

CUSTO DA ELETRICIDADE GERADA EM CONJUNTO MOTOR GERADOR UTILIZANDO BIOGÁS DA SUINOCULTURA

SAMUEL N. MELEGARI DE SOUZA
Prof. Adjunto FAG – Faculdade Assiz Gurgacz
Prof. Adjunto C Mestrado Eng. Agrícola
UNIOESTE-CCET-Campus de Cascavel,
Rua Universitária, 2069 CEP 85814-110 Cascavel PR
e-mail:ssouza@unioeste.br

WILLIAM CALDART PEREIRA
Aluno Bolsista PIBIC/UNIOESTE-CCET

ANDRÉ APARECIDO PAVAN
Aluno Bolsista PIC/FAG

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 a propriedades agrícolas onde há a atividade de suinocultura, ocorre a disponibilidade destes resíduos, caracterizando-se num grande potencial energético. Neste trabalho objetivou-se determinar o custo e viabilidade de produção de eletricidade gerada a partir do biogás numa propriedade rural, utilizando-se como equipamentos de conversão de biogás em eletricidade um motor de combustão interna acoplado a um gerador elétrico.

Abstract

One of the largest available sources of energy in the rural areas and agroindustriais is the biomassa. The same appears in the form of vegetable residues and you encourage, such as crop remains, animal manure, energy plantations and efluentes agroindustriais. These residues can be used by the rural producer or agroindustrie for it burns it direct, seeking the production of heat or biogás production in biodigestores. Close to some agricultural properties, where there is a pig production, it happens the readiness of these residues, being characterized in a great energy potential. In this work it was objectified to determine the cost and viability of electricity production using biogas as fuel an engine generator.

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 (derivado de petróleo). Por outro lado, existem ainda estáticos, 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 diversidade de tecnologias em energia renovável a torna conveniente para prover potência para redes elétricas existentes e produzir energia para sistemas isolados ou em ilha. Por ser um país tropical, existe aqui um enorme potencial de biomassa, devido a grande produtividade de massa vegetal. A biomassa é definida como toda matéria orgânica de origem animal e vegetal, formada pelo processo de fotossíntese, o qual ocorre na presença da luz solar. Pode-se dizer que a biomassa é uma forma de armazenamento de uma pequena fração da energia solar, que inside na superfície da terra, na forma de ligações moleculares orgânicas. É liberada por processos biológicos e termoquímicos. Ao contrário da energia dos combustíveis fósseis, a biomassa é renovável e não contribui para o acúmulo de dióxido de carbono na atmosfera terrestre, ou melhor, todo CO₂ liberado durante o uso da biomassa é absorvido novamente no processo de fotossíntese para formação da mesma.

No Brasil podemos citar o exemplo do aproveitamento de resíduos da cana de açúcar onde temos usinas com possibilidade de venda de energia para o sistema elétrico, o que ainda não aconteceu de maneira mais acentuada pela falta de regulamentação no setor elétrico.

Os resíduos rurais incluem todos os tipos gerados pelas atividades produtivas nas zonas rurais, qual seja: os resíduos agrícolas, florestais e pecuários. Os resíduos da pecuária são constituídos por estercos e outros produtos resultantes da atividade biológica do gado bovino, suíno, caprino e outros, cuja relevância local justifica seu aproveitamento energético. Este tipo de resíduo é importante matéria-prima para a produção de biogás.

O biogás é um combustível gasoso com um conteúdo energético elevado semelhante ao gás natural. Este combustível pode ser utilizado para geração de energia elétrica, térmica ou mecânica em uma propriedade rural. Contribuindo desta forma para redução dos custos de produção.

No Brasil os biodigestores rurais vem sendo utilizados para fins de saneamento rural, tendo como sub produtos e biogás e biofertilizante. Conforme dados disponibilizados pelo (IBGE, 1997), o Brasil é o quarto produtor mundial de suínos, contando com cerca de 38 milhões de cabeças, apresentando-se com grande potencial de resíduos.

É necessário o estudo do aproveitamento do biogás disponível na forma de combustível gasoso, o qual pode ser utilizado num motor de combustão interna/gerador para geração de energia elétrica na propriedade rural (SIEBENMORGEN et. al, 1988)

Neste estudo objetivou-se determinar o custo de produção do biogás e geração de eletricidade numa propriedade rural típica, onde ocorrem a disponibilidade de resíduos da suinocultura. Também obteve-se o tempo de retorno do investimento pelo produtor por meio deste tipo de geração em função da tarifa de energia economizada, com a implantação do sistema.

Revisão bibliográfica

Fontes alternativas renováveis de energia

O desenvolvimento tecnológico de pequenas unidades de geração elétrica baseadas em fontes renováveis alternativas de energia com redução nos custos, a liberação do mercado de eletricidade, facilidade de financiamento, possibilidade de instalação junto aos mercados

consumidores e menor tempo de implantação, são fatores que favorecem a expansão da geração distribuída, abrindo mercado para estas fontes.

No meio rural, as fontes renováveis alternativas de energia podem ser utilizadas em comunidades rurais isoladas, com o objetivo de melhorar as condições de vida destas populações. A implantação depende da disponibilidade dos recursos energéticos existentes em cada região. Em locais onde há disponibilidade de resíduos animais, os quais não podem ser dispostos diretamente na natureza antes de passarem por um processo de tratamento, ocorre a disponibilidade de biogás. O biogás é subproduto da digestão anaeróbia dos resíduos animais e pode ser utilizado como biocombustível no aquecimento de ambientes, cocção de alimentos e em grupos motor gerador para geração de eletricidade.

No Brasil, o PROINFA (Programa de Incentivo às Fontes Alternativas de Energia), criado com base na lei nº 10.438/02, tem como objetivo o aumento da participação da energia elétrica gerada por Produtores Independentes Autônomos a partir de fontes eólica, pequenas centrais hidrelétricas (PCH's) e biomassa no sistema interligado nacional. Isso abre uma oportunidade para que sistemas de geração de energia elétrica, utilizando biogás como fonte primária de energia, venham a ser implantados promovendo com isso uma participação desta fonte renovável alternativa de energia na matriz energética nacional. O que não justifica é o fato de o Brasil, um país de clima tropical, com abundância de resíduos, continuar emitindo o gás estufa metano na atmosfera, sem nenhum aproveitamento.

Biomassa, Biogás e geração de eletricidade via biogás

Como biomassa designa-se, em geral, a massa total de matéria orgânica que se acumula num espaço vital. Desta maneira pertencem à biomassa todas as plantas e todos os animais incluindo os seus resíduos bem como, num sentido mais amplo, as matérias orgânicas transformadas como resíduos de indústria transformadora da madeira e indústria alimentar. Estes elementos primários de biomassa podem ser transformados pelas diferentes tecnologias de conversão em biocombustíveis sólidos, líquidos ou gasosos e, finalmente, nos produtos finais energias térmica, mecânica e elétrica (STAISS & PEREIRA, 2001).

A biomassa foi a principal fonte energética até o início do século 20, quando, então, veio à chamada "era do petróleo" e a biomassa energética foi relegada e largamente ignorada, (ROSILLO-CALLE, 2000). Desta forma, o aproveitamento eficiente da energia térmica com base no petróleo e carvão mineral foi intensamente estudado, enquanto que a biomassa foi tecnologicamente abandonada neste período (ELETROBRÁS, 1994).

O potencial de biomassa em 1990 era de 225 exajoules, no entanto o seu uso real foi de 46 exajoules. Estima-se que o potencial de biomassa irá crescer para 370 a 450 exajoules até o ano de 2050 (8,8 e 10,8 Giga toneladas equivalentes de petróleo) (FISCHER & SCHRATTENHOLZER 2001).

Num sentido energético tem que se distinguir entre biomassa que é cultivada com a finalidade de produção de energia (plantas energéticas) e biomassa que abrange todos os resíduos orgânicos provenientes de outras atividades. As propriedades físicas mais importantes da biomassa sólida são a percentagem de umidade e a densidade energética. A baixa densidade energética de biomassa sólida em comparação com o petróleo e o carvão mineral origina custos elevados de transporte e armazenamento. O desenvolvimento contínuo de técnicas para aumentar a concentração de energia (por exemplo briquetagem) ampliará o espectro de utilização da biomassa na transformação energética. A percentagem de umidade influencia significativamente a qualidade de combustão e o poder calorífico da biomassa (STAISS e PEREIRA, 2001).

Os resíduos animais constituem uma alta proporção de biomassa e seu uso coerente é importante para os aspectos econômicos e ambientais. A digestão anaeróbia tem sido uma das mais

mundialmente usadas formas de tratamento desses resíduos e representa uma fonte alternativa de energia via produção de biogás (MASRI, 2001).

Os resíduos provenientes da criação animal tal como avicultura e suinocultura, por exemplo, têm um alto potencial para poluição. Tradicionalmente, esses têm sido lançados diretamente no solo como fertilizantes, mas, em algumas situações, esses métodos podem causar problemas ambientais tais como mau odor e contaminação da água. Duas opções para aproveitamento energético foram estudadas para esses tipos de resíduos na Europa: Uma é a digestão anaeróbica dos resíduos de suinocultura, e o outro é a combustão direta aproveitando a cama de aviário (DAGNALL et al 2000). O potencial energético mundial somente com a produção de esterco foi estimado em 20 exajoules (10^8 J) (HALL & WOODS, 1994).

O biogás é composto por uma mistura de gases cujo tipo e percentagem variam de acordo com as características do tipo de resíduos e as condições de funcionamento do processo de digestão. Os principais constituintes do biogás são o metano e o dióxido de carbono, no qual biogás é composto em média de 65% de metano, sendo o restante basicamente de dióxido de carbono (CO_2). Outros gases, como sulfeto de hidrogênio, o nitrogênio, hidrogênio e monóxido de carbono também compõe o biogás em menores concentrações. Na Tabela 1, são apresentados os principais componentes que compõem o biogás suas concentrações.

Tabela 1. Composição do biogás

Gás	Símbolo	% 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 %
Sulfídrico e Outros	$\text{H}_2\text{S}, \text{CO}, \text{NH}_3,$	1 - 5 %

FONTE: (LA FARGE, 1979)

A produção de biogás utilizando-se resíduos da suinocultura é realizada por meio de biodigestores (reatores anaeróbios) onde o resíduo é geralmente diluído com água de lavagem, constituindo-se no chamado chorume, quantificado em 72 litros por dia/cabeça de suíno e com uma Demanda Química de Oxigênio de 33 g/litro (CCE, 2000).

A Demanda Química de Oxigênio (DQO) é utilizada para estimar a produção teórica de metano, Potencial Bioquímico do Metano – BMP em processos anaeróbios (OWEN et al., 1979). Segundo (SPEECE, 1996 & CCE, 2000) a produção teórica de metano assume sempre um valor fixo, expresso em função da DQO (demanda química de oxigênio), onde 1 kg de DQO convertido corresponde a $0,35 \text{ m}^3$ de metano (CH_4). A conversão do chorume em biogás leva em consideração a biodegradabilidade da matéria orgânica (75%), a eficiência de conversão no biodigestor (85%) e a fração de matéria orgânica utilizada pelas bactérias no seu próprio crescimento (5%).

Um suíno tem uma produção de 72 litros/dia, o que corresponde a uma carga orgânica de 2,376 kg de DQO. Considerando-se as eficiências do processo (60,5%), a produção de metano em função da carga orgânica seria da ordem de $0,504 \text{ m}^3/\text{cabeça.dia}$, sendo portanto a produção de biogás de $0,504/0,65 = 0,775 \text{ m}^3$ de biogás/cabeça de suíno.dia.

Muitos estudos tem sido realizados visando o uso do biogás como combustível em sistemas de cogeração nas áreas rurais. (STAHL et al., 1981) descreveu à utilização de um sistema de cogeração de 22,5 kW com posterior adequação de cargas térmicas e elétricas para suprir os usos finais de uma propriedade agrícola. (COPPINGER et al., 1978) apresentou um trabalho de produção de eletricidade e aquecimento de água utilizando uma unidade de cogeração de 40 kW numa propriedade rural com resíduos de gado leiteiro. (KOELSCH et al., 1982) elaborou um estudo de um sistema de cogeração de 15 kW em uma propriedade rural com resíduos de gado leiteiro e

foram detalhadas as variações das cargas, as misturas do biogás como combustível para o gerador elétrico. (FISCHER & SCHRATTENHOLZER, 2001) estabeleceram um estudo de caso sobre o uso de biogás como combustível alternativo numa propriedade rural composta de digestor anaeróbico e com um rebanho suíno de 3200 cabeças em fase de terminação. Em uma instalação comunitária de biogás na Aldeia Pura – Índia (RAJABAPAI AH et al, 1993) o biogás é utilizado num motor de combustão interna de 4,2 kW para geração de energia elétrica.

Metodologia

Capacidade de produção de biogás

As propriedades de suinocultura variam de pequenas propriedades com capacidade de 100 matrizes, até grandes propriedades com mais de 2500 matrizes. Isso influi na maior ou menor produção de biogás, dado que o índice teórico de produção de resíduo (chorume) é de 72 litros/dia.cabeça, resultando em 0,775 m³ de biogás/cabeça de suíno dia, uma propriedade com 100 matrizes, produz 7200 litros/dia de chorume e 77,5 m³/dia de biogás por matriz. Com isso foi possível estimar a produção de biogás em função da capacidade de produção de uma propriedade rural de matrizes.

Produção de eletricidade via biogás

O poder calorífico inferior do biogás é de 6,5 kWh/m³ e a eficiência de conversão do biogás em energia elétrica com grupos geradores (motores ciclo Otto) é de aproximadamente 25% (CCE, 2000).

Custo de produção de eletricidade via biogás

O custo de produção da eletricidade com aproveitamento do biogás é composto do capital investido na construção e manutenção do biodigestor e sistema motor/gerador, sendo que o biodigestor representa cerca de R\$ 200.00/suíno e o conjunto motor gerador 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 O&M 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

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

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).
Sendo

$$\begin{aligned} CAG &= (CIG \cdot FRC) + (CIG \cdot (OM/100)) \\ CAB &= CB \cdot CNB \end{aligned} \quad (2)$$

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

$$PE = Pot \cdot T \quad (3)$$

Pot - Potência nominal da planta (kW), T - Disponibilidade anual da planta (horas/ano). O fator de recuperação de capital é dado por

$$FRC = [j \cdot (1 + j)^n] / [(1+j)^{n-1} - 1] \quad (4)$$

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

$$CB = CAB/PAB \quad (5)$$

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

$$CAB = (CIB \cdot FRC) + (CIB \cdot (OM/100)) \quad (6)$$

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)

$$TRI = [\ln(-k/(j-k))] / [\ln(1+j)] \quad (7)$$

onde

$$k = A/CI - OM/100 \quad (8)$$

$$A = CI \cdot (FRC + OM/100) \quad (9)$$

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), TRI - Tempo de retorno (anos).

Resultados e discussão

Numa propriedade típica contendo um aviário, pocilga, fábrica de ração e residências, a carga utilizada é de aproximadamente 39 kW, distribuídos conforme a Tabela 1. Se a propriedade dispõe de cama de aviário, esta constitui-se numa excelente forma de biomassa, a qual poderia contribuir para um aumento na produção de biogás pelo biodigestor.

Tabela 1 – Distribuição de carga elétrica numa propriedade típica

Setor da Propriedade	Potencia Elétrica Instalada em kW	Percentual da Carga na Propriedade %
Aviário	8,83	22,0
Ração	18,4	47,0
Suínos	2,3	6,0
Residências	9,8	25,0

Seriam necessários a instalação de um conjunto motor gerador de 40 kW, o qual teria a necessidade de 258 suínos (matrizes) para uma produção de 200 m³/dia de biogás operando a 10 horas por dia. Caso a operação da planta fosse somente no horário de ponta, a fim de aliviar o sistema, seriam necessários 103 suínos (matrizes) .

Os custos do biogás e geração de eletricidade para diferentes tempos de amortização e operação do sistema na base (10 horas) e na ponta (4 horas) são mostrados na Tabela 2. A utilização do sistema somente na ponta, se justificaria se houvesse uma tarifa a ser paga pelo produtor rural diferenciada em hora de ponta e fora de ponta, mas isso não ocorre no meio rural. Para o sistema interligado, seria vantajoso o incentivo a fontes renováveis alternativas de energia para geração de ponta, aliviando com isso o sistema e contribuindo para uma diminuição dos investimentos em usinas de ponta. Isso seria possível, mediante políticas de tarifas diferenciadas na ponta e fra de ponta.

Tabela 2. Custos dos biogás e geração de eletricidade

Tempo de amortização	Custo do biogás (R\$/m ³)	Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 4 horas de operação	Custo da Eletricidade (R\$/MWh), 10 horas de operação
5	0.21	190	138
10	0.13	124	90
15	0.11	103	74
20	0.10	93	67

A Tabela 3 mostra uma comparação entre os custos mínimo e máximo do biogás frente a outras formas alternativas de energia. Observou-se que o biogás já é competitivo em relação a energia solar e até a geração a diesel. Outra forma de aproveitamento do biogás seria sua utilização em micro turbinas, mas as mesmas apresentam um custo elevado e o seu tempo de vida operando com biogás ainda é baixo.

Tabela 3. Comparação entre os custos mínimo e máximo do biogás frente a outras formas alternativas de energia

Sistema	Energia (R\$/MWh)
Biogás	67 a 190
Fotovoltaico	200 a 400
Eólico	50 a 80
Biomassa	40 a 70
Motor Diesel	100 a 300
Micro Central Hidrelétrica	20 a 40

Fonte: Ministério de Minas e Energia – Prodeem (1999)

A Figura 1 abaixo mostra o tempo de retorno do investimento no sistema de geração de energia elétrica proposto para operar 10 horas por dia em função da tarifa de energia paga pelo produtor rural, quanto maior o valor da tarifa menor o tempo de retorno do investimento, no caso da Mesoregião Oeste do Paraná, onde a tarifa cobrada pela concessionária local está em torno de R\$130.00/MWh, o tempo de retorno é de 5,4 anos.

O biogás seria apenas um subproduto gerado pelo processo de tratamento do resíduo da suinocultura, o qual quando aproveitado permite ao produtor rural tornar-se auto suficiente em energia elétrica e pagar o capital investido num sistema de tratamento de resíduos. O biofertilizante produzido no biodigestor, quando aproveitado poderia reduzir ainda mais o tempo de retorno do investimento, viabilizando ainda mais a proposta de implantação de biodigestores como forma de saneamento rural.

Uma outra vantagem, no aproveitamento do biogás, é o fato do metano ser um gás que contribui para o efeito estufa mais intensamente que o dióxido de carbono e sua queima para geração de energia contribui para a redução de seu efeito como tal.

Se o sistema operar somente durante o horário de ponta (4 horas) o tempo de retorno do investimento para uma tarifa fixa seria maior (Ver Figura 1). Com a tarifa a R\$ 130/MWh, o tempo de retorno seria de 9,1 anos. Para que o tempo de retorno fosse de 4 anos a tarifa deveria ser de R\$ 220/MWh, cobrada na ponta.

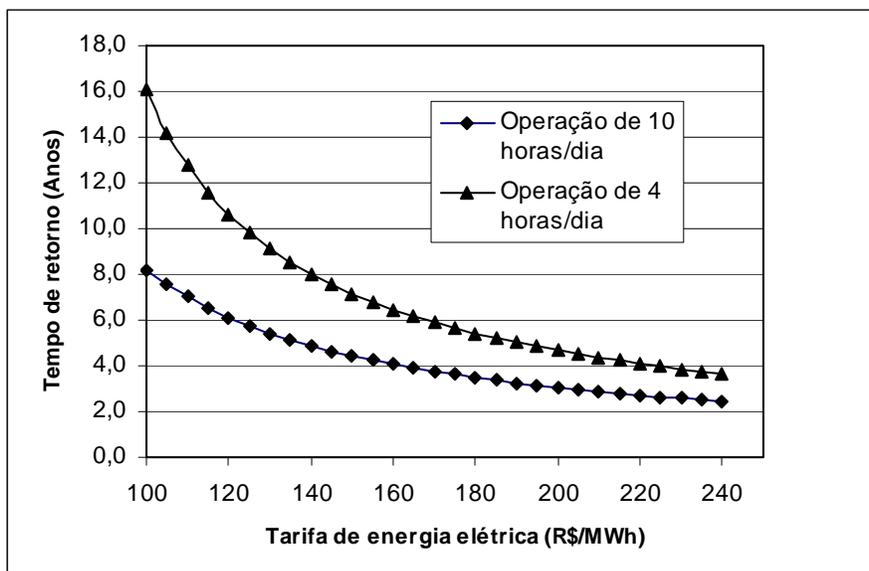


Figura 1. Tempo de retorno de investimento em sistema de geração

Conclusões

Por meio das análises dos resultados foi possível observar que a viabilidade do sistema depende da tarifa paga pelo proprietário rural a concessionária local de energia.

O conjunto motor gerador pode ser utilizado na ponta com um custo do biogás de R\$ 190.00/MWh (tempo de amortização de 5 anos), utilizando biogás a um custo de R\$ 0.21/m³. Na base (10 horas diárias) o custo encontrado foi de R\$ 190.00/MWh.

O retorno do investimento depende da tarifa de energia paga pelo produtor e da disponibilidade da planta, para uma tarifa de R\$ 190.00/MWh e a planta operando 10 horas/dia, o retorno seria de 5,4 anos, o que é razoável.

Palavras – Chave

Biomassa, Energia Renovável, Biocombustível

Agradecimentos

Agradeço ao CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico) pelo apoio financeiro para a realização desta pesquisa, segundo o processo: 478601/01-8.

Referências bibliográficas

CCE - Centro para Conservação de Energia. Guia Técnico do Biogás. Ed. JE92 Projectos de Marketing Ltda, Algés, Junho, 2000

COPPINGER, E. R. & HERMANSON **Operation of 390 m³ digester at the Washington Dairy Farm** ASAE Paper nº 78-4566, 1978.

DAGNALL, STEVE **Resource Mapping and Analysis of farm Livestock Manures – Assessing the opportunities for Biomass to Energy Schemes** Bioresource Technology, n. 71 p.225-234 Elsevier Science B. V. 2000

ELETROBRAS **Plano Nacional de Energia Elétrica 1993-2015**. Estudos Básicos Volume III Projeto 4. A oferta de Energia Elétrica. Biomassa Floresta, 1994

FISCHER, GUNTHER; SCHRATTENHOLZER, LEO **Global Bioenergy Potentials through 2050. Biomass and Bioenergy nº 20** p.151-159 Elsevier Science B. V. 2001

HALL, D. O; WOODS, J **Biomass utilization in Households and Industry: Energy use and development** Ed. 29 Florida Chemosphere p.1099-1119, 1994

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – AEB, 1997.

KOELSCH, R. & JEWELL, W. **Cogeneration of Electricity and Heat from Biogas** ASAE Paper nº 82-3621, 1982.

LA FARGE, B. **Le Biogaz – Procédés de Fermentation Méthanique**, Paris, Masson 1979

MASRI, M. R. **Changes in Biogás Production due to Different Ratios of Some Animal and Agricultural Wates** Bioresource Technology, Elsevier Science, p. 97-100, 2001

OWEN, W.F. Bioassay for Monitoring Biochemical Methane Potential And Anaerobic Toxicity. In: Water Research, 1979, vol. 13, p 485.

ROSILLO-CALLE, F. The Role Of Biomass Energy In Rural Development, In: 3o Encontro de Energia no Meio Rural – AGRENER/2000, UNICAMP, 2000, Campinas-SP.

SIEBENMORGEN, T. J.; SCHULTE, D. D.; BALLARD, J. L. **Integration of a Cogeneration System into a Swine Operation: 1. Model Development and System Description.** In: Transactions of the Asae (American Society of the Agricultural Engineers), v. 31, p. 1556-1565, September-October 1988.

RAJABAPAI AH, P. **Biogás Eletricidade – The Pura Village Case Study** 1993

SPEECE, R. E. Anaerobic Biotechnology For Industrial Wastewaters. Archae Press, Nashville, 1996, Tennessee.

STAHL, J. R. FISCHER ; F. D. HARRIS & C. E. DUNLAP **An Internal Combustion Engine fueled with Biogas Integrated into an Ethanol Plant.** ASAE Paper nº MCR 81-202, 1981.

STAISS, C.; PEREIRA, H. **Biomassa Energia Renovável na Agricultura e no Setor Florestal** Instituto Superior de Agronomia, Portugal, Revista Agros n. 01 pp. 21-28, 2001

