

# ANÁLISE ECONÔMICA DO BIODIGESTOR PARA APROVEITAMENTO DOS DEJETOS DA CAPRINOCULTURA NA AGRICULTURA FAMILIAR NORDESTINA<sup>1</sup>

Danilo Gusmão de Quadros<sup>2</sup>, André de Paula Moniz Oliver<sup>3</sup>, Ueliton Regis<sup>4</sup> & Renata Valladares<sup>3</sup>

**RESUMO:** A caprinocultura é uma importante atividade para agricultura familiar no nordeste brasileiro. Nessa região há utilização extensiva da lenha para cocção, enquanto a aquisição do gás liquefeito de petróleo (GLP) representa um dispêndio significativo no orçamento doméstico. O objetivo deste trabalho foi de realizar a análise econômica do biodigestor de geomembrana de cloreto de polivinila (PVC) para aproveitamento dos dejetos de aproximadamente 50 caprinos em uma propriedade da agricultura familiar em Cacimba do Silva (Juazeiro, Bahia), de 2006 a 2008. Como benefícios econômicos foram considerados três situações: A = biogás em substituição ao GLP; B = A + biofertilizante em substituição aos adubos sintéticos; C = A + B + crédito de carbono. A produção anual do biogás correspondeu à economia em GLP de R\$ 539,75. O biofertilizante equivaliu a R\$ 425,15 em adubos sintéticos. Os créditos de carbono foram estimados em R\$ 211,99. Nas situações A, B e C a relação benefício:custo foi, respectivamente, de: 1,73; 2,95 e 3,56. Numa simulação de financiamento com taxa de juros de 5,5% a.a. e pagamento gerado pela situação A, o período de recuperação econômica do capital seria de 7 anos. Em 10 anos, o lucro seria de R\$ 1.840,80; 6.092,36 e 8.212,26, nas situações A, B e C, respectivamente; valores considerados bem razoáveis ao deixar de adquirir produtos externos a propriedade, resultando em maior segurança energética e alimentar da população mais carente que vive no campo.

**PALAVRAS-CHAVE:** biofertilizante, biogás, créditos de carbono.

## ECONOMIC ANALYSIS OF PLUG-FLOW ANAEROBIC DIGESTER TO TAKE ADVANTAGE OF GOAT MANURE IN NORTHEASTERN SMALLHOLDER FARM<sup>1</sup>

**ABSTRACT:** Goat raising is an important activity for smallholder farms in Northeastern Brazil. In this region there is an extensive utilization of wood for cooking, while liquefied petroleum gas (LPG) represents significant expense in domestic budget. The objective of this work was to elaborate an economic analysis of plug-flow digester to take advantage of manure about 50 goats in a smallholder farm in Cacimba do Silva (Juazeiro, Bahia, Brazil), from 2006 to 2008. As economic benefits were considered three situations: A = biogas in substitution to LPG; B = A + biofertilizer in substitution of synthetic fertilizers; C = A + B + carbon credits. The annual production of biogas corresponded for saving in LPG of R\$ 539.75. Biofertilizer was equivalent to synthetic fertilizer in R\$ 425.15. The carbon credits were estimated in R\$ 211.99. In A, B, and C situations, the benefit:cost ratio was, respectively, of: 1.73; 2.95; and 3.56. In loan simulation with interest rate of 5.5% per year and payment from situation A, the payback was at 7<sup>th</sup> year. After 10 years, the profit was R\$ 1,840.88; 6,092.36, and 8,212.26, in A, B, and C situations, respectively; amount considered feasible in avoiding purchasing products from outside the propriety, resulting in increases in the energetic resources and food security for the poorest regions.

**KEYWORDS:** biofertilizer, biogas, carbon credit.

<sup>1</sup> Financiado pelo CNPq e USAID

<sup>2</sup> Docente da Universidade do Estado da Bahia. Campus IX. Faculdade de Engenharia Agrônômica. Núcleo de Estudo e Pesquisa em Produção Animal. Research Scholar at University of Florida. Website: www.neppa.uneb.br. E-mail: uneb\_neppa@yahoo.com.br

<sup>3</sup> Instituto Winrock Internacional. E-mail: aoliver@winrock.org

<sup>4</sup> Pesquisador da Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola. E-mail: uregis@ebda.ba.gov.br

## 1 INTRODUÇÃO

Na região Nordeste concentram-se 93% das 9 milhões de cabeças do rebanho nacional de caprinos (IBGE, 2011). Essa região abrange uma área total de 166,2 milhões de hectares, dos quais 95,2 milhões (57 %) estão inseridos na zona semiárida. As microrregiões geográficas de Juazeiro (BA), Euclides da Cunha (BA), Alto Médio Canindé (PI), Campo Maior (PI), São Raimundo Nonato (PI), Petrolina (PE) destacam-se como principais produtoras de caprinos. No aspecto de densidade animal, as microrregiões Cariri Ocidental (PB) e Itaparica (PE) destacam-se como as mais importantes (IBGE, 2011).

Cerca de 50% dos caprinos do Nordeste são criados em propriedades com menos de 30 ha (BRASIL, 2006). Logo, a caprinocultura é uma das principais alternativas sócio-econômicas, com grande relevância para a agricultura familiar.

Somando-se os caprinos e ovinos do nordeste, com uma estimativa de produção fecal diária de 2kg, resultaria anualmente em mais de 12 milhões de toneladas de estrume. Sem tratamento adequado, os dejetos podem causar danos à população e ao meio ambiente (OLIVEIRA; DUDA, 2009; SIMAS; NUSSIO, 2001; VIVIAN et al., 2010).

Nesse contexto, um grave problema enfrentado pelos agricultores nordestinos é a escassez de fontes energéticas para fins produtivos, cocção, resfriamento, aquecimento e iluminação (QUADROS, 2009). A lenha é a mais comum fonte de calor utilizada na cozinha. No estudo de Quadros (2010) em assentamentos de reforma agrária na Bahia, a lenha foi o combustível mais usado, alimentando fogões em 76% das residências. Em 2004 o setor residencial consumiu cerca de 26 milhões de toneladas de lenha e o consumo tem crescido nos últimos anos pelo aumento dos custos do seu substituto direto, o gás liquefeito de petróleo (GLP) (GOLDEMBERG; LUCON, 2007). A disponibilidade dos combustíveis mais limpos para cocção (querosene, GLP e gás natural) é intermitente, além de serem relativamente mais caros do que a lenha disponível nessas áreas. Essa situação é agravada pela condição sócio-econômica precária e o baixo poder aquisitivo da população.

A eficiência de um fogão a lenha é frequentemente menor do que 10% e a queima incompleta dos combustíveis tradicionais gera, além do gás dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ), o monóxido de carbono (CO), óxido de nitrogênio ( $\text{NO}_x$ ), óxido nítrico ( $\text{N}_2\text{O}$ ), metano ( $\text{CH}_4$ ), compostos orgânicos não-metânicos e substâncias particuladas em suspensão (SANGA, 2004). A concentração dos gases poluentes em ambientes fechados com a queima da lenha é maior do que os níveis indicados pela Organização Mundial de Saúde, aumentando o risco das infecções respiratórias agudas e crônicas e outras doenças tais como o câncer, catarata, asma e a tuberculose, as quais estão entre as quatro maiores causas de doenças e de mortes nos países em desenvolvimento (PO et al., 2011).

O GLP, além de ser derivado de uma fonte de energia não renovável, representa um dispêndio proporcional de recurso financeiro significativo no orçamento doméstico dos agricultores familiares.

A utilização de biodigestores contribui para integração e sustentabilidade das atividades agropecuárias, aproveitando o dejetos, o qual normalmente é dado pouco, ou mesmo nenhum valor comercial, convertendo-o em duas grandes fontes de desenvolvimento: energia (biogás) e adubo (biofertilizante) (QUADROS, 2009; SMITH et al., 2011).

O biogás para a cocção é o combustível mais limpo de todos, seguido pelo GLP e querosene em fogão pressurizado, conforme a escada energética de Sanga (2004). A utilização do biogás, seja para geração de energia térmica ou elétrica, é viável, tanto no aspecto técnico, quanto financeiro, pois existem equipamentos desenvolvidos para serem utilizados com essa fonte energética e os custos com a aquisição e manutenção são compensados em curto prazo (CARVALHO; NOLASCO, 2006).

Além do biogás, o aproveitamento dos dejetos nos biodigestores resulta no biofertilizante, valioso adubo orgânico que aumenta a produção de alimentos e forragens em uma região tão marcada pela insegurança alimentar (QUADROS, 2009). A sua aplicação contribui de forma extraordinária no restabelecimento do teor de húmus do solo, melhorando suas propriedades químicas e físicas, além de aumentar a atividade microbiana do solo, que tem importante papel na sua estruturação e fixação de nitrogênio atmosférico (COMASTRI FILHO, 1981).

O Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) foi criado pela Conferência das Partes da Convenção-Quadro das Nações Unidas sobre Mudanças do Clima como uma maneira de ajudar os países a cumprirem as metas do Protocolo de Quioto. Consiste na implantação de um projeto em um país em desenvolvimento com o objetivo de reduzir as emissões de gases do efeito estufa (GEE) e contribuir para o desenvolvimento sustentável local. Cada tonelada de dióxido de carbono ( $\text{CO}_2$ ) equivalente deixada de ser emitida ou retirada da atmosfera se transforma em uma unidade de crédito de carbono, que poderá ser negociada no mercado mundial. Na queima do biogás, o metano ( $\text{CH}_4$ ) presente é convertido em  $\text{CO}_2$ , de 21 a 23 vezes menos danoso à atmosfera, gerando créditos de carbono (CARVALHO; NOLASCO, 2006; BONFANTE, 2010).

A biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos foi tecnicamente comprovada por Amorim et al. (2004) em biodigestores de bancada em laboratório. Na prática, o processo foi desenvolvido, sistematizado e monitorado no estudo de Quadros et al. (2010), no qual o biodigestor de PVC flexível demonstrou viabilidade técnica em condições de Estação Experimental.

Contudo, a replicação dessa tecnologia social tem sido mínima, provavelmente pela escassez de trabalhos de validação diretamente na agricultura familiar. O objetivo deste trabalho foi elaborar o estudo de caso da análise econômica de viabilidade da implantação de um biodigestor contínuo de PVC flexível para aproveitamento de dejetos de caprinos na agricultura familiar do semiárido, considerando três cenários de benefício financeiro: biogás; biogás e biofertilizante; biogás, biofertilizante e crédito de carbono.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

Os dados utilizados na análise econômica foram de um biodigestor contínuo modelo canadense, ou da marinha, com tanque e gasômetro em geomembrana de PVC, o qual foi instalado em uma propriedade de agricultura familiar no distrito de Cacimba do Silva, Juazeiro-BA, no semiárido brasileiro, objetivando validar a tecnologia e servir de modelo para outras comunidades.

Em novembro de 2006, o biodigestor foi instalado para validação dessa tecnologia social e ambientalmente correta na agricultura familiar (Figura 1), servindo de modelo para outras comunidades rurais, fruto da parceria da Universidade do Estado da Bahia (UNEB), Instituto Winrock International (ONG), Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola (EBDA), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e *United States Agency for International Development* (USAID). Essa iniciativa foi parte do projeto “Biodigestão de dejetos da caprino-ovinocultura na agricultura familiar”, ação direcionada do PROVICAPRI-PROGRAMA DE OVINO-CAPRINOCULTURA DA BAHIA e do PROGRAMA RENOVA BAHIA, ambos lançados pela UNEB, que divulga os benefícios do biodigestor como Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e inovação

tecnológica no sertão nordestino, atendendo comunidades carentes que vivem no campo (QUADROS, 2009).

Antes da instalação do biodigestor, foi fundamental o treinamento dos produtores, para, em seguida, realizar a escavação e colocação da manta. O monitoramento foi realizado para averiguar *in locu* os benefícios da instalação desse equipamento durante 2 anos.

A família era composta por 5 pessoas: marido, mulher e três filhos de até 10 anos de idade. O homem tinha uma liderança na associação local, atento a projetos que beneficiassem a comunidade. Possuíam uma área de 25 ha, predominantemente com caatinga, capim buffel, mandioca e o cultivo típico de milho e feijão. Basicamente viviam da caprinocultura e de programas sociais (Bolsa Família). Possuíam energia elétrica, água de adutora do Rio São Francisco, um fogão a lenha e outro a GLP, geladeira e TV com antena parabólica. O nível educacional formal era de semianalfabetismo dos pais, enquanto os filhos frequentavam a escola.

O biodigestor foi dimensionado para um rebanho de 50 matrizes que ficava preso à noite no aprisco, chamado por eles de chiqueiro. O tanque para alocação do equipamento, na forma de um prisma cuja base é um trapézio isósceles, media aproximadamente 8,0 m<sup>3</sup>, com dimensões de: 5 m de comprimento superior e 4 m de comprimento inferior por 1,2 m de profundidade, base menor e maior de 1,0 e 2,0 m, respectivamente. As caixas de entrada e de saída foram construídas em alvenaria com canos de PVC rígido de 150 mm, medindo 1 x 1 x 0,8 m de largura, comprimento e profundidade, respectivamente. O dimensionamento foi realizado utilizando a equação 1.



**Figura 01** – Biodigestor de geomembrana de PVC instalado na agricultura familiar em Cacimba do Silva, microrregião de Juazeiro, Bahia (2007).





$$TB = (PFD+TD) \times NA \times TRH \quad (1)$$

Em que:

$TB$  = tamanho do biodigestor, em  $m^3$

$PFD$  = produção fecal diária em kg;

$TD$  = taxa de diluição;

$NA$  = Número médio de animais;

$TRH$  = tempo de retenção hidráulica, em dias.

Foi utilizada a estimativa da PFD de 0,5 kg/animal, com base em trabalhos anteriores (QUADROS et al., 2010). A taxa de diluição utilizada foi de 4 partes de água para uma parte de esterco. O TRH utilizado no cálculo de dimensionamento foi de 45 dias.

No manejo diário dos dejetos, primeiro eram retirados os paus e pedras do aprisco de chão batido no qual os animais passaram as noites; em seguida, o esterco foi obtido por varreção, com cuidado para não trazer terra. Após colocado na caixa de entrada, o esterco foi diluído, mantendo-o em imersão por 24 h, para amolecimento. No dia seguinte, as cibalas (fezes duras às bolas) sobrenadantes eram recolhidas com o auxílio de uma rede de metal ou pá, e eram amassadas com a ajuda de um pilão adaptado. Isso foi facilitado com a divisão da caixa de entrada em dois compartimentos interligados na parte inferior. No segundo compartimento, o aflente tinha acesso ao biodigestor. Esse procedimento de manejo foi fundamental, haja vista que as cibalas integrais podem se acumular na superfície do conteúdo interno do biodigestor, formando uma crosta não fermentada e impedindo a produção de biogás.

O biogás foi usado como substituinte ao GLP e lenha, sendo a base para processamento de alimentos tradicionais. Com o combustível abundante para queima, o leite de cabra passou a ser processado na fabricação caseira de doce de leite tipo “cocada” e pastoso, iogurte e queijo; o umbu, fruta nativa que não era aproveitada, passou a ser transformada em doce, bem como algumas frutas exóticas, como o mamão e goiaba, tiveram o mesmo destino. O biofertilizante incentivou o plantio do capim Tifton irrigado, palma forrageira, milho, pomar de frutas diversificadas e uma horta.

Os custos utilizados foram reais, relativos à aquisição dos materiais e equipamentos necessários (Tabela 1). A manta representou 60% do custo total de implantação. A mão-de-obra envolvida na escavação e instalação do equipamento foi familiar, na forma de mutirão da comunidade, sem ônus. Entretanto, esse item foi considerado, caso isso não seja possível na replicação da tecnologia, equivalente a 11,5% do total.

**Tabela 01** - Custo da implantação de um biodigestor em geomembrana de PVC para aproveitamento dos dejetos de 50 caprinos na agricultura familiar (Juazeiro, 2006).

| Item                   | Valor (R\$) |
|------------------------|-------------|
| Manta                  | 2.100,00    |
| Válvula                | 200,00      |
| Frete                  | 250,00      |
| Tubulação              | 150,00      |
| Alvenaria              | 400,00      |
| Escavação e instalação | 400,00      |
| Custo total            | 3.500,00    |

Os benefícios financeiros foram estimados utilizando os dados da produção de biogás e da composição do biofertilizante obtidos por Quadros et al. (2010). Segundo esses autores, a produção média de biogás foi de 0,061  $m^3$  por kg de esterco e a composição do biofertilizante foi de 0,64; 0,03; e 2,1  $g L^{-1}$ , de nitrogênio (N), fósforo (P) e potássio (K), respectivamente. A produção anual de biogás foi convertida em GLP, considerando que 33  $m^3$  de biogás equivalem a 1 botijão de 13 kg de GLP (QUADROS, 2009), com valores do mercado local, sem o transporte até a propriedade, que muitas vezes é um obstáculo para comunidades longínquas. A quantidade anual de biofertilizante foi comparada aos adubos sintéticos em relação à concentração de nutrientes, obtendo-se os preços no mercado local sem frete.

Para análise econômica, utilizou-se um modelo matemático adaptado de Neibergs et al. (2012), no qual o lucro é em função da receita diária menos os custos operacionais variáveis diários e do custo fixo anual, como mostra a equação 2.

$$\sum_t^T \sum_i^n R_{it} P_{it} - \sum_j^m VC_{jt} - FC \quad (2)$$

Em que:

$t$  = um dia somado ao longo do ano;

$T = 365$ ;

$i$  = variável de cada fonte de receita gerada ( $R_{it}$ ), de 1 até  $n$ ;

$P_{it}$  = preço de cada fonte de receita;

$VC_{jt}$  = custos variáveis diários para cada fator de custo variável  $j$ ;

$FC$  = custo fixo.

Na análise de relação benefício:custo, considerou-se a depreciação do custo fixo do investimento em 10 anos de vida útil.

Os custos de manutenção do equipamento foram considerados nulos, bem como a mão-de-obra envolvida na operação do equipamento, entendendo que o beneficiário possuía estrutura de agricultor familiar, com mão-de-obra pessoal.

Foram consideradas três formas de benefícios:

- situação A = considerando apenas o benefício do biogás, comparado ao GLP;
- situação B = soma do benefício da situação A mais o do biofertilizante, comparado aos adubos sintéticos;
- situação C = benefício da situação B mais os créditos de carbono.

Nos benefícios funcionais com os créditos de carbono, não foram considerados os custos da validação, verificação e certificação. Basearam-se na adaptação do modelo de Aguilar e Botero (2006), utilizando-se, para os cálculos dos créditos de carbono o modelo de Carvalho e Nolasco (2006).

Apesar do recurso financeiro para implantação do projeto ser subsídio não reembolsável (fundo perdido), foi realizada a análise de um eventual empréstimo de capital de um banco oficial de fomento à agricultura familiar, com taxas de juros de 5,5% a.a. e prazo de 10 anos, considerando as situações A, B e C. Todavia, para o pagamento ao banco considerou-se apenas o recurso financeiro da economia de deixar de adquirir o GLP.

Os dados foram tabulados no programa Excel<sup>®</sup> (Microsoft), o qual foi utilizado no cálculo da relação benefício:custo e na análise do resultado econômico do financiamento por bancos de fomento à agricultura familiar.

A agregação de valor aos produtos tradicionais e o valor da produção de alimentos não foram considerados nesta análise, apesar de, na prática, trazer um resultado financeiro consideravelmente bem maior, além de melhorar a logística e aumentar a conservação dos produtos na forma de doces e derivados lácteos.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A produção de biogás mensal de 45,6 m<sup>3</sup> (1,52 m<sup>3</sup> dia<sup>-1</sup>) foi equivalente a 1,4 botijão de 13 kg de GLP, que no ano correspondeu a 16,9 botijões de GLP, multiplicado pelo valor de cada botijão a R\$ 36,00 resultou em R\$ 607,23 (Tabela 2).

A produção mensal de biogás de 45,6 m<sup>3</sup> convertida em eletricidade, em uma eficiência de 5,5 kWh (m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> de biogás, segundo Magalhães et al. (2004), resultaria em 250 kWh mês<sup>-1</sup>, ou 3.000 kWh ano<sup>-1</sup>, que daria R\$ 0,12 por kWh produzido, sem contar o custo da conversão. O tempo de retorno do investimento no sistema de geração de energia elétrica usando biogás como combustível de motor-gerador, em operação por 10 horas por dia, varia em função da tarifa para o produtor rural. Quanto maior

o valor da tarifa, menor o tempo de retorno do investimento (SOUZA et al., 2004).

**Tabela 02** - Análise da relação benefício:custo da implantação do biodigestor de geomembrana de PVC para aproveitamento dos dejetos de 50 caprinos, em três situações de benefícios econômicos (Juazeiro, BA, 2008).

| Item  | Valor (R\$) |
|---|-------------|
| -----Benefício Situação A <sup>1</sup> -----  |             |
| ----  |             |
| Valor do biogás                               | 607,23      |
| Benefício total                               | 607,23      |
| Custo fixo <sup>4</sup>                       | 350,00      |
| Lucro   | 257,23      |
| Relação benefício:custo                       | 1,73        |
| -----Benefícios Situação B <sup>2</sup> ----- |             |
| ----  |             |
| Valor do biogás                               | 607,23      |
| Valor do biofertilizante                      | 425,15      |
| Benefícios totais                             | 1.032,38    |
| Custo fixo                                    | 350,00      |
| Lucro   | 682,38      |
| Relação benefício:custo                       | 2,95        |
| -----Benefícios Situação C <sup>3</sup> ----- |             |
| ----  |             |
| Valor do biogás                               | 607,23      |
| Valor do biofertilizante                      | 425,15      |
| Valor funcional                               | 211,99      |
| Benefícios totais                             | 1.244,37    |
| Custo fixo                                    | 350,00      |
| Lucro   | 894,37      |
| Relação benefício:custo                       | 3,56        |

<sup>1</sup> Situação A - benefício do biogás comparado ao GLP.

<sup>2</sup> Situação B - Situação A + biofertilizante comparado aos adubos sintéticos.

<sup>3</sup> Situação C - Situação B + benefícios funcionais dos créditos de carbono.

<sup>4</sup> Custo fixo = depreciação.

O consumo diário de biogás para cocção em uma família com cinco pessoas é estimado em 0,17 m<sup>3</sup>, entretanto para funcionamento de um motor é necessário 0,37 m<sup>3</sup> c.v.<sup>-1</sup> h<sup>-1</sup>, ou seja, para agricultura familiar individualmente, dada a baixa disponibilidade de estrume, a viabilidade seria na substituição do GLP e da lenha. Por outro lado, executando-se uma proposta de manejo coletivo de dejetos, a viabilidade econômica da conversão do biogás em eletricidade por meio de motores geradores adaptados é notável. O custo da conversão do biogás para energia elétrica por meio de conjunto motor gerador foi de R\$ 190,00 MWh (tempo de amortização de 5 anos), sendo R\$ 0,21 por m<sup>3</sup> de

biogás e dez horas diárias de operação (SOUZA et al., 2004).

A utilização do biogás, seja para geração de energia térmica ou elétrica, é viável, tanto no aspecto técnico quanto financeiro, pois existem equipamentos desenvolvidos para serem utilizados com essa fonte energética e os custos com a aquisição e manutenção é compensado em curto prazo, com retorno do capital investido em aproximadamente três anos (CARVALHO; NOLASCO, 2006).

O biogás é o primeiro foco quando se realiza a abordagem do biodigestor para agricultura familiar, seja para cocção, ou para conversão em eletricidade. Entretanto, o coproduto biofertilizante tem extrema relevância na ótica do desenvolvimento humano.

A produção do biofertilizante foi de 125 L dia<sup>-1</sup>, que anualmente totalizou 45.625 L. Convertido nos adubos sintéticos ureia, superfosfato simples e cloreto de potássio, resultariam em 66,0; 17,5 e 202 kg, respectivamente, cujos valores de mercado somaram R\$ 425,15 (Tabela 2). Na integração das atividades agropecuárias com o uso da biodigestão anaeróbia, quando o biofertilizante é bem aplicado, ele adiciona valor aos produtos do biodigestor, agregando benefícios econômicos (JI-QUIN; NYNS, 1996).

O biofertilizante, material oriundo do esterco de caprinos após ser fermentado no biodigestor, pôde ser utilizado de maneira segura na produção de forragem para os animais e de alimentos para as pessoas, aumentando o rendimento agrícola. No Brasil, é frequente a aplicação dos dejetos sem tratamento no campo. Essa prática pode acarretar na “queima” das plantas; poluição ambiental; sequestro de nitrogênio para decomposição da celulose (presente em grande quantidade no esterco), causando deficiência nas plantas; disseminar sementes de plantas daninhas e conter microrganismos patogênicos (QUADROS, 2009).

O biofertilizante apresenta alta qualidade e valor agregado, devido: à redução do teor de carbono do material, pois a matéria orgânica digerida perde carbono na forma de CH<sub>4</sub> e CO<sub>2</sub>; aumento no teor de nitrogênio e demais nutrientes, em consequência da perda de carbono; diminuição da relação carbono/nitrogênio (C/N) da matéria orgânica, que melhora a utilização agrícola; maior facilidade da utilização do biofertilizante pelos microrganismos do solo, devido ao avançado grau de decomposição; e solubilização parcial de alguns nutrientes, deixando-os mais facilmente disponíveis às plantas (COMASTRI FILHO, 1981; FREGOSO et al., 2001). Ele também pode ser utilizado no controle de pragas e doenças de culturas agrícolas (BRETON et al., 2004).

Segundo Ji-Quin e Nyns (1996), importantes serviços do ecossistema são alcançados através da implantação dos

biodigestores em comunidades rurais, dentre eles, o sequestro de carbono, a melhoria da qualidade de água e o aumento da produção de alimentos são considerados de alta relevância. Os benefícios ambientais do biodigestor incluem: a redução de poluentes locais, a redução do desmatamento para produção de lenha como combustível e o sequestro de carbono, tanto na substituição de combustíveis fósseis, quanto na aplicação no solo do biofertilizante (LANTZ et al., 2007).

A queima do biogás, com a consequente destruição do metano, também proporciona um benefício funcional relevante na ótica ambiental. Em grandes projetos de MDL em granjas suinícolas, esse benefício mensurado e devidamente validado tem sido utilizado para financiar a instalação do equipamento, pois tem viabilidade econômica comprovada (BONFANTE, 2010). Contudo, em projetos pequenos, como o deste trabalho, o benefício funcional também foi estimado.

A produção de biogás anual de 556,6 m<sup>3</sup>, multiplicados pela sua densidade de 0,97 kg (m<sup>3</sup>)<sup>-1</sup> e pela concentração de metano presente (58%, segundo Quadros et al., 2010), geraram 313,1 kg de CH<sub>4</sub> por ano. Se na queima do biogás o metano reduz 20 vezes seu poder como gás do efeito estufa (GEE), somados a redução do óxido nitroso de 309 vezes, resultariam em 29 t de CO<sub>2</sub> eq., que, caso comercializados na Bolsa do Clima de Chicago a R\$ 7,31 t<sup>-1</sup>, renderiam em funcionalidade R\$ 211,99, cerca de 17% dos benefícios totais (Tabela 2). Entretanto, somente com uma replicação massal dessa tecnologia social seria possível a validação, aprovação e registro para comercialização de créditos de carbono certificados.

Nas diferentes situações, a relação benefício:custo foi positiva, variando de 1,73 a 3,56 (Tabela 2). Avaliando a capacidade de pagamento do capital investido (custo total/benefício total), foram obtidos 5 anos e 9 meses; 3 anos e 5 mês; e 2 anos e 6 meses, nas situações A, B e C, respectivamente.

As três situações de benefícios consideradas neste trabalho foram submetidas à análise econômica do investimento em um período de 10 anos. Nessa simulação, o pagamento anual foi gerado pela economia da substituição do GLP pelo biogás, até a quitação do investimento. Houve pagamento integral do investimento e retorno econômico em todas as situações estudadas (Tabela 3).

O período de recuperação econômica do capital (*payback*) foi de 7 anos (Tabela 3), muito próximo do obtido por Zanin et al. (2010), analisando biodigestores para suinocultura com a receita obtida de uma empresa frigorífica que paga o combustível para queima, visando à realização da etapa de flambagem (*chamuscagem*) no abate dos suínos.

**Tabela 03** - Análise econômica do investimento, num período de 10 anos, em três situações de benefício econômico (expressa em R\$) do biodigestor de geomembrana de PVC para aproveitamento dos dejetos de 50 caprinos (Juazeiro, BA, 2008).

|                                     | Ano      |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                     | 1        | 2        | 3        | 4        | 5        | 6        | 7        | 8        | 9        | 10       |
| ----- Situação A <sup>1</sup> ----- |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Valor total                         | 3.500,00 | 3.067,77 | 2.613,93 | 2.137,40 | 1.637,05 | 1.111,67 | 560,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Juros (%)                           | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Valor ajustado                      | 3.675,00 | 3.221,16 | 2.744,63 | 2.244,27 | 1.718,90 | 1.167,26 | 588,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Benefício                           | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   |
| Pagamento                           | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 588,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Saldo                               | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 0,00     | 19,20    | 607,23   | 607,23   | 607,23   |
| ----- Situação B <sup>2</sup> ----- |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Valor total                         | 3.500,00 | 3.067,77 | 2.613,93 | 2.137,40 | 1.637,05 | 1.111,67 | 560,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Juros (%)                           | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Valor ajustado                      | 3.675,00 | 3.221,16 | 2.744,63 | 2.244,27 | 1.718,90 | 1.167,26 | 588,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Benefício                           | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 |
| Pagamento                           | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 588,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Saldo                               | 425,15   | 425,15   | 425,15   | 425,15   | 425,15   | 425,15   | 444,35   | 1.032,38 | 1.032,38 | 1.032,38 |
| ----- Situação C <sup>3</sup> ----- |          |          |          |          |          |          |          |          |          |          |
| Valor total                         | 3.500,00 | 3.067,77 | 2.613,93 | 2.137,40 | 1.637,05 | 1.111,67 | 560,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Juros (%)                           | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 5,50     | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Valor ajustado                      | 3.675,00 | 3.221,16 | 2.744,63 | 2.244,27 | 1.718,90 | 1.167,26 | 588,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Benefício                           | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 |
| Pagamento                           | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 607,23   | 588,03   | 0,00     | 0,00     | 0,00     |
| Saldo                               | 637,14   | 637,14   | 637,14   | 637,14   | 637,14   | 637,14   | 656,34   | 1.244,37 | 1.244,37 | 1.244,37 |

<sup>1</sup> Situação A - benefício do biogás comparado ao GLP.

<sup>2</sup> Situação B - Situação A + biofertilizante comparado aos adubos sintéticos.

<sup>3</sup> Situação C - A + B + benefícios funcionais dos créditos de carbono.

O biodigestor gerou na situação A, ao longo de 10 anos, um saldo positivo de R\$ 1.840,88. No mesmo período, foram gerados 6.092,36 e 8.212,26 quando somados os benefícios do biofertilizante (situação B) e do crédito de carbono (situação C), respectivamente (Tabela 3).

Os resultados obtidos neste trabalho foram superiores aos observados por Klavon et al. (2013), avaliando biodigestores para pequenos produtores no norte dos Estados Unidos (100 a 250 vacas). Segundo esses autores, nenhum biodigestor apresentou fluxo de caixa positivo, considerando a taxa de juros de 8% ao ano e prazo de 20 anos. É necessário frisar que o modelo de biodigestores utilizado no norte dos Estados Unidos necessita de aquecimento, com equipamentos mais sofisticados, que resultam em maior custo inicial, estimado por Shelford (2012) de R\$ 2.500 a R\$ 5.000 por vaca. Por outro lado, na parte tropical do Brasil, notadamente nas regiões Centro-Oeste, Norte e Nordeste, as condições de temperatura naturalmente favorecem a fermentação da biomassa pelas bactérias psicrófilas e mesófilas que, juntamente com as baixas taxas de juros de empréstimos praticadas pelos bancos de fomento federais para agricultura familiar, levam a uma vantagem competitiva muito grande em relação a países de clima temperado.

Como exemplo, na China e na Índia existem milhares de biodigestores de pequena escala, atestando que essa é uma tecnologia perfeitamente aplicável para pequenos projetos, trazendo soluções energéticas locais, numa visão de integração das atividades humanas e agrícolas. Todavia, na América Latina faltam difusão de informação tecnológica e assistência técnica gratuita no campo, nos aspectos quantitativos e qualitativos, bem como há ausência de políticas públicas específicas para incentivo da introdução e replicação dos biodigestores na agricultura familiar, comprovada pelo diminuto número de equipamentos em funcionamento.

Num estudo com quase 10 mil micro fazendeiros no Quênia em uma região, onde desde a década de 70, tem sido feito um trabalho para adoção de biogás para cocção e iluminação com a implantação de 150 biodigestores, Mwirigi et al. (2009) relataram que a falta de conhecimento é a maior causa para a não adoção de biodigestores (44%), seguida da falta de dinheiro (32%) e outras causas (24%).

Dentre as barreiras para disseminação dos biodigestores como tecnologia de produção de energia renovável para cocção, Quadir et al. (1995) elencaram os aspectos: econômicos (alto investimento, longo *payback*, baixo poder de investimento, alternativas de combustíveis a custo zero, incerteza dos benefícios e pouca



infraestrutura); tecnológicos (tecnologia imatura ou inapropriada à determinada situação, falta de suporte governamental, indisponibilidade de pessoal capacitado, necessidade de organização de trabalho); institucional (dificuldade de obter empréstimo governamental, falta de coordenação das diferentes agências, diferentes prioridades dos tomadores de decisão familiares e pequena transferência de tecnologia); e, finalmente, sócio-cultural (falta de aspirações, relutância em se ajustar as mudanças no estilo de vida, dificuldade de integração com a estrutura social e desarmonia em aceitar valores e ideologia).

Biodigestores de pequena escala têm grande potencial de contribuir para o desenvolvimento sustentável por promover uma larga variedade de benefícios socioeconômicos (MSHANDETE; PARAWIRA, 2009), incluindo a diversificação do suprimento energético e a melhoria das oportunidades de desenvolvimento rural e regional com a criação de indústrias domésticas, aumentando as oportunidades de empregos (RIO; BURGUILLO, 2008; QUADROS, 2009).

Para utilização do biogás no mix que compõe a matriz energética de uma sociedade sustentável, alguns cuidados devem ser observados. Em geral, o biogás não é tóxico, em virtude do baixo teor de monóxido de carbono (inferior a 0,1%), ao contrário do GLP, que apresenta um teor mortal desse gás (20%). Por outro lado, devido às impurezas que contém, o biometano é muito corrosivo, principalmente o sulfureto de hidrogênio ( $H_2S$ ) que, dependendo da concentração, pode atacar cobre, latão e aço. Para teores de  $H_2S$  de 1% (excepcionais nas condições normais de produção), o biogás pode se tornar tóxico e mortal. O gás carbônico, que representa 35% do total de gases presentes no biogás, pode requerer aumento das capacidades de armazenamento e o vapor d'água pode ser corrosivo para as canalizações, depois de condensado. Assim, a purificação do biogás (remoção do  $H_2S$ ) é uma tarefa imperativa no seu uso. A remoção do  $H_2S$  pode ser conseguida com o uso de limalha de ferro oxidado, pois em contato com o oxidado o  $H_2S$  produz  $Fe_2O_3$  (CORTES et al., 2007).

A remoção do  $CO_2$  embora não necessária para muitas atividades de queima do biogás (como em lâmpões, fogões e fornos), pode ser indispensável se o objetivo for a armazenagem do biogás para o seu uso em veículos, ou compressão para engarrafamento. No trabalho de Magalhães et al. (2004), foi estimado que o biogás com 67% de  $CH_4$  teria poder calorífico de  $7,53 \text{ kWh kg}^{-1}$ , enquanto purificado (85% de  $CH_4$ ) de  $11,86 \text{ kWh kg}^{-1}$ . Considerando que 10% de  $CO_2$  na mistura gasosa do biogás representa aproximadamente  $1 \text{ kWh/m}^3$  a menos no poder calorífico, em relação ao metano puro [ $9,9 \text{ kWh (m}^3)^{-1}$ ], esse autores estimaram aumento de 6,6 para  $8,4 \text{ kWh (m}^3)^{-1}$  com a purificação do biogás, o que representa acréscimo de aproximadamente 27% no poder calorífico.

Comparando-se os custos mínimos e máximos de várias fontes de energia, verificou-se que o biogás, além dos

benefícios diretos e indiretos, é competitivo economicamente (SOUZA et al., 2004). Esperancini et al. (2007), avaliando a viabilidade econômica de dois biodigestores do modelo indiano, um para fornecimento de energia elétrica e térmica para cinco domicílios de uma agrovila de assentamento no município de Itaberá - SP, a partir do biogás, e outro para atividades produtivas, comparativamente aos custos de construção e operação, observaram viabilidade econômica na produção de gás em ambos os biodigestores, com benefícios anuais de R\$ 3.698,00 e R\$ 9.080,57, para domicílios e produção, respectivamente; bem como R\$ 1.478,28 referente ao biofertilizante, com custo anual do processo de R\$ 1.218,50 por ano em cada biodigestor. Nesse estudo de caso, os autores obtiveram recuperação do investimento em 2,5 anos e 11 meses, para produção do biogás nos domicílios e na produção, respectivamente.

Em nível familiar, a condição econômica não somente determina a possibilidade de investimento, mas, segundo Ji-Quin e Nyns (1996), também decide a motivação para adoção do biodigestor e para continuar a produção de biogás.

## 4 CONCLUSÃO

✓ O biodigestor apresentou alto potencial de replicação na agricultura familiar nordestina, pois foi viável economicamente com a geração de biogás em quantidade suficiente para substituir o gás de cozinha e lenha, bem como indubitavelmente resultou na produção de um adubo orgânico com alta qualidade intrínseca, capaz de aumentar a produção de alimentos e a receita financeira;

✓ A economia gerada apenas por deixar de adquirir o gás de cozinha foi suficiente para pagar todo o investimento parceladamente, com juros de 5,5% a.a., em 7 anos. Sendo assim, somam-se esforços no intuito de difundir meios de financiamento de biodigestores, sejam reembolsáveis, ou a fundo perdido em condições de extrema pobreza, podendo se constituir na revolução energética no campo.

## 5 REFERÊNCIAS

- AGUILAR, F. X.; BOTERO, R. Los beneficios económicos totales de la producción de biogás utilizando un biodigestor de polietileno de bajo costo. **Tierra Tropical**, Guácimo, v. 2, n. 1, p. 15-25, 2006.
- AMORIM, A. C.; LUCAS JÚNIOR, J.; RESENDE, K. T. Biodigestão de dejetos de caprinos obtidos nas diferentes estações do ano. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 24, n. 1, p. 16-24, 2004.
- BRASIL. Companhia Nacional de Abastecimento. Caprinocultura na Bahia. Brasília, 2006. Disponível em: <[http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/B/A/caprinocultura\\_na\\_bahia.pdf](http://www.conab.gov.br/conabweb/download/sureg/B/A/caprinocultura_na_bahia.pdf)>. Acesso em: 29 mar. 2013.

- BRETON, J.; KARLSSON, M. F.; LA ROCCA, F.; MIRANDA, P. M. S.; POULIOT, M. **Renewable energy sources and technologies on farm systems: focusing on Danish scenario**. Copenhagen: The Royal Veterinary and Agricultural University, 2004. 126 p.
- BONFANTE, T. M. **Análise da viabilidade econômica de projetos que visam à instalação de biodigestores para o tratamentos de resíduos da suinocultura sob as ópticas do Mecanismo de Desenvolvimento Limpo (MDL) e da geração de energia**. 2010. 176 f. Dissertação (Mestrado em Administração de Organizações)-Faculdade de Economia, Administração e Contabilidade, Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2010.
- CARVALHO, T.; NOLASCO, M. A. Créditos de carbono e geração de energia com uso de biodigestores no tratamento de dejetos suínos. **Revista Acadêmica Ciências Agrárias e Ambientais**, Curitiba, v. 4, n. 3, p. 23-32, 2006.
- COMASTRI FILHO, J. A. **Biogás: independência energética do pantanal mato-grossense**. Corumbá: Embrapa, 1981. 53 p. (Circular técnica, 9).
- CORTEZ, L. A. B.; SILVA, A.; LUCAS JUNIOR, J.; JORDAN, R. A.; CASTRO, L. R. Biodigestão de Efluentes. In: CORTEZ, L. A. B.; LORA, E. S. **Biomassa para Energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2007. p. 493-529.
- ESPERANCINI, M. S. T.; COLEN, F.; BUENO, O. 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. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 110-118, 2007.
- FREGOSO, M. J. S.; FERRERA-CERRATO, R.; BARRA, J. E.; GONZÁLEZ, G. A.; SANTOS, J. T.; GÓMEZ, L. B.; PÉREZ, G. P. Produccion de biofertilizantes mediante biodigestion de excreta liquida de cerdo. **Terra**, Chapingo, v. 19, n. 4, p. 353-362, 2001.
- GOLDEMBERG, J.; LUCON, O. Energia e meio ambiente no Brasil. **Estudos Avançados**, São Paulo, v. 21, n. 59, p. 7-20, 2007.
- IBGE. **Efetivo dos rebanhos: cabeças: pesquisa pecuária municipal**. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pecua/default.asp?t=2&z=t&o=24&u1=1&u2=1&u3=1&u4=1&u5=1&u6=1&u7=1>>. Acesso em: 11 jul. 2013.
- JI-QUIN, N.; NYNS, E. New concept for evaluation of biogas management in developing countries. **Energy Conversion and Management**, London, v. 37, n. 10, p. 1525-1534, 1996.
- KLAVON, K.; LANSING, S.; MULBRY, W.; MOSS, A.; FELTON, G. Economic analysis of small-scale agricultural digesters in the United States. **Biomass and Bioenergy**, London, v. 54, n. 1, p. 36-45, 2013.
- LANTZ, M.; MATTIAS, S.; BJORNSSON, L.; BORJESSON, L. The prospects for an expansion of biogas systems in Sweden —incentives, barriers and potentials. **Energy Policy**, London, v.35, n.3, p.1830-1843, 2007.
- MAGALHÃES, E.A.; SOUZA, S. N. M.; AFONSO, A. D. L.; RICIERI, R. P. Confecção e avaliação de um sistema de remoção do CO<sub>2</sub> contido no biogás. **Acta Scientiarum Technology**, Maringá, v. 26, n. 1, p. 11-19, 2004.
- MSHANDETE, A. M.; PARAWIRA, W. Biogas technology research in selected sub-Saharan African countries - A review. **African Journal of Biotechnology**, Nairobi, v. 8, n. 2, p. 116-125, 2009.
- MWIRIGI, J.W.; MAKENZI, P.M; OCHOLA, W.O. Socio-Economic constraints to adoption and sustainability of biogas technology by farmers in Nakuru districts, Kenya. **Energy for sustainable development**, London, v. 13, n. 1, p. 106-115, 2009.
- NEIBERGS, J. S.; HARRISON, J.; WHITEFIELD, E.; DeHART, M. Development and application of an economic anaerobic digester optimization (ADOPT) model. In: GOT MANURE? ENHANCING ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY CONFERENCE, 2012, Liverpool. **Proceedings...** Liverpool: AGStar, 2012. p. 122-126.
- OLIVEIRA, R. A.; DUDA, R. M. Tratamento de águas residuárias de suinocultura em reator anaeróbico operado em batelada sequencial. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, Rio de Janeiro, v. 14, n. 4, p. 533-542, 2009.
- PO, J. Y.; FITZGERALD, J. M.; CARLSTEN, C. Respiratory disease associated with solid biomass fuel exposure in rural women and children: systematic review and meta-analysis. **Thorax**, Vancouver, v. 66, n.1, p.232-239, 2011. doi:10.1136/thx.2010.147884
- RIO, P.; BURGUILLO, M. Assessing the impact of renewable energy deployment on local sustainability: Towards a theoretical framework. **Renewable and Sustainable Energy Reviews**, London, v. 12, n. 11, p. 1325-1344, 2008.
- QUADIR, S. A.; MATHUR, S. S.; KANDPAL, T. C. Barriers to Dissemination of Renewable Energy Technologies for Cooking. **Energy Conversion and Management**, London, v. 36, n. 12, p. 1129-1132, 1995.
- QUADROS, D. G. **Biodigestor na agricultura familiar do semiárido**. Salvador: EDUNEB, 2009. 94 p.

QUADROS, D. G. Perfil energético de comunidades em assentamentos de reforma agrária no estado da Bahia. In: CONGRESSO INTERNACIONAL DE BIOENERGIA, 5., 2010, Curitiba. **Anais...** Curitiba: Porthus, 2010. 1 CD-ROM

QUADROS, D. G.; OLIVER, A. P. M.; REGIS, U.; VALLADARES, R.; SOUZA, P. H. F.; FERREIRA, E. J. Biodigestão anaeróbia de dejetos de caprinos e ovinos em reator contínuo de PVC flexível. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 326-332, 2010.

SANGA, G.A. **Avaliação de impactos de tecnologias limpas e substituição de combustíveis para cocção em residências urbanas na Tanzânia**. 2004. 125 f. Dissertação (Mestrado em Planejamento de Sistemas Energéticos)-Faculdade de Engenharia Mecânica, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2004.

SHELFORD, T. Estimating farm size required to economically justify anaerobic digestion on small dairy farms. In: GOT MANURE? ENHANCING ENVIRONMENTAL AND ECONOMIC SUSTAINABILITY CONFERENCE, 2012, Liverpool. **Proceedings...** Liverpool: AGStar, 2012. p. 192-199.

SIMAS, J. M.; NUSSIO, C. M. B. Reciclagem de nutrientes do esterco tendo em vista o controle da poluição do meio ambiente. In: REUNIÃO ANUAL DA SOCIEDADE BRASILEIRA DE ZOOTECNIA, 38., 2001, Piracicaba. **Anais...** Piracicaba: FEALQ, 2001. p. 383-394.

SMITH, J. U.; BALANA, B. B.; BLACK, H.; BLOTTNITZ, H.; CASSON, E.; GLENK, K.; LANGAN, S.; MATTHEWS, R.; MUGISHA, J.; SMITH, P.; WALEKHWA, P.N.; YONGGABI, K.A. **The potential of small-scale biogas digesters to alleviate poverty and improve long term sustainability of ecosystem services in Sub-Saharan Africa**. Aberdeen: University of Aberdeen, 2011. 57 p. Report DFID NET-RC A06502. Disponível em: <[www.sciforum.net/presentation/587/pdf](http://www.sciforum.net/presentation/587/pdf)>. Acesso em: 09 jul. 2013

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, n. 2, p. 127-133, 2004.

VIVIAN, M.; KUNZ, A.; STOLBERG, J.; PERDOMO, C.; TECHIO, V. H. Eficiência da interação biodigestor e lagoas de estabilização na remoção de poluentes em dejetos de suínos. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 320-325, 2010.

ZANIN, A.; BAGATINI, F. M.; PESSATO, C. B. Viabilidade econômico-financeira de implantação de

biodigestor: uma alternativa para reduzir os impactos ambientais causados pela suinocultura. **Revista Custos e Agronegócio**, Recife, v. 6, n. 1, p. 121-139, 2010.