forma de resíduos vegetais e animais, tais como restos de colheita, esterco animal, plantações energéticas e efluentes agroindustriais. Estes resíduos podem ser utilizados pelo produtor rural ou agroindústria para a queima direta, visando a produção de calor ou produção de biogás em biodigestores. Junto às propriedades rurais onde há a atividade de suinocultura, ocorre a disponibilidade destes resíduos, caracterizando-se num grande potencial energético. Neste trabalho objetivou-se determinar o custo do biogás e a viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir do mesmo numa propriedade rural, utilizando-se como equipamentos de conversão de biogás em eletricidade um motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico.

Palavras-Chave: Biomassa, Energia Renovável, Biogás.

VIABILITY OF THE GENERATION OF ELECTRIC ENERGY THROUGH A GENERATING ENGINE USING BIOGAS OF THE SWINE CULTURE

Abstract: One of the biggest available power plants in the agricultural and agro-industrial areas is the biomass. The same one appears in the form of vegetal and animal residues, such as remaining portions of harvest, animal residues, agroindustry energy and effluent plantations. These residues can be used by the agricultural or agroindustry producer for the direct burning, aiming at the production of heat or production of biogas in biodigestors. Together to the country properties where it has the activity of swine culture, the availability of these residues occurs, characterizing itself in a great energy potential. In this work it was objectified to determine the cost of biogas and the viability of production of electricity generated from exactly in a country property, using itself as equipment of conversion of biogas in electricity a connected engine of internal combustion to an electric generator.

Key-words: biodigestor; biomass; renewable energy.

JEL: Q, Q4, Q42.

¹ Professor do Instituto Federal do Paraná - IFPR, Campus de Paranaguá - PR, Msc. Engenharia Agrícola, E-mail: anderson.coldebella@ifpr.edu.br

² Professor Adjunto do Curso de Mestrado Eng. Agrícola da UNIOESTE-CCET - Campus de Cascavel, Rua Universitária, 2069 CEP 85814-110 Cascavel PR - E-mail: ssouza@unioeste.br, Prof. Tempo Parcial da FAG - Faculdade Assiz Gurgacz / Eng. de Controle e Automação.

³ Aluna de Pós-Graduação/UFPR, Campus de Curitiba - PR, Doutoranda em Engenharia/PIPE, E-mail: priscila.ferri@bol.com.br

⁴ Professor da Universidade Tecnológica Federal do Paraná - UTFPR, Campus de Pato Branco - PR, E-mail: kolling@utfpr.edu.br

INTRODUÇÃO

O Brasil é um país com tradição no uso de fontes renováveis de energia, onde se destaca o uso da energia hidrelétrica como sendo responsável pela maior parcela (acima de 80%) de toda geração de eletricidade. Em segundo lugar, o etanol proveniente da cana-de-açúcar, o qual é utilizado como mistura na gasolina ou puro, substituindo a gasolina (derivada do petróleo). Por outro lado, existe ainda estático, com pouco aproveitamento, um enorme potencial de fontes renováveis de energia, destacando-se entre elas a energia solar, eólica e biomassa.

As tecnologias a base de fontes renováveis são atrativas não só devido às vantagens ambientais, mas também sociais. A possibilidade de criação de fontes de suprimento descentralizadas e em pequena escala é fundamental para o desenvolvimento sustentável, tanto em países desenvolvidos como em países em desenvolvimento. No interesse desses últimos, sobressaem as centrais que utilizam fontes renováveis e não requerem alta tecnologia para instalação ou técnicos especializados para sua operação.

A região Oeste do Paraná destaca-se pela produção gerada pelas agroindústrias, porém, com o aumento da demanda e conseqüentemente o aumento da produção, a geração de esterco, seja ele de bovinos, suínos, aves ou de qualquer outro tipo de animal, vem se tornando um sério problema ambiental. Estes dejetos são importantes matérias-primas para produção de biogás, um combustível semelhante ao gás natural que pode ser convertido em energia elétrica, térmica ou mecânica dentro da própria propriedade, reduzindo os custos de produção.

O processo de biodigestão anaeróbica é uma das alternativas utilizadas para o tratamento de resíduos, pois reduz o potencial poluidor, produz biogás e permite o uso do efluente como biofertilizante.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 FONTES ALTERNATIVAS RENOVÁVEIS DE ENERGIA

A necessidade de atender a demanda energética nas diversas áreas causando o mínimo de impacto seja ele social ou ambiental, faz surgir a busca e exploração de fontes energéticas alternativas. As tecnologias que convertem a energia disponível na natureza, sejam do vento, da água, do sol ou dos combustíveis fósseis permitem que o homem aumente sua capacidade de trabalho (GADANHA et al., 1991).

No setor agrícola, o aumento na produção de alimentos esta diretamente relacionado a produção de energia (KOLLING, 2001). Para Lorenzo (1994), a eficiência energética e redução no consumo, bem como o fornecimento futuro da demanda, deverão ser baseados nas fontes renováveis, que deverão formar o alicerce da matriz energética mundial.

De acordo com Palz (1995), o aproveitamento da biomassa, do vento, do sol e de pequenos potenciais hidráulicos, são as fontes alternativas mais promissoras. Souza (1993) relata que o aproveitamento dos potenciais citados surgem como alternativas não poluentes e economicamente viáveis em determinadas condições para atividades agrícolas.

2.2 A SUINOCULTURA NO ESTADO DO PARANÁ

O estado do Paraná se encontra em segundo lugar no ranking de produção de suínos no país representando 13,5% da produção nacional. A região oeste do estado apresenta um rebanho de 1.228.124 cabeças de suínos, sendo que o município de Toledo é considerado o maior produtor de suínos do Brasil com um rebanho de 331.790 cabeças, representando 27% do rebanho da região, sendo sede da maior planta industrial de abate para a atividade (IBGE, 2003).

A suinocultura esteve presente desde o início da colonização do Oeste Paranaense, no princípio, era apenas uma atividade de subsistência para as famílias e posteriormente se tornou uma fonte de renda familiar. A atividade é de fundamental importância no contexto socioeconômico do Estado, proporcionando fonte de renda e empregos em todos os setores da economia gerando aumento na demanda de insumos agropecuários, bem como ampliação e modernização dos setores de comercialização e agroindústrias (IAPAR, 2000).

2.3 BIOMASSA, BIOGÁS E GERAÇÃO DE ELETRICIDADE VIA BIOGÁS

De acordo com Sganzerla (1983) todos os materiais que têm propriedade de se decomporem por efeito biológico, isto é, pela ação de diferentes bactérias, são considerados biomassas. De maneira geral pode-se descrever a biomassa como a massa total de matéria orgânica que se acumula em um espaço vital. Desta forma são consideradas biomassas todas as plantas e todos os animais, inclusive seus resíduos, as matérias orgânicas transformadas provenientes de indústrias alimentícias e indústrias transformadoras de madeira também são biomassas (SOUZA et al., 2004).

Até o início do século XX, a biomassa era tida como a principal fonte energética, foi quando se teve início a chamada “era do petróleo” e a biomassa energética ficou praticamente esquecida, (ROSILLO-CALLE, 2000). Staiss e Pereira (2001) relatam que os elementos primários da biomassa podem ser convertidos através de diferentes tecnologias em bicompostíveis sólidos, líquidos ou gasosos, que por sua vez se transformam em energias térmica, mecânica e elétrica.

A digestão anaeróbica da matéria orgânica, provavelmente já existia antes mesmo do surgimento do homem, o químico italiano Alessandro Volta, em 1776 identificou o metano presente no gás dos pântanos, resultante da decomposição de restos vegetais (CASSEB, 1996). O biogás um gás natural resultante da fermentação anaeróbica (na ausência de ar) de dejetos animais, de resíduos vegetais, lixo industrial ou residencial em condições adequadas.

O biogás é composto por uma mistura de gases que tem sua concentração determinada pelas características do resíduo e as condições de funcionamento do processo de digestão. É constituído principalmente por metano (CH₄) e dióxido de carbono (CO₂), geralmente apresenta em torno de 65% de metano, o restante é composto na maior parte por dióxido de carbono e alguns outros gases como nitrogênio, hidrogênio, monóxido de carbono entre outros, porém, em menores concentrações, como pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 - Composição do Biogás

GÁS	SÍMBOLO	CONCENTRAÇÃO NO BIOGÁS(%)
Metano	CH ₄	50-80
Dióxido de carbono	CO ₂	20-40
Hidrogênio	H ₂	1-3
Nitrogênio	N ₂	0,5-3
Gás Sulfídrico e outros	H ₂ S, CO, NH ₃	1-5

Fonte: La Farge (1979).

A produção de energia elétrica a partir da biomassa, atualmente, é muito defendida como uma alternativa importante para países em desenvolvimento e também outros países. Considerado um dos principais causadores de problemas ambientais no agronegócio, os dejetos gerados na criação de animais estão sendo aproveitados para a geração de gás combustível e fertilizante, onde esta matéria orgânica é utilizada como substrato para bactérias metanogênicas (bactérias formadoras de gás metano) responsáveis pela produção de biogás.

Segundo Florentino (2003), os biodigestores tem sido alvo de grande destaque tendo em vista a crise de energia e conseqüente busca por fontes alternativas, ressaltando que os biodigestores são importantes no intenso processo de modernização da agropecuária, que demanda energia e gera resíduos animais e de culturas que pode ocasionar problemas de ordem sanitária.

A utilização do biogás como recurso energético se deve principalmente ao metano (CH₄), quando puro em condições normais (PTN) de pressão (1 atm) e temperatura (0°), tem um poder calorífico inferior (PCI) de 9,9 kWh/m³. O biogás com um teor de metano entre 50 e 80% terá um poder calorífico inferior entre 4,95 e 7,92 kWh/m³, a Tabela 2, relaciona a equivalência energética do biogás de acordo com alguns autores.

Tabela 2 - Equivalência energética do biogás comparado a outras fontes de energia

ENERGÉTICO	FERRAZ&MARIE L (1980)	SGANZERLA (1983)	NOGUEIRA (1986)	SANTOS (2000)
Gasolina (L)	0,61	0,613	0,61	0,6
Querosene(L)	0,58	0,579	0,62	-
Diesel (L)	0,55	0,553	0,55	0,6
GLP (kg)	0,45	0,454	1,43	-
Álcool (L)	-	0,79	0,80	-
Carvão M. (kg)	-	0,735	0,74	-
Lenha (kg)	-	1,538	3,5	1,6
Eletricidade (kWh)	1,43	1,428	-	6,5

Fonte: Ferraz&Mariel (1980), Sganzerla (1983), Nogueira (1986) e Santos (2000).

Para transformá-lo em energia elétrica é necessária a utilização de geradores, para obtenção de energia térmica faz-se necessário o uso de fornos para que ocorra a queima e sua transformação em energia térmica (AVELLAR, COELHO e ALVES, 2004). Para utilização em motores a gasolina é necessário que se faça a conversão para biogás, a mesma deve ser feita por um mecânico experiente e não exige grandes alterações, porém, modelos específicos apresentam melhores rendimentos (SGANZERLA, 1983). A Tabela 3 nos mostra o consumo de biogás de alguns aparelhos utilizados com maior frequência.

Tabela 3 - Consumo de biogás por aparelho

APARELHO	AISSE E OBLADEM(1982)	METALÚRGICA JACKWAL LTDA (1983)
Lampião (100 velas)	0,12m ³ /hora	0,13m ³ /hora
Fogão	0,33m ³ /pessoa/dia	0,32m ³ /hora
Forno (fogão doméstico)	-	0,44m ³ /hora
Geladeira (Média)	-	2,2m ³ /dia
Chuveiro	0,8m ³ /banho	0,8m ³ /banho
Incubadeira	0,71m ³ /hora	0,60m ³ /hora
Campânula	-	0,162m ³ /hora
Motor Combustão Interna	0,45m ³ /HP/h	0,45m ³ /HP/h
Produção de eletricidade	0,62m ³ /kWh	-

Fonte: Aisse e Obladen (1982), citado por DANIEL (2005); Metalúrgica Jackwal Ltda, citado por SGANZERLA (1983).

3 METODOLOGIA

3.1 LOCALIZAÇÃO E DESCRIÇÃO DA PROPRIEDADE

Para o estudo e elaboração deste trabalho foram coletados dados e informações em uma propriedades com tradição na produção de suínos localizada no município de Toledo, Região Oeste do Estado do Paraná.

A propriedade pertence ao Sr. Arnaldo Bombardelli e esta localizada a aproximadamente 5km da sede do município, na Estrada da Usina, s/n, zona rural. A propriedade conta com atividades de agricultura e suinocultura, sendo a suinocultura o foco deste trabalho. A atividade de suinocultura opera num sistema produtivo de UPL (unidade produtora de leitões), e esta em fase de ampliação do rebanho, atualmente conta com 1.000 matrizes e 5.000 leitões. Todos os dejetos gerados pelo sistema de produção são conduzidos a um biodigestor com 10,5x55x4,5m de largura, comprimento e profundidade respectivamente. O produtor aproveita os subprodutos da biodigestão, o biofertilizante e o biogás, para fertirrigação e produção de energia elétrica, sendo o biogás e a energia elétrica produzida objetos deste estudo.

3.2 CAPACIDADE DE PRODUÇÃO DE RESÍDUOS E BIOGÁS

Dentro da mesma atividade pecuária os resíduos podem apresentar diferentes concentrações e biodegradabilidade, de acordo com a composição das dietas alimentares, sistema de cultivo e de limpeza das instalações. A Tabela 4 apresenta as quantidades de resíduos produzidos diariamente, para atividade de suinocultura bem como algumas características físico-químicas destes resíduos agropecuários.

Tabela 4 - Produção de resíduos e principais características físico-químicas para suinocultura

ESPÉCIE PECUÁRIA	UNIDADE REFERÊNCIA	QUANTIDADE DIÁRIA DE RESÍDUO	CONCENTRAÇÃO (G/L OU G/KG)					
			DBO	ST	SV	N	P	K
Suínos*	Lugar de porca reprodutora em ciclo fechado	70 litros chorume	33,3	37	27,5	2,8	0,9	1,8
	Lugar de porca reprodutora em criação de leitões	85 litros chorume	29,7	30,5	24,4	2,3	0,8	1,5
	Lugar de porco em exploração de engorda	60 litros chorume	36,1	42,3	29,6	3,2	1,1	2,1

Fonte: Santos (2000).

Notas: DBO – demanda bioquímica de oxigênio; ST – sólidos totais; SV – sólidos voláteis; N – nitrogênio; P – fósforo; K – potássio; * – chorume diluído em águas de lavagem.

Desde que as condições sejam adequadas ao desenvolvimento das bactérias anaeróbias a digestão se realiza a partir de qualquer matéria orgânica, com a fermentação provocada pelas bactérias obtêm-se o biogás. Para cada fonte de matéria orgânica temos uma produção diferente de biogás, a Tabela 5, mostra a capacidade de produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura.

Tabela 5 - Produção de biogás a partir de resíduos da suinocultura

ESPÉCIE PECUÁRIA	UNIDADE REFERÊNCIA	PRODUÇÃO ESPECÍFICA DE BIOGÁS (M ³ /KG SV)	PRODUÇÃO DIÁRIA (M ³ /ANIMAL/DIA)
Suínos*	Porca reprodutora em ciclo fechado	0,45	0,866
	Porca reprodutora em criação de leitões	0,45	0,933
	Porco em exploração de engorda	0,45	0,799

Fonte: Santos, 2000.

SV – sólidos voláteis; * – chorume diluído com águas de lavagem.

3.3 O CONJUNTO MOTOR-GERADOR

O conjunto motor-gerador é constituído por um motor originalmente a gasolina adaptado para o biogás acoplado a um gerador de energia elétrica e equipado com um quadro de comando que serve para monitorar o funcionamento do motor e do gerador, possibilitando o controle da temperatura, pressão de óleo, rpm, frequência e tensão da energia produzida dentre outros parâmetros técnicos.

O conjunto motor-gerador utilizado é composto por um motor da marca Chevrolet Brasil, 4.3L, 110 HP com 4300 cilindradas a gasolina acoplado a um gerador da marca Kohlback MOD 180LA com capacidade de 36 kW em baixa rotação. Este motor equipava algumas linhas da montadora Chevrolet, tais como caminhonetas C-10 e até mesmo caminhões a gasolina.

3.4 ANÁLISE ECONÔMICA DE PRODUÇÃO DE ENERGIA ELÉTRICA VIA BIOGÁS

A metodologia a ser utilizada para determinação do custo de produção da energia elétrica por geração via biogás, é descrita por SOUZA et al., (2004). Os autores relatam que o custo esta relacionado ao capital investido na construção e manutenção do biodigestor e do sistema motor-gerador e a implantação do biodigestor equivale a aproximadamente R\$ 200,00/suíno e do conjunto motor-gerador cerca de R\$ 440,00/kW.

O biodigestor opera numa propriedade rural durante o ano inteiro, sob condições adequadas de operação e manutenção. O biogás ao ser produzido é utilizado diretamente pelo conjunto motor gerador, o qual pode operar durante dez horas diárias ou no horário de ponta (4 horas/dia). Quanto menor tempo de operação maior o custo de geração de energia elétrica, aumentando com isso tempo de retorno do investimento.

Utilizou-se uma taxa de desconto de 8%, a qual seria a taxa usual de financiamento do governo federal nas atividades de produção agrícola. Os gastos com OM durante o ano, representam cerca de 4% do investimento total. Por meio da tarifa de energia paga pela propriedade foi possível obter o tempo de retorno do investimento. O custo de produção de energia elétrica via biogás é dado por:

$$C_e = (CAG + CAB) / PE \quad (1)$$

Sendo:

C_e = Custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh); CAB = Gasto anual com biogás (R\$/ano) e PE = Produção de eletricidade pela planta de biogás (kWh/ano).

Onde:

$$CAG = (CIG * FRC) + (CIG * (OM/100)); \quad (2)$$

$$CAB = CB * CNB. \quad (3)$$

Sendo que:

CAG = Custo anualizado do investimento no conjunto motor gerador (R\$/ano), CIG = Custo do investimento no motor gerador (R\$); OM = Custo com organização e manutenção (%/ano); CB = Custo do biogás (R\$/m³) e CNB = Consumo de biogás pelo conjunto motor gerador (m³/ano).

A produção de eletricidade (PE) é dada por:

$$PE = Pot * T \quad (4)$$

Onde:

Pot = Potência nominal da planta (kW) e T = Disponibilidade anual da planta (horas/ano).

O fator de recuperação de capital é dado por:

$$FRC = [j * (1 + j)^n] / [(1+j)^{n-1} - 1] \quad (5)$$

Onde:

FRC = Fator de recuperação de Capital; j = taxa de desconto (% ano) e n = anos para amortização do investimento.

O custo do biogás é dado por:

$$CB = CAB/PAB \quad (6)$$

Onde:

CAB = Custo Anualizado do investimento no biodigestor (R\$/ano) e PAB = Produção anual de biogás (m³/ano).

Sendo:

$$CAB = (CIB * FRC) + (CIB * (OM/100)) \quad (7)$$

Onde:

CIB = Custo de investimento no biodigestor (R\$) e PAB = Produção anual de biogás (m³).

Para se verificar a viabilidade de geração de energia elétrica, determinou-se o tempo de retorno do investimento (TRI):

$$TRI = [\ln(-k/(j-k))]/[\ln(1+j)] \quad (8)$$

Onde:

$$k = A/CI - OM/100 \quad (9)$$

$$A = CI * (FRC + OM/100) \quad (10)$$

CI = Custo de investimento no sistema biodigestor/motor e gerador (R\$); A = Gasto anual com energia elétrica adquirida na rede (R\$/ano); OM = Gastos com amortização e manutenção da planta (R\$/ano) e TRI = Tempo de retorno (anos).

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com os valores apresentados na Tabela 4, foi estimada a quantidade de produção de resíduos para propriedade, que com um rebanho atual de 1000 porcas reprodutoras em criação de leitões, onde cada animal produz o equivalente a 85 litros de chorume/dia, tem-se uma produção diária de 85m³ de dejetos.

Com base no valor encontrado para produção de dejetos também é possível se estimar a produção diária de biogás, de acordo com a tabela 5 são produzidos diariamente 933m³ de biogás. A produção de biogás esta diretamente relacionada a temperatura, pois a mesma influencia na digestão anaeróbia e afeta os processos relacionados a atividade biológica dos microrganismos envolvidos, a temperatura mais favorável ao crescimento dos microrganismos anaeróbios está na faixa dos 35°C, para temperaturas abaixo dos 25°C a velocidade de digestão decresce acentuadamente, reduzindo a produção de biogás (SANTOS, 2000). Levando em consideração o fator temperatura o valor de produção de biogás pode sofrer alterações, principalmente nos meses de inverno, onde a produção é menor.

O estudo da viabilidade econômica de implantação do sistema, esta diretamente relacionado a quantidade de energia elétrica a ser produzida, ao investimento inicial do projeto e a vida útil dos equipamentos utilizados, pois estes são os principais fatores que influenciam no tempo de retorno do investimento.

Tabela 6 - Custo do Biogás (m³) de acordo com o tempo de amortização do investimento.

TEMPO DE AMORTIZAÇÃO (ANOS)	CUSTO DO BIOGÁS (R\$/M ³)
5	0,107
10	0,063
15	0,050
20	0,045

Fonte: Resultados da Pesquisa.

Para este estudo de caso o investimento com a construção do biodigestor foi de R\$ 100.000,00 e com o motor-gerador R\$ 20.000,00 para uma produção de 36kWh de energia elétrica. Para efeito de cálculo foram consideradas cinco formas de trabalho que diferem entre si pelo tempo de funcionamento diário do sistema, ou seja, para este estudo foi considerado que o gerador opere durante 4, 6, 8, 10 ou 12 horas diárias, sendo que para cada forma de trabalho foram considerados 5, 10, 15 e 20 anos de tempo de vida útil para os equipamentos, originando os seguintes valores (R\$) para o m³ do biogás (Tabela 6) e para o MWh de energia produzida em cada caso (Tabelas 7).

Tabela 7 - Custo da eletricidade (MWh) de acordo com o tempo de amortização e tempo de operação do motor-gerador.

TEMPO DE AMORTIZAÇÃO O (ANOS)	CUSTO DA ELETRICIDADE E (R\$/MWH), 4 HORAS DE OPERAÇÃO	CUSTO DA ELETRICIDADE E (R\$/MWH), 6 HORAS DE OPERAÇÃO	CUSTO DA ELETRICIDADE E (R\$/MWH), 8 HORAS DE OPERAÇÃO	CUSTO DA ELETRICIDADE E (R\$/MWH), 10 HORAS DE OPERAÇÃO	CUSTO DA ELETRICIDADE E (R\$/MWH), 12 HORAS DE OPERAÇÃO
5	239,83	193,39	170,18	156,25	146,96
10	139,47	112,47	98,96	90,86	85,46
15	112,03	143,91	79,49	72,99	68,65
20	99,88	80,54	70,87	65,07	61,20

Fonte: Resultados da Pesquisa.

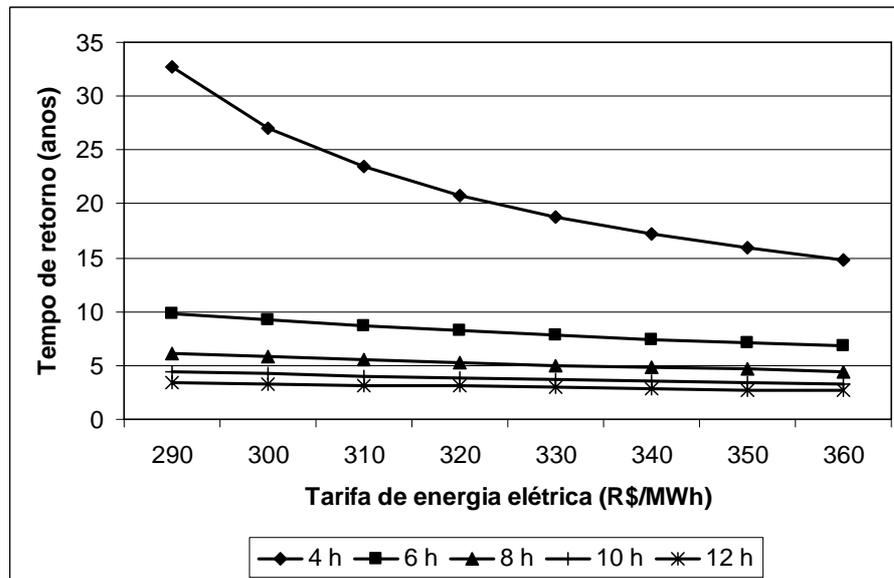
Os valores encontrados para produção de biogás influenciam diretamente o Ce (Custo de energia elétrica produzida via biogás (R\$/kWh)). A Tabela 6 mostra os valores encontrados para produção do biogás (R\$/m³), quanto maior for o tempo de vida útil do biodigestor, menor será o custo do biogás, bem como, a produção diária também influencia no custo, ou seja, investimentos altos para baixa produção encarecem o preço final do biogás. A Tabela 7 apresenta os resultados encontrados para o custo da eletricidade produzida com o biogás da suinocultura de acordo com o tempo de amortização considerado e o tempo de operação diária do sistema, os valores encontrados são atrativos para um produtor que pretenda instalar um sistema semelhante em sua propriedade. O custo da produção de energia esta relacionado à produção atual da planta e a capacidade de produção pela qual ela foi instalada.

Para este estudo de caso a capacidade de produção da planta é de 36 kW, porém a mesma esta operando com uma produção de apenas 7,46 kW e um custo que pode chegar à R\$ 0,107 por m³ de biogás produzido. Na Tabela 7, observa-se que o custo da energia produzida desta forma varia entre 239,83 R\$/MWh operando o sistema durante 4 horas diárias com um tempo de amortização de 5 anos à 61,20 R\$/MWh quando se opera o sistema por 12 horas diárias e com um tempo de amortização de 20 anos. Embora apresente uma produção de eletricidade menor que a capacidade instalada, os custos obtidos para geração de energia elétrica são atrativos economicamente, pois o custo máximo encontrado para propriedade foi

de R\$ 239,83/MWh para um tempo de amortização de 5 anos e operando por apenas 4 horas diárias, este valor está abaixo do valor cobrado pelas concessionárias de energia elétrica, que para propriedades rurais custa aproximadamente R\$ 300,00/MWh.

Com uma capacidade instalada de 36 kW e com um investimento inicial de R\$ 120.000,00 entre o biodigestor e o conjunto motor-gerador, observa-se então que o tempo de retorno deste investimento para mesma tarifa de R\$ 300,00/MWh e com o tempo de funcionamento diário do equipamento de 4 horas é de 27 anos, e diminui a medida em que se aumenta o tempo de funcionamento do sistema podendo chegar a 3,3 anos se o sistema funcionar durante 12 horas diárias (Figura 1).

Figura 1 - Tempo de retorno do investimento para a propriedade 2, com biogás da suinocultura para produção de energia elétrica



Fonte: Resultados da Pesquisa.

Quanto maior for o tempo diário de operação do sistema menor será o tempo de retorno do investimento desde que o sistema esteja produzindo a quantidade de energia para qual a planta foi projetada. Para operar 12 horas diárias, seria necessário que as propriedades onde ocorra produção de energia elétrica fossem interligadas à rede e que as concessionárias apresentassem políticas de compra para a energia excedente, incentivando assim as fontes alternativas de produção de energia.

CONCLUSÕES

O uso de biodigestores em propriedades rurais, além ser uma excelente alternativa para o tratamento dos dejetos gerados pelas atividades do agronegócio, torna-se economicamente viável quando o biogás e biofertilizante são utilizados adequadamente.

Os custos de produção de biogás encontrados estão diretamente relacionados à quantidade de biogás que se produz e ao investimento destinado à construção do biodigestor. O tempo de retorno do investimento torna-se atrativo com a intensificação do uso do sistema, porém seria necessário que as concessionárias adquirissem o excedente de energia produzida e está diretamente relacionado a tarifa de energia elétrica que é cobrada do produtor rural.

O tempo de retorno do investimento pode se tornar ainda menor se a economia proporcionada pelo uso do biofertilizante como fonte de nitrogênio para adubação de pastagens ou lavouras, também for considerada.

BIBLIOGRAFIA

AVELLAR, L. H. N.; COELHO, S. T.; ALVES, J. W. Geração de eletricidade com biogás de esgoto: Uma realidade. **Biotecnologia, Ciência e Desenvolvimento**. n. 29. Disponível em: <<http://www.biotecnologia.com.br/revista/bio29/geracao.pdf>> Acesso em: 27 maio 2005.

CASSEB, M. M. S. **Avaliação do desempenho de um reator anaeróbico de fluxo ascendente e manta de lodo, em escala piloto, tratando de esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) - Escola de Engenharia, Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 1996.

DANIEL, G. **Controle da poluição proveniente dos dejetos da suinocultura, reaproveitamento e valorização dos subprodutos**. Trabalho de Conclusão de Curso. (Graduação em Engenharia Ambiental) Universidade Católica do Paraná. Curitiba, 2005, 96 p.

FERRAZ, J. M. G.; MARIEL, I. E. **Biogás uma fonte alternativa de energia**. Sete Lagoas: EMBRAPA-CNPMS, 1980. 27p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 3).

FLORENTINO, H. O. Mathematical tool to size rural digesters. **Ciência Agrícola**, Piracicaba - SP, v. 60, n. 1, jan./mar. 2003.

GADANHA, C. D.; MOLIN, J. P.; COELHO, J. L. D.; YAHN, C. H.; TOMIMORI, S. M. A. W. **Máquinas e implementos agrícolas do Brasil**. São Paulo-SP: Instituto de Pesquisas Tecnológicas do Estado de São Paulo, 1991. 468 p.

INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ - IAPAR. **Agronegócio do Paraná: Perfil e características das demandas das cadeias produtivas**. Londrina: IAPAR, 2000.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. **Censo Agropecuário**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/2003>>. Acesso em: 22 fev. 2006.

KOLLING, E. M., **Análise de um sistema fotovoltaico de bombeamento de água**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Centro de Ciências Exatas e Tecnológicas, Universidade Estadual do Oeste do Paraná. Cascavel, 2001. 45 p.

LA FARGE, B. **Le biogaz**. Procédés de fermentation méthanique. Paris: Masson, 1979.

LORENZO, E. **Eletricidad solar**. Ingenieria de los sistemas fotovoltaicos. Sevilla, Espanha: Progensa, 1994. 184 p.

NOGUEIRA, L. A. H. **Biodigestão: A alternativa energética**. Nobel - São Paulo, 1986.

PALZ, W. **Energia solar e fontes alternativas**. Paris, França: Hemus, 1995. 357 p.

ROSILLO-CALLE, F. The role of biomass energy in rural development. In: ENCONTRO DE ENERGIA NO MEIO RURAL – AGRENER, 3, 2000, Campinas. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2000.

SANTOS, P. **Guia técnico de biogás**. CCE- Centro para a Conservação de Energia. Guia Técnico de Biogás. AGEEN – Agência para a Energia, Amadora, Portugal, 2000. 117 p.

SGANZERLA, E. **Biodigestor: uma solução**. Ed.Agropecuária. Porto Alegre, 1983.

SOUZA, J. W. **Análise climatológica do potencial eólico no estado de Minas Gerais**. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Meteorologia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa. Viçosa: UFV, 1993. 107 p.

SOUZA, S. N. M.; PEREIRA, W. C.; NOGUEIRA, C. E. C.; PAVAN, A. A.; SORDI, A. Custo da eletricidade gerada em conjunto motor gerador utilizando biogás da suinocultura. **Acta Scientiarum. Technology**, Maringá, v. 26, 2004, p. 127-133.

STAISS, C.; PEREIRA, H. Biomassa: energia renovável na agricultura e no setor florestal. **Revista Agros**, Instituto Superior de Agronomia, Portugal, v. 13, n. 1, 2001, p. 21-28.