

BIODIGESTOR ADAPTADO AO SEMI-ÁRIDO NORDESTINO: RESULTADOS E CONCLUSÕES

Paulo Cesar Marques de Carvalho – carvalho@dee.ufc.br

Francisco José Firmino Canafistula – firmino@ufc.br

Universidade Federal do Ceará, Departamento de Engenharia Elétrica

Manuel Rangel Borges Neto – rangel@cefetpet.br

Centro Federal de Educação Tecnológica de Petrolina, Coordenação de Eletrotécnica

7.2 Biocombustíveis e Biogás

Resumo. *O presente artigo apresenta os resultados de pesquisa envolvendo um novo modelo de sistema produtivo de criação de caprinos que utiliza parte dos dejetos destes animais para a produção de biogás; o biogás produzido é utilizado como combustível primário no bombeamento de água para irrigação do pasto deste rebanho. Para a viabilização do manejo, foram utilizadas cercas eletrificadas a partir de um sistema fotovoltaico. Além dos resultados positivos de sustentabilidade, foram desenvolvidas soluções inovadoras para o dimensionamento, a otimização e a redução de custos da utilização de biodigestores em pequenas comunidades rurais no semi-árido nordestino.*

Palavras - chave: *Biodigestor, Biogás, Desenvolvimento Sustentável.*

1. INTRODUÇÃO

A criação de animais na região semi-árida nordestina remonta do período colonial e decorreu em sua fase inicial da necessidade de suprir as necessidades de alimentos das populações litorâneas. No século XVIII, a pecuária atingiu seu período áureo, atribuindo-se o sucesso do modelo, em grande parte, à fertilidade natural dos solos, à lotação animal adequada e à rotação de pastagens. O sistema mantinha em equilíbrio a exploração econômica com o meio ambiente.

Com o crescimento da demanda de alimentos e matérias-primas, a agricultura invadiu os campos e destruiu as matas secas, antes somente ocupadas pela pecuária. A partir do século XVIII, a região cogitou do algodão como elemento comerciável, ocupando esta cultura, em poucos anos, todo o sertão. Iniciou-se o “ciclo agropecuário”, vivendo-se de algodão e gado. A expansão algodoeira arrastou como subsidiária a lavoura de subsistência para as zonas mais secas dos sertões. Desenvolveu-se, rapidamente, uma policultura itinerante e extrativa, caracterizada pela baixa produtividade, alta dependência climática e depredadora do meio ambiente. A pecuária foi gradativamente sendo confinada em áreas marginais. Praticava-se o superpastejo e depredava-se o ecossistema. As pastagens, antes exuberantes, foram gradativamente ocupadas por plantas invasoras sem nenhum valor forrageiro. Com o tempo, a pecuária também se tornou instável e a produtividade caiu, por conta do desconhecimento da fragilidade do ecossistema do semi-árido, de cujo meio ambiente se passou a exigir mais do que o ecossistema poderia dar.

Assim, a aceleração do ciclo da agricultura itinerante e extrativa, consubstanciada nas brocas frequentes da vegetação, queimadas e plantios, seguidas de curtos pousios, bem como o superpastejo, provocaram nas áreas já sujeitas às secas periódicas, erosões, adensamentos de solo e perdas acentuadas de fertilidade, gerando, em decorrência, um processo de empobrecimento crescente.

Essa conjuntura, associada à queda do preço do algodão, à elevação do valor dos insumos necessários à produção, ao alto custo da energia elétrica necessária à irrigação, fundamental para a produção estável de alimentos e matérias-primas, à concorrência do gado de corte da região Centro-Oeste, às pragas exóticas, às perdas de solo agrícola, dentre outras razões, transformaram o sertão, que perdeu a personalidade econômica. Como consequência dessa depressão econômica, o homem do campo vive miseravelmente, tendo sido forçado a migrar para as grandes cidades, em busca de trabalho e de melhores condições de vida para si e sua família.

O semi-árido brasileiro é a maior área semi-árida contínua situada num só país, caracteriza-se por uma média pluviométrica anual de 750 mm, porém mal distribuídas no tempo e no espaço, uma vez que apresentam áreas com média pluviométricas anuais inferiores a 400 mm. Concentradas entre 3 a 4 meses ao ano, as águas das chuvas em grande parte escoam superficialmente, sobre terrenos formados quase sempre por rochas cristalinas, solos rasos e rios intermitentes. A evapotranspiração é em média de 2.500 mm ao ano, e o balanço hídrico ao longo dos meses do ano é negativo, restando a captação e armazenamento em cisterna da águas pluviométricas ou bombeadas do subsolo a complementação parcial da demanda por água. (Lima e Mariotoni, 2002).

Estima-se que, em 750.000 km² de extensão, vivam aproximadamente 23 milhões de habitantes, entre os quais, mais da metade da população nordestina cuja maior parte, dos que vivem no meio rural, é estruturada na agricultura de base familiar, com padrões tecnológicos de exploração e cultivo distintos e através de relações de produção diferenciada. Em geral, praticam agricultura de subsistência e entre suas maiores carências estão, além da terra, a disponibilidade de água e energia. (Costa, 2006). Normalmente os processos de bombeamento de água, ou

beneficiamento de produtos, quando existem, são feitos de forma artesanal, ou ainda com o uso de motores à diesel ou gasolina. A energia utilizada por grande parte desta população é destinada à cocção, e tem como principal fonte a queima de biomassa extraída da caatinga, expondo-lhes a diversos problemas de saúde, pelo transporte e exposição aos resíduos da fumaça. As mulheres e crianças são as mais afetadas por esta condição (Borges Neto et al, 2006).

A disponibilidade de energia elétrica para esta parcela da população seria sem dúvida um importante vetor para suprimento destas demandas energéticas, no entanto, escassez deste tipo de energia no semi-árido é justificada em parte pelo modelo energético adotado no Brasil com a geração de energia centralizada. Investidores privados não se sentem atraídos por este mercado, visto que as baixas densidades das cargas tornam o negócio economicamente inviável.

Assim, é fundamental pensar-se em sistemas produtivos para o semi-árido que combinem a preservação do ecossistema, níveis adequados de produtividade, diminuição do risco ante à instabilidade do clima, de forma que possibilitem ao produtor rural ser competitivo no atual contexto econômico.

Objetivando contribuir para o aumento da competitividade da atividade pecuária no Semi-Árido nordestino, foi conduzido por meio de uma parceria da Universidade Federal do Ceará (UFC) e o Banco do Nordeste (BNB) um experimento com o objetivo de testar um modelo inovador de desenvolvimento sustentável para essa atividade baseado na criação semi-intensiva de ovinos e caprinos e na utilização de biodigestores para a produção de biofertilizante e biogás, que foram utilizados, respectivamente, como adubo nos campos de pastagens e como fonte energética para bombeamento d'água visando a irrigação de forragens.

O esquema do sistema de produção proposto é apresentado na figura 1. Uma vez alcançada a sustentabilidade, os produtos oriundos do rebanho caprino (leite, carne, couro) podem ser oferecidos ao mercado.

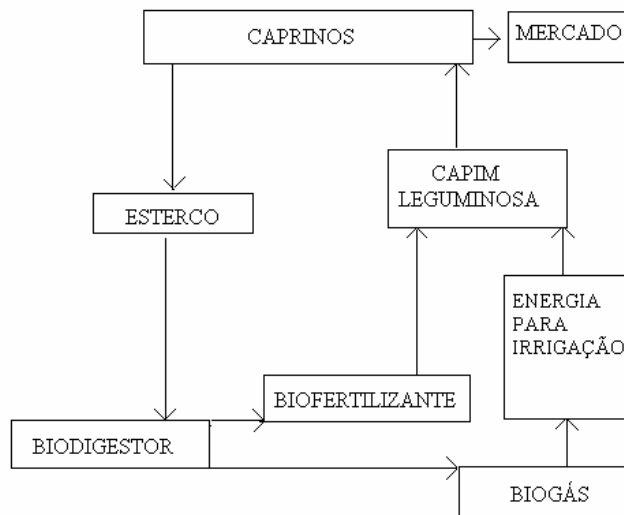


Figura 1: Sistema de produção proposto para o semi-árido nordestino

Como objetivos específicos podem ser citados:

- Desenvolver um sistema de criação semi-intensiva de caprinos, utilizando pastagens irrigadas;
- Utilizar o esterco produzido pelos animais em um biodigestor para produção de adubo orgânico, utilizado nas pastagens, e biogás, usado como fonte energética para acionamento de conjunto motor-bomba para irrigação;
- Avaliar o desempenho produtivo do sistema semi-intensivo proposto com o sistema tradicional de criação extensiva de caprinos, analisando qual o mais adequado do ponto de vista econômico-financeiro;
- Avaliar o desempenho da variável ambiental, entendida como a preservação/recuperação da fertilidade do solo, em virtude da aplicação contínua de biofertilizante.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Escolheu-se um local de forma a reproduzir as condições que um pequeno proprietário rural do semi-árido nordestino está sujeito, não tendo, inclusive, acesso à rede elétrica. Em seguida instalou-se o sistema produtivo proposto, e superadas as dificuldades iniciais de implantação de um novo modelo, foram coletados e avaliados dados de regime de funcionamento permanente e por fim a análise financeira do sistema em questão.

2.1 Caracterização do local

O local escolhido foi a chamada “Fazendinha”, área situada na Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da UFC situada a 10 km da sede do município de Pentecoste e a 120 km de Fortaleza.

Como infra-estrutura disponível no local foi observada: uma casa para hospedagem de funcionário; um galpão para armazenamento de material, um silo para produção de volumoso; rebanho caprino de cerca de 300 cabeças, do tipo anglo nubiana e Sem Raça Definida (SRD); um aprisco em condições precárias; um açude de pequeno porte; um poço de 65 metros de profundidade com vazão aproximada de 2 m³/ hora; um reservatório de 18 m³ para armazenamento da água do poço; um catavento para bombeamento da água do poço para o reservatório; uma cisterna de cerca de 120 m³ para armazenamento de água de chuva; 01 motor-bomba diesel de 12 HP.

A análise físico-química da água do poço evidenciou uma elevada quantidade de nitratos, fato que segundo [Von Sperling, 1996] indica poluição antiga. A poluição do poço pode estar relacionada a um aprisco existente, do qual o esterco dos animais era retirado e acumulado sobre o solo nas proximidades do poço.

Foi disponibilizada na Fazendinha para implantação das pastagens irrigadas uma área de 1,6 hectares. Foi verificado que o solo da área a ser usada para plantio é da textura do tipo franco arenoso com algumas partes franco argiloso. Adicionalmente, apresenta a limitação física de ser raso.

2.2 Caracterização do rebanho e manejo

Foram utilizadas no experimento 50 caprinos do tipo sem raça definida (SRD) (figura 2), devido suas características de rusticidade e aptidão mista (produção de carne e leite). Os animais foram criados em sistema semi-intensivo, confinados em oito piquetes cercados, sistema conhecido como pastejo rotacionado. A capacidade suporte deste sistema pode chegar a 50 animais por hectare (Cândido, 2005).

Para viabilização do sistema semi-intensivo de criação de caprinos foi necessária a instalação de cerca elétrica alimentada por painel fotovoltaico com a finalidade de confinar os animais na área pré-determinada. A cerca elétrica é composta basicamente de eletrificador, painel solar, bateria, arame liso, isoladores e cabo para alta tensão. O eletrificador usado tem raio de ação de aproximadamente 1,5 km e distância linear de eletrificação de 40 km. Devido às pequenas dimensões do sistema, a bateria usada é de 12 V e 7,2 Ah, cujo carregamento é mantido por meio de um painel solar de 5 Wp (figura 2).

A produção de esterco destes animais foi utilizada como fonte de matéria orgânica para abastecimento do biodigestor.



Figura 2: Animais utilizados e painel fotovoltaico para carregamento da bateria da cerca elétrica

2.3 Metodologia para avaliação da produção de esterco

Para avaliar a quantidade de esterco produzida pelo rebanho, foi usada a varrição e coleta diária do esterco remanescente no aprisco em baldes de 10 litros que devidamente tarados apresentaram um peso líquido de 3,5 kg de matéria fresca por unidade. Uma vez que os animais permaneciam no aprisco somente no turno da noite, o esterco coletado limitou-se ao produzido no mesmo período.

Com a finalidade de evitar a digestão incompleta do esterco no interior do biodigestor foi feita a maceração do mesmo, uma vez que se observou a presença de uma espécie de capa nas fezes dos caprinos que dificulta a ação das bactérias.

2.4 Caracterização do sistema de irrigação

Foi verificado que o poço profundo existente no local não tinha vazão diária suficiente para fornecer a demanda de água necessária para o sistema de irrigação. Desta forma, foi construída uma adutora de aproximadamente 500 metros

de comprimento para captar água do açude existente na propriedade, usando o motor-bomba já existente. A água bombeada deste açude é então armazenada na cisterna da Fazendinha, que também capta água da chuva. Desta forma, o açude passou a ser o principal fornecedor de água para o sistema de irrigação da área de pastagem dos animais.

Para operação do sistema de irrigação foi adquirido um motor estacionário de combustão interna de 5,5 HP, ciclo Otto, e uma bomba centrífuga de 6 CV, de dois estágios. A bomba centrífuga adquirida trabalha com a sucção afogada e com uma pressão de recalque de aproximadamente 23 mca, fornecendo uma vazão de cerca de 9 m³/hora. Sob tais parâmetros, são necessários aproximadamente 5 horas/dia de operação para fornecer a lâmina de água suficiente para manutenção da pastagem irrigada, usando o capim Gramão (*Cynodon dactylon*).

As principais características técnicas da bomba utilizada estão resumidas na tabela 1.

Tabela 1: Características técnicas da bomba utilizada para irrigação da pastagem [Thebe]

Característica	Valor
Quantidade de estágios	2
Potência nominal	6 CV
Diâmetro do rotor	121 mm
Largura do rotor	5,3 mm
Sucção	1x1/2" BSP
Recalque	1x1/2" BSP
Rotação nominal	3.500 rpm

O conjunto motor-bomba foi utilizado para acionar 18 aspersores do tipo agropolo NY 25 3/4" submetidos a uma pressão de 22 mca (pressão nominal), sendo verificada a vazão de 0,360 m³/hora/aspersor. O consumo de gasolina do motor para estes parâmetros foi de cerca de 0,720 L/hora (Figura 3).



Figura 3: Conjunto motor-bomba e sistema de irrigação por aspersão

O motor de combustão interna, ciclo Otto, foi adaptado para usar o biogás produzido no biodigestor como combustível. Num motor Otto, o carburador é o componente mecânico que faz a mistura da gasolina com o oxigênio, sendo essa mistura então levada ao cilindro do motor, local da explosão da mistura. Para adaptar a operação do carburador ao biogás, foi desenvolvida uma peça para ser inserida entre o cilindro do motor e o carburador (Figura 4). Essa peça adicional traz um orifício no qual é injetado o biogás, sendo a entrada de biogás no motor regulada por uma torneira externa. O carburador foi mantido para prover a regulagem de entrada de ar e para a partida inicial, feita com gasolina, devido ao baixo poder de detonação do biogás,

Para evitar a entrada do biogás frio no cabeçote do motor, foi desenvolvido um sistema de pré-aquecimento do biogás. O sistema é constituído de um tubo de cobre enrolado em espiral na descarga do motor, sendo essa espiral responsável pela condução do biogás até à entrada da peça inserida entre o cilindro e o carburador do motor (Figura 4).



Figura 4: Adaptador para uso do biogás no motor e sistema de pré-aquecimento do biogás

2.5 Caracterização do biodigestor

Um biodigestor pode ser definido como “câmara onde se processa a biodigestão anaeróbica” (Prakasan, 1987). De acordo com o sistema de abastecimento da matéria prima, os biodigestores podem ser classificados como:

- De batelada: a matéria prima é colocada e uma vez cessada a produção de biogás, o digestor é aberto, os resíduos são retirados e é colocada nova quantidade de matéria prima;
- Contínuo: a matéria prima é colocada diariamente; possuem várias configurações, dentre as quais se destacam o do tipo chinês e o indiano. Entre outras características, se diferenciam pelo fato do chinês não possuir gasômetro para o armazenamento do biogás, enquanto o indiano possui gasômetro flutuante que pode ser feito de diversos materiais (Andrade, 1994).

Devido à necessidade do fornecimento do biogás com pressão constante para o conjunto motor-bomba, foi decidida a construção de um biodigestor do tipo indiano. As principais características do biodigestor indiano construído estão resumidas na tabela 2.

Tabela 2: Características do biodigestor construído na FEVC / UFC

Característica	Valor
1) Tanque do biodigestor	
Volume	11,3 m ³
Diâmetro	2,55 m
Altura útil	2,21 m
Altura real	2,46 m
Relação diâmetro / Altura útil	1,15
2) Gasômetro	
Volume	5 m ³
Diâmetro	2,40 m
Altura útil	1,11 m
Altura real	1,36 m

Para a instalação do tanque do biodigestor houve o envolvimento de 02 trabalhadores locais durante o período de cerca de 7 semanas. O número elevado de dias necessário para a instalação foi devido em grande parte à dificuldade de escavação do terreno. O terreno apresentou pequena camada de solo, seguida por pedras; ao final do poço foi encontrada uma camada de rocha maciça, confirmando as características de solo do semi-árido nordestino.

Para o gasômetro foi utilizada uma caixa de água de fibra de vidro de 5.000 litros, devido à facilidade de obtenção de tais reservatórios no mercado de Fortaleza, disponíveis nos volumes de 1.000 a 15.000 litros. Com isto, foram resolvidos os problemas decorrentes do emprego de gasômetros feitos de chapas metálicas, recomendados normalmente pela literatura, tais como corrosão e peso elevado. Para proteção da caixa de água contra a radiação solar foi construído um teto de palha.

Visando o controle da pressão do biogás para o motor, pesos (sacos cheios de areia) foram colocados na parte superior do gasômetro; desta forma, quanto maior o peso sobre o gasômetro, maior a pressão do biogás. Para visualização da pressão do biogás, um manômetro feito de mangueira no formato de um “U” foi instalado no início da tubulação; adicionalmente, neste mesmo ponto, foi posto um recipiente para coleta da água acumulada na tubulação (Figura 5).



Figura 5: Gasômetro com pesos para o controle da pressão e tubulação com manômetro e ponto para coleta de água.

2.6 Metodologia para avaliação da produção de biogás

Para avaliar a produção de biogás no biodigestor, foi instalada uma sonda ultra-sônica no teto de palha de proteção do biodigestor. Com dados sendo coletados a cada minuto, o sensor mede a distância da sonda até a tampa superior do gasômetro e assim possibilita o cálculo da evolução do volume de biogás acumulado no gasômetro (Figura 6).

Como a produção do biogás em biodigestores está relacionada ao fator temperatura, foi utilizado um sensor de temperatura. Para o registro e avaliação dos dados de ambos os sensores foram utilizados: um sistema de coleta de dados, um módulo de armazenamento de dados e uma interface do módulo para computador.

Para medir a vazão do biogás foi usado um medidor de vazão de gás entre o manômetro e o gasômetro (Figura 6). Como o pH do meio onde ocorre o processamento biológico no interior do biodigestor é fator que influencia a produção do biogás, o pH foi medido usando um medidor de pH.



Figura 6: Sonda ultrasônica, sistema de aquisição de dados e medidor de vazão.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Verificou-se que no aprisco o rebanho produz diariamente cerca de 8 baldes de esterco, representando uma média diária de 28 kg, ou ainda, 0,560 kg por animal. Os principais parâmetros operacionais registrados estão na tabela 3.

Tabela 3: Parâmetros operacionais registrados

Característica	Valor
Pressão máxima do gasômetro	0,14 mca
Pressão durante a operação do motor	0,07 mca
Pressão após operação do motor	0,03 mca
Tempo médio de funcionamento do motor sem interrupção	2 horas e 30 minutos
Volume máximo do biogás à pressão de 0,14 mca	3,12 m ³
Volume utilizado do biogás para o tempo de operação do motor de 2 horas e 30 minutos	1,45 m ³
Quantidade de biogás produzido por kg de esterco	54 Litros
Valor médio medido para o pH do substrato	7,01

É importante destacar que a pressão máxima do gasômetro de 0,14 mca, em princípio poderia ser aumentada com o acréscimo de pesos sobre o gasômetro; no entanto, foi verificado que com o aumento de pressão ocorreram problemas de vazamento ao longo da tubulação do biogás, determinado desta forma este valor como limite.

O acompanhamento da operação do biodigestor mostrou que após o consumo do volume de biogás de 1,45 m³, foi verificada uma redução da pressão do biogás para 0,03 mca e conseqüentemente uma descontinuidade na operação. Desta forma, um volume de biogás de 3,12 - 1,45 = 1,67 m³ não é utilizado.

São apresentados através das Figuras 7 e 8 gráficos da variação da temperatura no interior do biodigestor (vermelho) e do volume de biogás no gasômetro (azul) para os dias 15/10/05 e 16/10/05, respectivamente. Os dados foram armazenados a cada 15 minutos, gerando ao final de cada dia um conjunto de 96 valores.

Os dias ficam caracterizados pela curva de temperatura: ascendente pela manhã, valores máximos por volta do meio dia, curva descendente pela tarde, valores mínimos pela noite. Para o dia 15/10/05 a temperatura máxima foi de 34,89 °C às 14h30min e a mínima foi de 23,19 °C às 02h15min; para o dia 16/10/05 a temperatura máxima foi de 36,51 °C às 15h00min e a mínima foi de 23,92 °C às 03h00min.

Para o dia 15/10/05 o volume máximo utilizável de biogás no gasômetro foi de 1,67 m³ às 08h30min e o mínimo de 0,15 m³ às 09h15min; para o dia 16/10/05 o volume máximo utilizável de biogás no gasômetro foi de 1,61 m³ às 08h15min e o mínimo de 0,01 m³ às 09h15min. As quedas ocorridas no início de cada manhã no valor do volume de biogás acumulado na campânula correspondem aos momentos em que o operador abriu a torneira de saída do biogás, esvaziando a campânula.

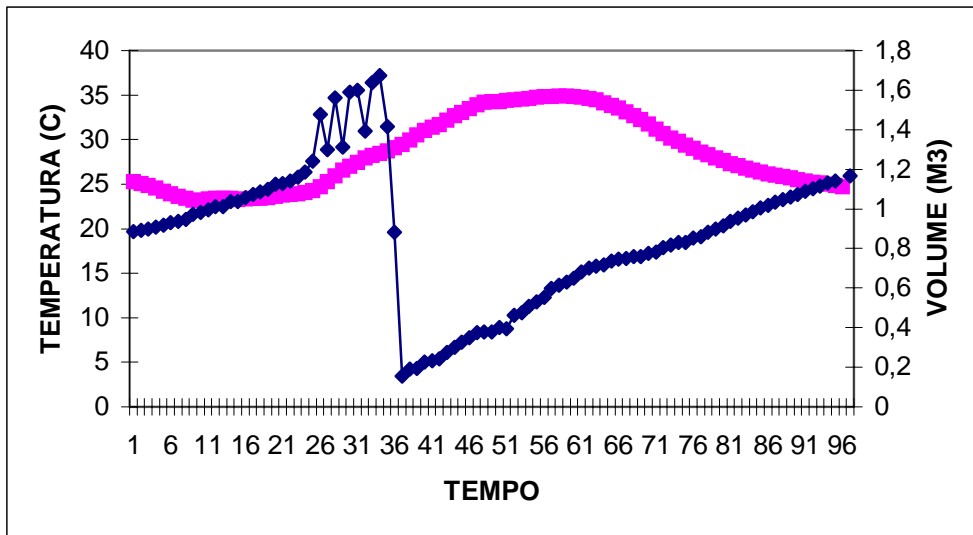


Figura 7: Curva temperatura e volume de biogás no gasômetro (15/10/05)

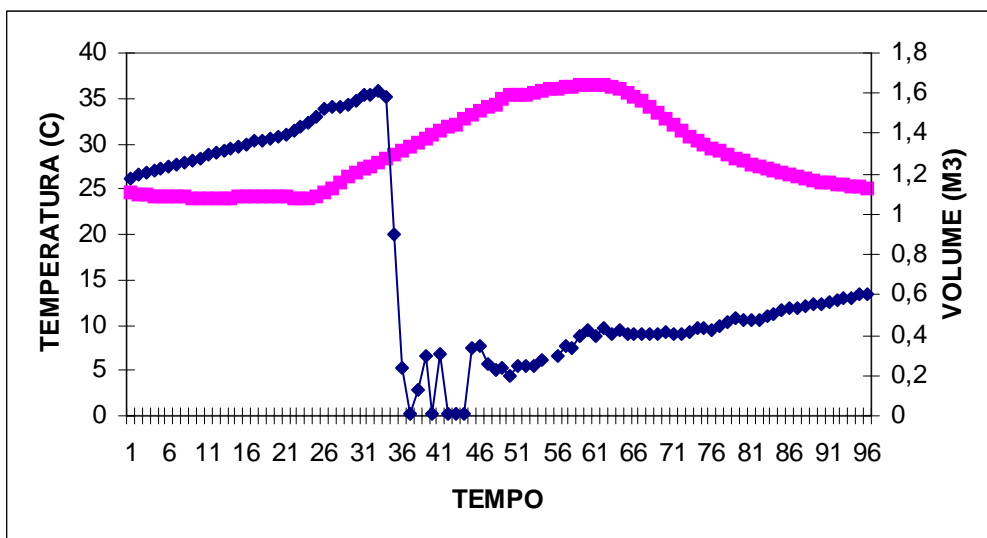


Figura 8: Curva temperatura e volume de biogás no gasômetro (16/10/05)

Visando determinar a equivalência energética entre a gasolina e o biogás para fins de pressurização de sistema de irrigação, foi determinado o consumo específico (m^3 de água bombeada / volume de combustível) para os dois casos (tabela 4).

Tabela 4: Equivalência energética entre gasolina e biogás

Característica	Gasolina	Biogás
Consumo específico por m^3 de água bombeada	0,056 l	0,075 m^3
Combustível necessário para atender 1 hectare	3,6 l	4,9 m^3
Equivalência Energética	0,75 l	1 m^3

Para a irrigação de 1 hectare, a partir dos dados levantados, o biogás produzido pode substituir cerca de 30% do volume de gasolina consumido.

4. ANÁLISE FINANCEIRA

Devido ao fato da presente pesquisa ter se realizado em um ambiente acadêmico, no caso a Fazenda Experimental Vale do Curu (FEVC), pertencente ao Centro de Ciências Agrárias da UFC, muitas condições foram observadas que não ocorrem em unidades agrícolas envolvidas no agronegócio.

Desta forma, visando reproduzir de forma mais real possível as condições encontradas numa unidade agrícola, foi estabelecida na presente análise a existência de uma infra-estrutura pré-estabelecida nesta unidade antes da construção do biodigestor. Esta infra-estrutura é composta de sistema de irrigação, cerca elétrica, abrigo dos caprinos e adutora para abastecimento de água.

Assim, a presente análise financeira concentra a avaliação nos impactos introduzidos pela instalação do biodigestor na unidade agrícola. Estes impactos são verificados através da produção do biogás e do biofertilizante.

4.1 Investimento

Para a construção do biodigestor foram registradas as despesas listadas na tabela 5. Todos os valores são referentes a outubro de 2005.

Tabela 5: Despesas para construção do biodigestor utilizado

Item	Valor (R\$)
Cimento	380,00
Tijolo	105,00
Caixa d'água (5.000 L) + transporte	1.020,00
Tubos, flange	182,00
Madeira	289,00
Mão de obra	1.301,00
Total	3.277,00

Visando reproduzir da maneira mais realista possível os custos a serem enfrentados por um produtor rural, foi acrescentado na presente análise o custo do transporte do reservatório de 5.000 litros de Fortaleza para Pentecoste, estimado em R\$ 120,00. No projeto este custo foi evitado, visto que o transporte foi feito via caminhão cedido pelo Centro de Ciências Agrárias da UFC. Desta forma, as despesas totais para construção do biodigestor somam R\$ 3.277,00. Foi considerado que a despesa para construção do biodigestor é paga com recursos próprios do proprietário rural.

4.2 Custo de operação e manutenção

Para efeito de manutenção do biodigestor, foi admitido um valor de 10% do investimento inicial (R\$ 328,00) a cada 5 anos; foi admitida uma vida útil de 10 anos para o biodigestor.

Para o serviço de operação e manutenção do biodigestor (limpeza, transporte e manuseio do esterco animal) foi considerado o pagamento de 1 trabalhador por 1/8 expediente (1 hora / dia), o que significa o pagamento de 1/8 de diária para o trabalhador. Desta forma, para o período de 1 ano, o custo da mão de obra é dado por Eq. (1):

$$12 \text{ meses} \times 1/8 \times R\$ 300,00 = R\$ 450,00 \quad (1)$$

Para o ano 0 da análise financeira é descontado o pagamento de mão de obra referente a dois meses, tempo considerado necessário para instalação do biodigestor. Desta forma, o valor da mão de obra para o ano 0 é de R\$ 375,00.

A água necessária para a operação do biodigestor é relativamente pouca e é considerada já existente na unidade agrícola. Desta forma, o custo da água para o biodigestor foi considerado insignificante, sendo desprezado na presente análise.

4.3 Receitas

Foi considerado na análise que os dejetos dos caprinos eram utilizados na adubação orgânica da plantação antes da instalação do biodigestor. No entanto, considerando o alto valor nutriente do biofertilizante e que o mesmo está em condições de substituir com vantagens o uso de fertilizante convencional para manutenção da pastagem, é admitido que parte do biofertilizante é comercializado. A receita advinda com esta venda é estimada em R\$ 111,00 / ano. Este valor representa 1/3 do custo do fertilizante convencional necessário para a plantação, estimado em R\$ 334,00 / ano. Para o ano 0 da análise financeira é descontada a receita referente a dois meses, tempo considerado necessário para instalação do biodigestor. Desta forma, o valor da receita para o ano 0 é de R\$ 92,50.

Sem uso do biogás, o volume de gasolina necessário por dia para irrigação de 1 hectare é de 3,6 L; como visto, a partir dos dados levantados, o biogás produzido pode substituir cerca de 30% do volume de gasolina consumido para a irrigação de 1 hectare. Adicionalmente, é considerado que durante o período chuvoso no Ceará, em média de duração de 4 meses, o consumo de gasolina para irrigação é reduzido, sendo este volume substituído integralmente pelo biogás.

Desta forma, o biogás para fins de irrigação é utilizado 12 meses por ano. Ao final de 1 ano, a receita com a introdução do biogás é dada pela (considerando 1 L de gasolina custando R\$ 2,50) Eq.(2):

$$12 \text{ meses} \times 30 \text{ dias} \times 0,3 \times 3,6 \text{ L/dia} \times \text{R\$ } 2,50 / \text{L} = \text{R\$ } 972,00 \quad (2)$$

Para o ano 0 da análise financeira é descontada a receita referente a dois meses, tempo considerado necessário para instalação do biodigestor. Desta forma, o valor da receita para o ano 0 é de R\$ 810,00.

Para a análise financeira foram utilizados os seguintes parâmetros: relação benefício custo (B/C) (Eq. (3)), o valor presente líquido (VPL) (Eq. (4)) e a taxa interna de retorno (TIR) que representa o valor da taxa de desconto para um VPL igual a zero.

$$B / C = \frac{\sum VPL(\text{receita}; i; n)}{\sum VPL(\text{custos}; i; n)} \quad (3)$$

$$VPL = \sum_{j=1}^n \frac{\text{valor}_j}{(1+i)^j} \quad (4)$$

Para uma taxa de desconto de 10%, a relação benefício custo (B/C) encontrada foi de 1,14, o valor presente líquido (VPL) de R\$ 936,35 e a taxa interna de retorno (TIR) de 17,50. Somente a partir de uma taxa de desconto de 18%, o investimento passa a ser inviável.

A análise de sensibilidade realizada revelou que o investimento é viável para as seguintes condições:

- Redução das receitas em 5% e custos normais;
- Receitas normais e aumento dos custos em 5%;
- Redução das receitas em 10% e custos normais;
- Receitas normais e aumento dos custos em 10%.

O investimento passa a ser inviável do ponto de vista financeiro para as seguintes condições:

- Receitas normais e aumento dos custos em 20%;
- Redução das receitas em 10% e aumento dos custos em 10%.

5. CONCLUSÕES

Foi construído um biodigestor utilizando uma caixa de água de fibra de vidro como gasômetro, constituindo uma contribuição inovadora visto não haver registro na literatura de tal emprego. Com isto, foram resolvidos os problemas decorrentes do emprego de gasômetros feitos de chapas metálicas, tais como corrosão e necessidade de equipamentos especiais para colocação do gasômetro de metal, devido o peso elevado do mesmo.

A produção de esterco por caprino no aprisco foi de cerca de 560 g / período noturno; considerando o período de 1 dia, é encontrado o valor de 1,12 kg / dia. Este valor está muito próximo do valor encontrado na literatura [Prakasan87] para a produção diária de esterco de caprinos (1,3 kg / dia / animal);

Para adaptar a operação do carburador ao biogás, foi desenvolvida uma peça para ser inserida entre o cilindro do motor e o carburador. Essa peça adicional traz um orifício no qual é injetado o biogás, sendo a entrada de biogás no

motor regulada por uma torneira externa. O carburador foi mantido para prover a regulação de entrada de ar e para a partida inicial, com uso da gasolina;

Para solucionar o problema da digestão incompleta do esterco no interior do biodigestor devido à característica das fezes dos caprinos apresentarem uma espécie de capa, o operador foi instruído a fazer a maceração das fezes quando da alimentação do biodigestor;

Foi desenvolvido um sistema de pré-aquecimento do biogás constituído de um tubo de cobre enrolado em espiral na descarga do motor, sendo essa espiral responsável pela condução do biogás até a entrada da peça inserida entre o cilindro e o carburador do motor;

Foi calculada em torno de 54 litros/kg a produção de biogás por quilo de esterco de caprino. O material oriundo do biodigestor (biofertilizante) foi comparado com os dejetos de eqüinos, bovinos, ovinos, suínos e galinha. De acordo com o parecer do agrônomo Raimundo Alípio Leão: comparando-se com a análise do resíduo do biodigestor, em termos percentuais, observa-se que o resíduo é mais rico em N, P, e K do que os dejetos dos animais mais freqüentemente utilizados na adubação orgânica.

A análise financeira foi concentrada nos impactos introduzidos pela instalação do biodigestor na unidade agrícola, verificados através da produção do biogás e do biofertilizante. Para uma taxa de desconto de 10%, a relação benefício custo (B/C) encontrada foi de 1,14, o valor presente líquido (VPL) de R\$ 936,35 e a taxa interna de retorno (TIR) de 17,50. Somente a partir de uma taxa de desconto de 18%, o investimento passa a ser inviável.

Agradecimentos

Os autores agradecem o Banco do Nordeste pelo financiamento do projeto e a diretoria do Centro de Ciências Agrárias da UFC pelo apoio na fazenda Experimental Vale do Curu.

REFERÊNCIAS

- Barton, J. P. Infield, D.G. 2004. Energy storage and its use with intermittent renewable energy, IEEE Transactions on Energy Conversion, vol. 19, n. 2, pp. 441-448.
- Andrade, M. A. N. Bezerra, F. D. Carvalho, P. C. M. Oliveira, C. R. 1994. Cartilha do Biodigestor Rural em Ferrocimento Artesanal; UFC, Fortaleza.
- ASTEF 1981. Manual de operação e manutenção de seu biodigestor.
- Biomass Energy Institute 1978. Biogas production from animal manure.
- Bhattacharya, S. C. 2004. Fuel for thought; Renewable Energy World, vol. 7, n.6.
- Borges Neto, M.R., Lima, Lopes, L.C.N. A.C. Ribeiro, J.T.F.. 2006, Demanda de energia para cocção no meio rural. Anais do 35º Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, SBEA, João Pessoa - PB
- Cândido, M. entrevista técnica realizada em 10/11/05.
- Carioca, J. Arora, H. 1984. Biomassa: fundamentos e aplicações tecnológicas; UFC.
- Costa, H. S., 2006, Tecnologia apropriada para a agricultura familiar sustentável no semi-árido brasileiro: bombeamento solar de água para irrigação localizada. Anais do 6º Encontro Nacional de Energia no Meio Rural, UNICAMP, Campinas-SP.
- De Renzo, D. J. 1977. Energy from bioconversion of waste materials, Noyes Data Corporation.
- Domac, J.; Richards, K.; Segon, V. 2005. Old fuel for modern times, Renewable Energy World, vol. 8, n. 4.
- Fiore, G. F. 1994. Proálcool: Balanço econômico-social e impactos na matriz energética nacional; UFMG.
- Granato, E. F. 2003. Geração de energia através da biodigestão anaeróbica da vinhaça; dissertação de mestrado, Faculdade de Engenharia da UNESP.
- Hinrichs, R. A. Kleinbach, M. 2003. Energia e Meio Ambiente; Editora Thomson, São Paulo.
- Lettinga, G. 1991. Anaerobic treatment for wastewater treatment and energy production, Inter-American Seminar on Biogas, João Pessoa.
- Lima, J.R., Mariotoni, C.A., 2002, A relação entre água, energia e ambiente no semi-árido brasileiro: uma proposta metodológica. In: Anais do 3º Encontro Nacional de Energia no Meio Rural, UNICAMP, Campinas-SP.
- Manera, R. 1986. Biodigestor – A fonte da fertilidade; Globo rural, ano 2, nº 14, novembro.
- Ministério de Minas e Energia 2004. Balanço Energético Nacional.
- Muylaert, M. S. 2001. Consumo de energia e aquecimento do planeta; COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro.
- Nogueira, L. H. 1986: Biodigestão: A alternativa energética; Editora Nobel, São Paulo.
- Pinto, C. P. 1999 Tecnologia da digestão anaeróbica da vinhaça e desenvolvimento sustentável; dissertação de mestrado, Faculdade de Eng. Mecânica, UNICAMP.
- Prakasan, K.; Filho, J. V. C. R. Perazzo Neto, A. 1987. Tecnologia do Biogás; Laboratório de Energia Biomassa, CCA – UFPB.
- Quintão, C. 2005. Carne suína sustentável pode receber prêmio no exterior; Gazeta Mercantil, 22/08/05.
- Von Sperling, M. 1996. Princípios do tratamento de águas residuárias; Volume 1; 2 edição; Belo Horizonte; Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais.

DIGESTER ADAPTED TO THE SEMI-ARID OF THE BRAZILIAN NORTHEAST REGION: RESULTS AND CONCLUSIONS

Abstract. *The present paper shows the results of a research about a new production system model based on goats; part of the animals manure is used for biogas production. The biogas is used as fuel for water pumping for the irrigation of the animals pasture. For the viability of the project, a photovoltaic powered electrified fence was used. Additional to the positive results of sustainability, innovative solutions were developed for sizing, optimization and costs reduction by the use of digesters in small rural communities of the semi-arid of the Brazilian Northeast Region.*

Key words: *Digester, Biogas, Sustainable Development.*