

ANÁLISE ECONÔMICA DO BIODIGESTOR MODELO INDIANO¹

EDUARDO ALFONSO CADAVID GARCÍA²

RESUMO - O biodigestor tem sido considerado uma fonte alternativa de energia visando a auto-suficiência energética rural. O Pantanal oferece condições favoráveis para a produção de biogás, pela disponibilidade em matéria-prima (dejetos de bovinos) e pelas normais de temperatura apropriadas às bactérias metanogênicas mais eficientes na digestão. Da análise de biodigestores de 3,3 a 70 m³ de volume total, conclui-se que o tamanho de máxima eficiência corresponde a unidades acima de 70 m³. Para unidades na faixa de 3,3 a 53 m³, foi estimado um coeficiente elasticidade custo médio-produção de biogás de -0,33 e um coeficiente função de 1,49, indicando retornos crescentes à escala. O fator de escala foi de 0,59 + 0,36. Foram especificados orçamentos de três capacidades de produção (2,4, 6,2 e 13,2 m³ de biogás/dia) estimando-se aplicações de Cr\$ 9,302 (menor unidade) a Cr\$ 3.400 (maior unidade) por m³ de produção, quando considerada a vida útil de 11,7 anos. Nas três unidades consideradas estimaram-se margens, crescentes com a escala, para o retorno da mão-de-obra de Cr\$ 5, Cr\$ 17 e Cr\$ 31 (quando substituído óleo diesel) e Cr\$ 6, Cr\$ 19 e Cr\$ 34 (quando substituído querosene). A melhor alternativa foi para gasolina, enquanto que a substituição de gás GLP apresentou os menores índices de rentabilidade.

Termos para indexação: biogás, bioenergia, economia, Pantanal Mato-grossense, subsídio petróleo.

ECONOMICAL ANALYSIS OF THE INDIAN MODEL METHANE DIGESTOR

ABSTRACT - The methane digester has been considered as an alternative energy source aiming to rural energy self-sufficiency. The Pantanal region offers favorable conditions for biogas production because of cattle manure abundance, and temperature suitable for the most efficient methane-producing bacteria. From analysis of biodigestors between 3.3 and 70 m³ total volume, it is concluded that maximum efficiency size relates to digestors above 70 m³. For units at the 3.3 to 53 m³ range an elasticity mean cost/daily production coefficient of -0.33 and a function coefficient of 1.49 were estimated, indicating receipts in increasing scale, the scale factor being 0.59 + 0.36. Budgets were specified for three production capacities (2.4, 6.2 and 13.2 m³ biogas day⁻¹), investments being estimated from 9,302 (smallest unit) to 3,400 cruzeiros (largest unit) per m³ of gas, considering 11.7 years usefulness. For the three analyzed models, labour return rates, increasing with size, were estimated as 5, 17 and 31 cruzeiros when replacing diesel oil, and 6, 19 and 34 cruzeiros when substituting kerosene. The best alternative was for gasoline, while the replacement of petroleum gas showed the lowest profitability.

Index terms: biogas, bioenergy, economics, Pantanal de Mato Grosso, oil subsidy.

INTRODUÇÃO

O setor agrícola, aparentemente, tem merecido tratamento preferencial por parte do Governo, tratamento este justificado pela vulnerabilidade do setor, pelo interesse de reduzir a diferença de bem-estar entre os setores rural e urbano e pelo propósito de propiciar o crescimento da oferta agrícola para atender à demanda interna e à exportação. Esse tratamento, embasado numa estrutura de subsídios à agricultura, não se concilia com as medidas propostas para minorar os problemas de balanço

comercial, altas taxas de inflação e elevados níveis de desemprego. Por outro lado, é possível verificar que nem sempre o subsídio atende aos objetivos propostos; não necessariamente quem recebe os "benefícios" do subsídio é quem produz no setor rural.

Contador (1983), referindo-se aos instrumentos de política fiscal, considera que, quando utilizados com parcimônia, os subsídios e impostos podem corrigir distorções no funcionamento de mercado e nos custos de produção. Acrescenta o autor que, a julgar pelo montante de recursos e a maneira indiscriminada como são concedidos no Brasil, os subsídios, longe de melhorar a eficiência alocativa, têm ampliado a ineficiência na produção, distorcido o consumo, e servido para insuflar o déficit público.

¹ Aceito para publicação em 23 de maio de 1985.

² Eng. - Agr., M.Sc., Dr. EMBRAPA/Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (CPAP), Caixa Postal 109, CEP 79300 Corumbá, MS.

Como decorrência destes fatos econômicos e das distorções registradas, surgiu um conjunto de medidas para reduzir gradativamente os subsídios concedidos, entre outros, aos produtos agrícolas e aos derivados do petróleo, visando reduzir o déficit público. O objetivo é inserir o setor rural cada vez mais no contexto de "economia de mercado", eliminando, em hipótese, as causas que justificaram tais políticas.

Tem-se verificado que o crescimento da produção agropecuária, nos últimos anos, não esteve acompanhado da melhoria na sua rentabilidade. Pelo contrário, a expansão da oferta se verificou com quedas, em termos reais, dos preços recebidos pelos agricultores e com sensíveis aumentos nos preços dos insumos. O resultado final foi a desfavorável evolução da relação de troca e o desestímulo ao uso de insumos modernos.

A modernização da agricultura depende, dentre outras ações, da pesquisa orientada para a solução de questões relevantes vinculadas às características do próprio desenvolvimento e às tendências dos mercados nacional e internacional. Neste sentido, a tecnologia da "revolução verde", por exemplo, incentivada no início da década de 70 pela favorável relação de preço (preço dos insumos derivados do petróleo/preço dos produtos agrícolas) representa um desafio aos pesquisadores do setor rural para adaptar essa tecnologia, se possível, às circunstâncias atuais e prognosticáveis, mudando sua condição de intensidade no uso daqueles insumos, sem reverter os avanços já atingidos. O novo enfoque visa minimizar o consumo de insumos derivados do petróleo, propondo, como técnicas adequadas, aquelas que permitam manter altos níveis de produtividade.

A Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (EMBRAPA) iniciou programa de pesquisa que visa a auto-suficiência energética rural, objetivando eliminar os custos e riscos do transporte, garantir a auto-suficiência energética na propriedade rural e criar infra-estrutura para novas perspectivas do desenvolvimento. Dentre os vários sistemas de energização rural destacam-se: biodigestores, microdestilarias, gasogênio e secagem solar.

Resultados já observados com os biodigestores (Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária 1981) mostraram novas linhas de pesquisa para re-

solver problemas específicos, enquanto parte dos resultados mostraram sua utilização em determinada escala, sem maiores problemas para o usuário. Entre os problemas específicos, relacionam-se: adaptação de modelos para regiões com grandes variações de temperatura; pré-tratamento do resíduo agrícola; manutenção de temperatura e acidez; utilização do biogás em equipamentos e motores; e o uso do biofertilizante.

Gorgatti Netto & Dias (1982), referindo-se à modernização dos novos sistemas de produção rural, que envolvem fontes alternativas de energia, especificaram os seus três possíveis usos, dependendo de aspectos sociais e econômicos da propriedade. Os produtores podem adotar as novas tecnologias energéticas apenas em substituição aos insumos convencionais; podem adotá-las para incrementos na produção e na produtividade, e podem usá-las nos casos em que as novas fontes alternativas possibilitem desenvolver sistemas de produção, integrando energia e práticas alimentares.

As análises de viabilidade econômica do uso do biogás na energização rural têm-se baseado em avaliações da substituição dos combustíveis convencionais por fontes alternativas, com destaque no setor agrícola, sem levar em consideração a auto-suficiência energética, a redução de riscos no transporte e no armazenamento dos combustíveis convencionais e as novas perspectivas de aumento de bem-estar da família rural, sendo que estas considerações serão tanto mais significativas quanto mais críticas forem, neste sentido, as condições prevaletentes no setor rural. Por outro lado, a avaliação deverá considerar o custo social da divisa alocada na importação do petróleo.

A teoria de avaliação de projetos estabelece que a restrição de divisas impõe uma sobretaxa às importações, determinando o custo de oportunidade do produto importado. Assim sendo, quanto maiores forem as restrições de divisa, maior será o custo de oportunidade do bem importado, e maior poderá ser a diferença entre o preço ao consumidor e aquele determinado pela taxa de câmbio vigente, acrescido dos custos de comercialização. Esta diferença de preço não corresponde, necessariamente, a subsídio negativo, se considerado o critério de custo de oportunidade.

Melo (1982), analisando séries de preços de

óleo diesel e da gasolina (1973/81), conclui que, após 1974, houve uma política de preços com menores aumentos nominais para o óleo diesel, em comparação com aqueles feitos para a gasolina. Finaliza, o autor, que não houve subsídios; ao contrário, pelo critério de comparação dos índices, verificou-se uma taxação; os preços ao nível do consumidor estiveram acima dos preços ao nível de refinaria (margem de 20%), acrescidos da margem de comercialização. Motta (1982) critica a metodologia adotada por Melo (1982), por comparar variáveis heterogêneas. Sugere que o confronto dos derivados do petróleo só pode ser feito em termos de custo do poder calorífico. Conclui que o subsídio do óleo diesel tem sido dado pelo Governo desde a década de 50, com o objetivo, não atingido, de reduzir o custo de vida.

Modiano (1983) estimou uma margem bruta positiva de refino durante o período 1972 (6,17%) a 1982 (1,87%). Observa que os preços dos derivados do petróleo, supervalorizados internamente, permitiram absorver os aumentos do preço do petróleo internacional. Entretanto, isto não é um argumento para concluir sobre a inexistência de subsídios. O custo do petróleo para a análise macro-econômica inclui componentes explícitos e implícitos, sendo que o preço equivalente em cruzeiros do petróleo importado, calculado com base na taxa de câmbio vigente, é apenas um componente explícito.

Fassy (1981), analisando a política de preços dos derivados do petróleo, no período 1974/77, concluiu, que o Brasil exercitou com maior eficácia o aumento de preços para provocar quedas na quantidade demandada, majorando com maior intensidade os preços da gasolina, enquanto mantinha subsídios ao óleo combustível e ao óleo diesel.

Segundo Barros & Guarnieri (1983), o custo social da divisa poderá ser mais alto do que 20% a 25% usualmente admitidos como margem de sobrevalorização do cruzeiro. De acordo com as estimativas de Bergsman & Malan (1970), o nível médio real de proteção na economia brasileira era de 37% (Bacha et al. 1972).

O objetivo do presente estudo é verificar a viabilidade econômica de uma forma alternativa de biodigestor modelo indiano, que utiliza estrume bovino, uma vez demonstrada sua viabilidade téc-

nica nas condições climáticas próximas às do Pantanal. Este modelo de biodigestor representa 69% do número total instalado no País e 66% do total em fase de construção, segundo Teixeira Filho (1982).

Os dados técnicos e outras especificações consideradas no estudo foram obtidos de Batista (1980) e Seixas et al. (1981). Outrossim, utilizaram-se informações técnicas de pesquisas em andamento do Centro de Pesquisa Agropecuária do Pantanal (CPAP, EMBRAPA). Os preços utilizados correspondem a estimativas médias das informações de mercado de Corumbá, MS, ajustadas pelo Índice Geral de Preço (IGP).

MATERIAL E MÉTODOS

Em termos gerais, estima-se que a capacidade de produção de biogás do biodigestor modelo "indiano", considerado na presente análise, é determinada por dois critérios:

- a. O critério técnico, que permite calcular a produção de biogás em função da disponibilidade regular de insumo (no presente caso, esterco fresco de bovinos ($10 \text{ kg} = 0,40 \text{ m}^3$ de biogás) (Batista 1980). Convém salientar que, em termos práticos, a produção efetiva de biogás é inferior à capacidade de produção nominal, em razão das variações climáticas, da estacionalidade da produção agropecuária (disponibilidade de biomassa) e da indivisibilidade de peças e equipamentos da unidade biodigestora, entre outros. A eficiência técnica, qualitativa e quantitativa está relacionada à composição química da matéria-prima e às condições em que ocorre a fermentação, podendo-se verificar que, quanto mais puro o biogás, maior será o poder calorífico do mesmo (5.000 a 7.000 KCal/m^3 , Batista 1980 e Ferraz & Marriel 1980). Em média, a equivalência energética de 1 m^3 de biogás com alguns combustíveis é: 0,61 litros de gasolina; 0,58 litros de querosene; 0,55 litros de óleo diesel; 0,45 kg de gás liquefeito de petróleo (GLP) e 1,43 Kw/h (Ferraz & Marriel 1980).
- b. O critério econômico, que permite estimar o nível de produção com o mínimo custo, considerando os efeitos de "economias de tamanho" e "rendimentos físicos de escala". A demanda de biogás para as necessidades rurais que orientam as aplicações de investimento poderão ser baseadas nos critérios técnicos de consumo.

O tamanho do biodigestor poderá ser determinado, de acordo com os dados disponíveis, como solução ótima no sentido de assegurar a maior diferença entre custo e bene-

fícios ou pelo custo unitário (Cr\$/m³) mais baixo. A escala será determinada com base nos preços relativos (preço do biogás para cada escala de operação/preços dos derivados do petróleo a serem substituídos) e pela taxa de desconto aplicada ao investimento durante a vida útil estimada.

Em cada período, deve-se considerar a depreciação, vista como fonte de fundos, que, ao final da vida útil estimada da unidade biodigestora, assegure a eventual substituição do ativo. Esta reposição do ativo, feita em forma cumulativa, leva a tirar uma quota de depreciação do "lucro operacional", em cada período. Na presente análise, utilizar-se-á o método de depreciação do "fundo acumulativo de amortização". A anualidade de depreciação é determinada (Holanda 1975) pela fórmula:

$$d = I_0 \left(\frac{i}{(1+i)^n - 1} \right), \quad (1)$$

em que d é anualidade de depreciação em cruzeiros reais; I_0 é inversão inicial em cruzeiros reais; n é vida útil do ativo em anos e i é a taxa de juro real de 8% ao ano.

A vida útil será estimada como uma média ponderada pela importância relativa dos componentes e pela vida útil esperada dos respectivos componentes (com base na sua natureza de construção e uso). Convém esclarecer que a decisão de substituição do ativo poderá dissociar-se dos valores contábeis estimados, por razões tecnológicas ou econômicas (obsoleto, elevados custos operacionais ou de conservação, etc.).

Com os dados técnicos apresentados por Batista (1980) e Seixas et al. (1981), ajustar-se-á uma função de custo em que os níveis de insumos fixos (instalação da unidade biodigestora) são representados por α . Este parâmetro recolhe os efeitos de "escala de operação" (quanto maior for α , maior será o tamanho da unidade). A análise econômica de curto prazo refere-se à utilização ótima da escala especificada na análise de longo prazo. A decisão do tamanho ótimo envolve um conjunto de fatores agrupados, pela sua natureza, em econômicos, financeiros e tecnológicos. A função genérica de custos pode ser definida em função dos argumentos produção de biogás e escala de operação:

$$CT = f(Q, \alpha) \quad (2)$$

em que CT é custo total de produção; Q é nível de produção e α o fator de escala.

A equação 2 descreve uma família de curvas de custo ao atribuir valores a α . Neste sentido, definida a escala, $\alpha_0 = \alpha_1$, a função se reduz a uma curva a curto prazo. A equação 2 será estimada pelo "método dos mínimos quadrados ordinários" (MQO).

A economia de escala, definida como o decréscimo do custo médio (CM_e) decorrente do aumento na escala de produção (Q), pode ser expressa (Holanda 1975) por:

$$I_i = I_j (Q_i/Q_j)^\alpha \quad (3)$$

em que I_i (i, j) é investimento em cruzeiros reais das unidades i e j ; Q_i (i, j) é nível de produção de biogás das unidades i e j ; α é fator de escala definido no domínio ($1 < \alpha < 1$) segundo se verificarem economias ($\alpha < 1$), deseconomias ($\alpha > 1$) ou sejam alternativas equivalentes ($\alpha = 1$).

A receita do equivalente dos combustíveis convencionais, poupados pela utilização do biogás, será estimada de acordo com dois níveis de preço: a) os preços de mercado pagos pelo consumidor acrescidos dos custos de transporte, e b) os preços dos combustíveis convencionais, corrigidos de acordo com o custo social da divisa.

O custo da divisa será estimado pelo método "câmbio de paridade" baseado na "teoria do poder aquisitivo das moedas". O índice do poder aquisitivo se exprime por:

$$\frac{1/IGP - DI}{1/IPC} = \frac{IPC}{IGP - DI}, \quad (4)$$

em que IPC é Índice de Preço ao Consumidor dos EUA; $IGP - DI$ é Índice Geral de Preços - Disponibilidade Interna do Brasil.

A variação relativa da taxa cambial será proporcional à variação relativa do índice 2, quando não existe distorção no mercado de divisa; caso contrário, ter-se-á um subsídio dado pelo valor da diferença na proporcionalidade.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1, apresentam-se resultados do desempenho do biodigestor modelo indiano, com volume total definido entre 3,3 a 53,0 m³. Este tipo de biodigestor é conveniente, segundo Seixas et al. (1981), para materiais homogêneos, como é o caso do esterco bovino. Pela análise das relações econômicas, conclui-se que os custos médios, expressos em cruzeiros reais, experimentam gradativas quedas com o aumento do volume total e/ou da produção diária de biogás. Para unidades menores, o custo médio (Cr\$/m³) de instalação do sistema é de 2,8 vezes superior ao custo médio estimado para as grandes unidades, em torno de Cr\$ 629 - cruzeiros de 1977. Em termos relativos (m³ de biogás/m³ de volume total) as menores unidades apresentam um índice de 1,57, enquanto nas maiores este índice é de 1,51, indicando certa melhora tecnológica nas unidades maiores, além da economia de escala observada pela redução do custo médio.

TABELA 1. Características técnicas e econômicas de unidades de biodigestor modelo indiano.

Volume total ^a (m ³) A	Carregamento esterco bovino ^a (kg/dia) B	Produção de biogás ^a (m ³ /dia) C	Custo total		Relações econômicas		
			Cruzeiros nominais ^a (Set/1979) D	Cruzeiros reais de 1977 E	E/A Cr\$.m ⁻³	E/B Cr\$.kg ⁻¹	E/C Cr\$.m ⁻³
			3,30	50 - 55	2,10	13.922	5.864
4,42	65 - 75	2,80	17.634	7.428	1.680	106	2.653
5,56	83 - 93	3,50	21.040	8.863	1.594	101	2.532
7,50	100 - 110	4,20	22.980	9.680	1.290	92	2.305
8,00	120 - 130	5,00	23.310	9.819	1.227	78	1.964
9,30	135 - 140	5,60	25.705	10.828	1.164	78	1.933
10,50	150 - 160	6,30	26.230	11.049	1.052	71	1.754
11,20	170 - 180	7,00	28.085	11.830	1.056	68	1.690
14,00	200 - 220	8,40	33.589	14.149	1.011	67	1.684
17,00	250 - 270	10,50	36.794	15.498	911	60	1.476
22,00	340 - 360	14,00	44.553	18.767	853	54	1.340
27,40	425 - 450	17,50	51.365	21.636	790	49	1.236
53,00	860 - 890	35,00	79.177	33.352	629	38	952

^a Fonte: Batista (1980).

As normais climáticas da região, especificamente as de temperatura, de $25,7 \pm 1,5^{\circ}\text{C}$ (out/mar) e $25,3 \pm 2,5^{\circ}\text{C}$ (abr/set) favorecem a ação das bactérias metanogênicas mais eficientes (termofílicas e mesofílicas, entre 20°C e 45°C) no processo de digestão, o que se traduz num menor "tempo de retenção" de sólidos no digestor. Esse período de retenção foi estimado entre 20 a 30 dias, enquanto a carga diária média, calculada com base na Tabela 1, foi de 24 kg a 26 kg de esterco bovino por 1 m³ de biogás.

O tamanho "ideal" do biodigestor é, fundamentalmente, um problema de economia definido pela expressão:

$$\hat{I}_i = I_j (Q_i/Q_j)^{0,59 \pm 0,36} \quad (5)$$

* Nível de significância do intervalo de confiança de 20%.

Para os níveis de produção de biogás considerados na Tabela 1, conclui-se que há significativas economias de escala. Em termos médios e dentro da faixa de 3,3 a 53,0 m³ de volume total, o aumento do custo, expresso em cruzeiros de 1977 e sob a hipótese de que os valores considerados re-

presentem o capital principal do investimento, ao passar de uma unidade para outra de maior capacidade, é dado pelo aumento da produção diária de biogás elevado à potência $0,59 \pm 0,36$. O valor modal do fator de escala oscila entre 0,8 a 0,9, próximo ao estimado pelo método dos mínimos quadrados ordinários (MQO) de 0,89.

A curva de custo estimada pelo método dos MQO é:

$$\hat{C}M_e = 3233,86 - 705,83 \ln(Q) \quad (6)$$

(29,78)** (-13,47)**
F = 181,44 R² = 0,94 DW = 0,69

em que $\hat{C}M_e$ é custo médio estimado, expresso em cruzeiros de 1977 (Cr\$/m³ de biogás); F, R² e DW são as estatísticas da análise de variância, do coeficiente de determinação e do teste de autocorrelação serial de Durbin-Watson; ln é a base dos logaritmos neperiano; ** Nível de significância de 1%.

O teste de Durbin-Watson é inconclusivo, uma vez que o valor estimado de 0,69 fica compreendido nos valores extremos da tabela de decisão apresentada por Savin & White (1977).

A variação do custo médio, na amplitude considerada na Tabela 1, está inversamente relacionada com a produção diária de biogás. Para uma estimativa do CM_e de Cr\$ 1.870/m³, cruzeiros de 1977, foi calculada a elasticidade de custo médio - produção diária de biogás de -0,33. Neste sentido, um aumento de 10% na produção de biogás estará associado a um decréscimo de 3,3% no custo médio decorrente do aumento da capacidade de planta. A partir da relação entre a elasticidade de custo médio (γ) e a função coeficiente (ξ), ($\gamma = 1/\xi - 1$) (Ferguson 1969) foi estimado $\xi = 1,49$, indicando rendimentos em escala crescente. As relações das curvas de custo marginal (CM_g) e custo médio (PM_e) inversamente correspondidas, permitem concluir que a escala de operação, na faixa analisada, não atingiu seu nível ótimo de eficiência econômica. Neste sentido, a expansão de todos os insumos e seu correspondente aumento nos custos de implantação provoca acréscimos mais que proporcionais na produção de biogás. Dois fatores, geralmente vinculados, poderão explicar este comportamento: a) os rendimentos de escala (aspectos físicos da produção) refletidos na maior eficiência operacional do sistema com alguma especificidade de peças e funções; e b) economias de escala (aspectos econômicos) que se referem a custo médio de longo prazo decrescente, em virtude de preços de insumos mais baixos e menores custos operacionais e de administração, além de reduzir riscos em certa fase do processo produtivo.

Analisando as propostas orçamentais de Seixas et al. (1981) para diversas capacidades de produção de biogás do digestor indiano, estimou-se a elasticidade do custo total de 0,74 com a função coeficiente de 1,35. Complementando as análises das duas séries de dados, para determinar o ponto ótimo, conclui-se que o volume total a ser instalado não deverá ser inferior a 100 m³.

Crítérios técnicos, especialmente no que se refere a um fluxo de disponibilidade de esterco bovino, relativamente reduzido, numa fazenda típica do Pantanal (pecuária de corte extensiva, com um mínimo de práticas de manejo) e alguns critérios econômicos relacionados com a demanda de biogás para as necessidades da família rural (cozinha: 0,23 - 0,45 m³/pessoa/dia; iluminação: 0,13 m³/lâmpada de 100 watts/hora equivalente a 6 kg de

esterco bovino/pessoa ou 3,5 kg de esterco bovino/100 watts, respectivamente) nortearam a escolha do tamanho das unidades relativamente pequenas (2,4, 6,2 e 13,2 m³ de biogás/dia) cuja análise econômica é baseada em especificações de orçamentos.

Na Tabela 2, apresenta-se a descrição dos materiais disponíveis e utilizados na construção do biodigestor modelo indiano, com seus respectivos preços deflacionados pelo IGP-DI. A localização do poço digestor deverá atender aspectos econômicos e de infra-estrutura já instalada na fazenda; no aspecto econômico, consideram-se as despesas com mão-de-obra na carga e descarga da unidade biodigestora, bem como o custo de transporte do biogás até o centro de consumo. Cada situação demanda uma análise particular, em função da localização dos currais, centros de consumo, topografia e outros fatores variáveis de uma para outra situação. Estas considerações poderão requerer ajustes na especificação de materiais e no custo de construção do biodigestor.

Em alguns casos a especificidade e/ou indivisibilidade de peças ou serviços não permite considerar a parte efetivamente utilizada pela unidade, observando-se, em tais casos, recursos ociosos e/ou subutilizados que contribuem na elevação dos custos nas unidades menores. Convém salientar que a especificação de materiais da Tabela 2 não constitui um aspecto rígido da análise, podendo-se realizar substituições, se permitidas tecnicamente, que reduzam os custos de implantação.

As despesas com transporte dos materiais de construção até a fazenda, numa distância de 100 km, durante a estação de seca, foi de Cr\$ 4.739/viagem de caminhão.

Na especificação dos custos (Tabela 2) se observa que os itens de maior peso são o poço digestor (32,1% a 31,6%) e as despesas com mão-de-obra (27,0% a 35,1%). Na unidade menor, o custo do poço digestor foi estimado em Cr\$ 1.599/m³ de capacidade, enquanto na unidade maior, essa despesa ficou reduzida em 55,5% (Cr\$ 709/m³ de capacidade). As despesas com mão-de-obra, na unidade menor, foram estimadas em Cr\$ 1.340/m³ de capacidade, reduzindo-se para Cr\$ 787/m³ de capacidade, na unidade maior.

TABELA 2. Especificação dos materiais e do custo de construção de unidades de biodigestor modelo indiano, Pantanal Mato-grossense, 1983.

Especificação	Preço unit. (Cr\$)	Capacidade (m ³)					
		4,5 (2,4)		10,4 (6,2)		20,0 (13,2)	
		Quant.	Custo	Quant.	Custo	Quant.	Custo
1. Poço digestor							
1. Tijolo maciço (mil)	1.263,0	4,2	5.304,6	5,3	6.693,9	8,3	10.482,9
2. Areia (m ³)	202,0	1,8	363,6	2,5	505,0	4,5	909,0
3. Pedra britada n.º 2 (m ³)	342,8	0,5	171,4	0,7	240,0	1,2	411,4
4. Cimento (bolsa)	69,2	12,0	830,4	18,0	1.245,6	27,0	1.868,4
5. Tubo PVC, 6" (m)	500,0	1,0	500,0	1,0	500,0	1,0	500,0
Total	-	-	7.170,0	-	9.184,5	-	14.171,7
2. Guia central							
1. Cantoneira (1/2 x 1/2 x 1/8") (kg)	8,8	4,0	35,2	5,0	44,0	6,0	52,8
2. Cano ferro galvanizado 2,5" (6 m)	582,0	2,0	194,0	2,0	194,0	3,0	291,0
3. Chapa ferro (3 x 1/2 x 1,8") (kg)	8,1	88,0	712,8	125,0	1.012,5	17,6	1.425,6
4. Parafusos, uniões, etc.	-	-	240,0	-	326,0	-	612,0
Total	-	-	1.146,0	-	1.576,5	-	2.381,4
3. Campânula							
1. Cantoneira (kg)	8,8	8,0	70,4	12,0	105,6	18,0	158,4
2. Tubo 2" (6 m)	489,8	2,0	163,3	2,0	163,3	3,0	244,9
3. Chapa preta (2 x 1 x 1/8") (kg)	8,1	-	1.385,0	-	1.972,0	-	2.769,0
Total	-	-	1.622,6	-	2.293,0	-	2.304,0
4. Acessórios							
1. Vergalhão 5/8" (kg)	5,8	17,0	98,6	20,0	116,0	22,0	127,6
2. Registro/gás (unid.)	94,4	1,0	94,4	1,0	94,4	1,0	94,4
3. Tubo PVC 2" (3 m)	55,1	6,0	330,6	6,0	330,6	6,0	330,6
4. Tinta anti-corrosiva (18 l)	653,0	1,0	653,0	2,0	1.306,0	2,0	1.306,0
5. Filtro/eliminar dióxido carbono (unid.)	446,0	1,0	446,0	1,0	446,0	1,0	446,0
Total	-	-	1.622,6	-	2.293,0	-	2.304,0
5. Mão-de-obra							
1. Constr. digestor	44,2	62,0	2.740,4	89,0	3.933,8	142,0	6.276,4
1. Constr. gasômetro	-	-	3.288,0	-	5.918,4	-	9.469,4
Total	-	-	6.028,4	-	9.852,2	-	15.745,8
6. Desp. transp. (serviço)			4.739,0		4.739,0		7.108,5
Custo total	-	-	22.324,7	-	29.886,1	-	44.883,7
Aplicação/m ³ de biogás	-	-	9.301,9	-	4.820,3	-	3.400,3

Fonte: Batista (1980) e Seixas et al. (1981) (coeficientes técnicos).

O investimento requerido por m^3 de biogás/dia poderá variar de Cr\$ 9.302 na unidade menor e Cr\$ 3.400 na unidade de $13,3 m^3$ de biogás/dia.

A vida útil esperada do biodigestor foi estimada com uma média ponderada, considerando que o poço digestor poderá ser utilizado economicamente durante 16 anos, enquanto o gasômetro (guia central, campânula e acessórios) se espera poder utilizar durante 8 anos, se convenientemente conservado. A estimativa média da vida útil é de 11,7 anos, próxima à considerada por Gorgatti Netto & Dias (1982) de 15 anos do biodigestor e 7 anos dos equipamentos.

Nas especificações técnicas de manutenção do digestor, citadas por Batista (1980), recomenda-se a desativação total da unidade a intervalos de dois a três anos, para limpeza e reparos na alvenaria. Esta interrupção do processo de fermentação, assim como o tempo gasto na limpeza e reparos da alvenaria, poderá variar de 30 a 36 dias por período.

As variações sazonais na oferta de matéria-prima e as interrupções normais (12 dias/ano) da produção, para efeitos de conservação da unidade, poderão reduzir a produção de biogás em 8%.

Os preços utilizados na valoração dos bens e serviços deverão traduzir, no possível, a escassez dos recursos, isto é, corresponder à situação de equilíbrio entre as respectivas quantidades demandadas e ofertadas. Para o caso do Pantanal, no qual se estima que 60% da mão-de-obra poderá apresentar, pelo menos, 20% de ociosidade, considera-se o aproveitamento de uma hora de serviço, por trabalhador fixo da fazenda, sem aumento de custo. Na hipótese de se ter dois trabalhadores fixos, verificar-se-ão decréscimos, nas despesas com salário, de 53,6%, 31,0% e 21,7% para as unidades de 4,5, 10,4 e $20,0 m^3$ de volume total, respectivamente.

A produção anual de biogás, esperada nos três níveis de planta considerados, foi calculada em 804, 2.077 e $4.422 m^3$. Esta produção, em termos de suas respectivas equivalências energéticas dos derivados do petróleo ou de energia elétrica, corresponde a 490, 1.266 ou 2.697 litros de gasolina; 361 (27 botijões), 934 (71 botijões) ou 2.000 (153 botijões) kg de gás liquefeito de petróleo (GLP); 442, 1.142 ou 2.432 litros de óleo diesel;

466, 1.204 ou 2.564 litros de querosene ou 1.149, 2.970 ou 6.323 kwh.

Os preços reais dos derivados do petróleo, a nível de consumidor, são: Cr\$ 7,63/litro de gasolina; Cr\$ 4,79/litro de querosene; Cr\$ 4,72/litro de óleo diesel e Cr\$ 44,61/botijão de gás GLP de 13 kg.

Na Tabela 3, apresentam-se os índices de variação dos preços verificados nos EUA e no Brasil e a relação dos mesmos, para estimar o índice de paridade da taxa cambial. Consoante com o princípio do poder aquisitivo da moeda, admite-se que a variação da taxa de câmbio seja proporcional à variação do poder aquisitivo do cruzeiro em relação ao dólar (tomado como numerário na presente análise), em situações de equilíbrio do mercado de divisas. Entretanto, quando o saldo em conta corrente do balanço de pagamentos é negativamente crescente e da magnitude registrada no País até 1983 (Conjuntura econômica 1983), o custo da divisa é maior que o dado pela taxa cambial oficial. A margem do custo da divisa tem efeitos nas importações e nas exportações. O efeito de restrição nas importações depende da importância econômica do menor consumo do bem importado (elasticidade-preço da demanda de importação) e do custo de oportunidade dos recursos alocados na produção de substitutos (elasticidade-preço de produção dos bens substitutos, alternativos à importação). Para o caso do petróleo, a transição energética é muito lenta e sem estrutura de substituição, de viabilidade econômica, claramente definidas.

A teoria da paridade do poder aquisitivo da moeda estabelece relação proporcional entre os níveis de preço nacional e internacional, conduzindo a resultados aceitáveis quando a taxa cambial do "período base" se ajusta à taxa de câmbio de paridade e os índices de preço são apropriadamente escolhidos. Para o equilíbrio do poder de compra, baseado em fatores monetários e nos preços dos bens do comércio internacional, utilizam-se os IGP-DI (Brasil) e IPC (EUA). Se considerado o "período normal" de 1972, verifica-se (Tabela 3, colunas (D/E-1) e (D/F-1)) que durante o período 1973/79 a taxa de câmbio esperada foi superior à observada, quando considerado o efeito cumulativo da valoração do dólar, em relação à paridade. A segunda crise do petróleo, acompanhada de signifi-

TABELA 3. Índice de preço ao consumidor (EUA), índice geral de preço - disponibilidade interna (Brasil), taxa de câmbio, taxa de paridade e subsídio aparente da taxa cambial. 1972/83.

Ano ou Trim.	Índice de preço ao consumidor ^a IPC (EUA) 1975 = 100 (A)	Índice geral ^a preço disponibilidade interna IGP-DI (Brasil) 1977 = 100 (B)	Taxa de câmbio média ponderada (Cr\$/US\$) (D)	Taxa de câmbio esperada em relação à paridade. Efeito simples (Cr\$/US\$) (E)	Taxa de câmbio esperada em relação à paridade. Efeito cumulativo (Cr\$/US\$) (F)	Subsídio aparente referido período normal (%) Simples cumulativo (D/E-1) (D/F-1)	Taxa de câmbio esperada corrigida. Efeito cumulativo (Cr\$/US\$) (G)	Subsídio aparente. Efeito cumulativo (%) (D/G-1)
1972	77,71	26,25	5,93	6,42	6,42	4,51	8,23	27,95
1973	82,47	30,16	6,13	7,10	7,44	4,36	8,91	31,20
1974	91,63	38,81	6,79	7,95	8,72	-2,26	10,32	34,20
1975	100,00	49,63	8,13	10,85	11,64	1,66	12,09	32,75
1976	105,80	70,10	10,67	14,30	15,60	1,11	16,14	33,89
1977	112,60	100,00	14,14	18,22	10,10	0,88	21,63	34,63
1978	121,20	138,70	18,06	24,95	27,77	-7,69	27,88	35,22
1979	135,00	213,50	26,87	46,65	49,01	-12,97	38,52	30,24
1980	153,20	427,5	52,70				67,96	22,45
1981 ^b								
1º	163,20	738,40	70,62	72,77 ^e	72,77 ^e	2,95	100,91 ^e	30,01
2º	166,90	864,00	83,83	80,72	83,18	-3,85	115,34	27,32
3º	171,60	1.018,10	99,56	96,09	95,35	-3,61	132,22	24,70
4º	173,90	1.161,30	118,05	112,71	107,95	-4,74	149,68	21,13
1982 ^a								
1º	175,20	1.414,20	137,96	143,10	130,85	3,59	181,45	23,97
2º	180,00	1.707,50	159,95	162,13	153,78	1,34	213,23	24,98
3º	181,60	1.986,10	189,57	184,42	177,29	-2,79	245,84	22,89
4º	181,3	2.319,40	230,06	221,74	207,38	-3,75	287,56	19,99
1983								
1º	181,5	2.965,80	325,47	294,50	265,46	-10,52	368,10	11,58
2º	183,9	3.880,10	475,39	420,25	342,77	-13,12	475,30	0

a Conjuntura econômica (1983);

b Conjuntura econômica (1982);

c Taxa de paridade = $(1 + IGP-DI/100)/(1 + IPC/100) \times 100-100$;

d Mudança estimada com relação ao valor observado em dezembro;

e Estimado em relação à taxa de câmbio de dez/80 (Cr\$ 64,04/US\$).

cativas altas da taxa de juro, internacional e concomitante elevação do serviço da dívida externa encontrou o País em situação mais vulnerável do que em 1973, no que diz respeito às contas externas. Em 1973, as reservas internacionais correspondiam a 1,04 vezes o valor total das importações anuais e a 9,02 vezes o valor das importações anuais de petróleo bruto e derivados. Em 1979, esses coeficientes eram de 0,54 a 1,51, respectivamente (Agroanalysis 1982). As autoridades económicas acreditaram que a mudança de preços relativos corrigiria o desequilíbrio externo. Entretanto, o efeito da desvalorização cambial de 30%, no final de 1979, mostrou-se, somente durante 1980, com subsídios negativos de 7,53%, observando-se nova sobrevalorização, em relação à paridade, no primeiro trimestre de 1981. A intensidade do reajuste na taxa de câmbio permitiu mostrar valores negativos do "subsídio aparente", a partir do segundo trimestre de 1983, em razão da maxidesvalorização, em 30%, de fevereiro de 1983. Segundo Braga & Mascolo (1983), a sobrevalorização do cruzeiro, que se supôs eliminada com a maxidesvalorização nominal, do início de 1983, voltou a se mostrar presente, a partir de junho de 1983, quando, para uma desvalorização nominal de 13,1%, necessária à manutenção da paridade do poder de compra do cruzeiro, a moeda nacional variou em apenas 10% frente ao dólar, sobrevalorizando-se portanto, naquele mês, em cerca de 3%. Acrescentam os autores que, em julho do mesmo ano, e pela mesma razão, a sobrevalorização cresceu em cerca de 1%.

A subvalorização do cruzeiro, em 1983 (colunas (D/E-1) e (D/F-1), Tabela 3) estão baseadas numa pressuposição crucial referente ao período normal. Segundo Bergsman & Malan (1970), em 1967 existia uma taxa média de proteção de 37%, para 25 produtos. Tyler (1980), baseado na matriz insumo-produto, estimou níveis de proteção tarifária muito altas e variáveis entre indústrias e entre produtos; para o setor de refinaria petroquímica, a tarifa efetiva foi de 30,8%, no período 1978/80.

Na presente análise, "corrige-se" a taxa de câmbio do período normal pela "tarifa aparente" do segundo trimestre de 1983, com base na pressuposição de que o impacto da maxidesvalorização re-

moveu o subsídio implícito na taxa cambial. A última coluna da Tabela 3 apresenta a evolução do "subsídio aparente", estimado em $31,4\% \pm 4,1\%$ durante o período 1973/80 e $25,6 \pm 3,7\%$, nos oito trimestres de 1981/82. Para todo o período, observa-se variação de 23% a 33,2%.

Para estimar as receitas alternativas do biodigestor consideram-se "correções" nos preços de GLP, óleo diesel e óleo combustível, da ordem de 36,64%. Para o caso da gasolina, foi estimado acréscimo, no preço, de 18%, baseado na equivalência de preço dos derivados do petróleo no mercado "spot" de Rotterdam.

Dados fornecidos pela Empresa de Energia Elétrica de Mato Grosso do Sul (ENERSUL) mostram que o custo médio de implantação de rede de alta tensão, no Pantanal, oscila entre Cr\$ 61.855 e Cr\$ 71.020/km, cruzeiros de 1977. Este custo poderá aumentar ainda mais, dependendo das condições locais do solo. Santos & Nogueira (1981) concluíram que a aquisição de energia só é vantajosa para adensamentos superiores a 1,25 consumidores/km de linha de transmissão. Cadavid García (1983), analisando a estrutura fundiária do Pantanal, estimou que o valor modal do tamanho da fazenda situa-se na faixa de estabelecimentos de 10.800 ha ou mais, com área média entre 20.247 e 23.110 ha traduzindo-se em adensamento inferior a 0,1 propriedade/km. Isto, aliado ao baixo índice de utilização de energia elétrica na família rural pantaneira, inviabilizará o investimento de eletrificação rural, quando considerado o repasse ao usuário do reintegro do capital.

O custo de transporte, até a fazenda, dos combustíveis derivados do petróleo economizados foi estimado em Cr\$ 0,86/kg de carga, cruzeiros de 1977, acrescido de 20% pelos riscos inerentes aos produtos inflamáveis. Outros custos economizados referem-se às quotas de depreciação de tanques utilizados no transporte e armazenamento dos combustíveis na fazenda. Foi considerado um acréscimo de 20% sobre o valor do combustível para compensar os riscos durante o armazenamento. No caso dos combustíveis líquidos, utilizaram-se dois tambores na unidade menor e três nas outras unidades, a um custo de Cr\$ 197/tambor e vida útil de três anos.

As especificações dos custos e das receitas

anuais da substituição de fontes energéticas convencionais pelo biogás são apresentadas na Tabela 4. Nos custos, foram consideradas duas alternativas com relação ao fator trabalho, enquanto na estimativa das receitas, as opções consideradas foram a preços de mercado e sem subsídio do produto.

Na Tabela 5, apresenta-se a análise financeira da substituição de fontes energéticas convencionais derivadas do petróleo pelo biogás produzido na propriedade rural, observando-se que a atividade poderá ser rentável somente na substituição de gasolina e querosene, nas unidades maiores, com índice de rentabilidade (receita líquida/custo total) de 90 a 5, respectivamente. Ainda, nas unida-

des de 6,2 m³ de biogás/dia observa-se rentabilidade de 29%. Todas as alternativas de substituição resultam economicamente inviáveis quando a capacidade de planta é de 4,5 m³.

Pelo conceito de quase-renda aplicado à remuneração do fator trabalho, observa-se que, para a produção de 2,4 m³ de biogás/dia, é possível, como máximo, um salário de Cr\$ 23/dia-serviço, quando considerada a renda do equivalente em gasolina. Para as rendas equivalentes em querosene e óleo diesel, o salário poderá ser Cr\$ 6,5 ou Cr\$ 5,2/dia-serviço, respectivamente. A remuneração ao fator trabalho poderá ser maior se considerado o decréscimo de 53,6% quando se utiliza mão-de-obra fixa ociosa da fazenda.

TABELA 4. Investimento, custos e receitas anuais da substituição de fontes energéticas convencionais derivadas do petróleo pelo biogás, Pantanal Mato-grossense, 1983.

Especificação	Capacidade (m ³)		
	4,5 (2,4)	10,4 (6,2)	20,0 (13,2)
1. Investimento			
1. Poço digestor (Cr\$)	12.280	15.488	24.302
2. Campânula e acessórios (Cr\$)	10.045	14.398	20.581
Total (A) (Cr\$)	22.325	29.886	44.884
2. Custos anuais			
1. Salário (mínimo da região) (Cr\$)	4.914	8.505	12.127
2. Salário (custo de oportunidade) (Cr\$)	2.280	5.868	9.496
3. Conservação (2% de 1.1 + 8% de 1.2) (Cr\$)	1.049	1.462	2.132
4. Depreciação (Cr\$)	1.223	1.637	2.458
Total (B) (2.1 + 2.3 + 2.4) (Cr\$)	7.186	11.603	16.718
Total (C) (2.2 + 2.3 + 2.4) (Cr\$)	4.552	8.967	14.086
Total (B) em ORTNs (Cr\$ 4.224,50, jun/83)	66	107	153
3. Receitas anuais: Alternativas			
1. Economia de óleo diesel (litros)	442	1.142	2.432
1. Preço de mercado (Cr\$ 4,72/litro)	2.086	5.390	11.479
2. Sem subsídio de 36,74%	2.851	7.366	15.686
3. Economia de transp., armaz. e riscos	995	2.438	4.988
2. Economia de querosene (litros)	466	1.204	2.564
1. Preço de mercado (Cr\$ 4,79/litro)	2.232	5.767	12.281
2. Sem subsídios de 36,74%	3.052	7.885	16.794
3. Economia de transp., armaz. e riscos	1.048	2.578	5.284
3. Economia de gasolina (litros)	490	1.266	2.697
1. Preço de mercado (Cr\$ 7,63/litro)	3.739	9.660	20.578
2. Sem subsídios de 18%	4.412	11.398	24.282
3. Economia de transp., armaz. e riscos	2.122	5.352	11.196
4. Economia de gás GLP (botijões)	27	71	153
1. Preço de mercado (Cr\$ 44,61/botijões)	1.204	3.167	6.825
2. Sem subsídios de 36,74%	1.647	4.331	9.333
3. Economia de transp., armaz. e riscos	372	964	2.064

TABELA 5. Análise financeira da substituição de fontes energéticas convencionais derivadas do petróleo pelo biogás. Pantanal Mato-grossense, 1983.

Especificação	Capacidade (m ³)		
	4,5 (2,4)	10,4 (6,2)	20,0 (13,2)
1. Óleo diesel: 1. Receita (preço de mercado)	3.080,8	7.828,7	16.466,6
2. Receita (preço ajustado)	3.845,5	9.804,4	20.674,0
3. Receita líquida ^b (preço de mercado)	a	a	a
4. Receita líquida ^b (preço ajustado)	a	a	3.955,8
5. Receita bruta/investimento (Tab. 5:1.) (%)	13,8	26,2	36,7
6. Receita bruta-custo fixo/trabalho (Cr\$/dia)	5,2	17,5	30,8
7. Receita líquida (1.3)/custo total (%)	a	a	a
2. Querosene: 1. Receita (preço de mercado)	3.280,4	8.345,1	17.565,9
2. Receita (preço ajustado)	4.100,5	10.462,8	22.078,0
3. Receita líquida ^b (preço de mercado)	a	a	847,8
4. Receita líquida ^b (preço ajustado)	a	a	5.359,8
5. Receita bruta/investimento (%)	14,69	27,9	39,1
6. Receita bruta-custo fixo/trabalho (Cr\$/dia)	6,5	19,4	33,7
7. Receita líquida ^b /custo total (%)	a	a	5,1
3. Gasolina: 1. Receita (preço de mercado)	5.861,2	15.011,9	31.774,6
2. Receita (preço ajustado)	6.534,1	16.750,6	35.478,6
3. Receita líquida ^b (preço de mercado)	a	3.408,5	15.056,4
4. Receita líquida ^b (preço ajustado)	a	5.147,2	18.760,4
5. Receita bruta/investimento (%)	26,2	50,2	70,8
6. Receita bruta-custo fixo/trabalho (Cr\$/dia)	23,0	44,1	70,6
7. Receita líquida ^b /custo total (%)	a	29,4	90,0
4. Gás GLP. 1. Receita (preço de mercado)	1.576,9	4.131,2	8.889,3
2. Receita (preço ajustado)	2.019,4	5.294,8	11.396,9
3. Receita líquida ^b (preço de mercado)	a	a	a
4. Receita líquida ^b (preço de mercado)	a	a	a
5. Receita bruta/investimento (%)	7,1	13,8	19,8
6. Receita bruta-custo fixo/trabalho (Cr\$/dia)	a	3,8	11,2
7. Receita líquida ^b /custo total	a	a	a

^a Valores negativos;

^b O custo total itens 2.1 + 2.3 + 2.4 Ta. 5.

Na capacidade de planta de 10,4 m³ de volume total, a remuneração do fator trabalho poderá ser Cr\$ 19,4 Cr\$ 17,5 ou Cr\$ 3,8/dia-serviço, quando a receita for estimada em equivalentes de querosene, óleo diesel ou gás GLP, respectivamente. Para o caso da gasolina, essa remuneração excede o salário considerado no presente estudo.

Os coeficientes de avaliação (receita bruta - custo fixo) /custo total - Tabela 5 - é de receita "quase" líquida (receita bruta - custo total - itens 2.2 + 2.3 + 2.4, Tabela 4) poderão ser de grande importância no caso em que há subutilização da

mão-de-obra fixa da propriedade, em que o custo de oportunidade resulta menor do que o salário mínimo considerado quando o fator é plenamente empregado.

É possível definir várias formas para determinar o custo de oportunidade do biofertilizante. Os resultados de análise de laboratório, quanto à composição química, poderiam ser uma das formas. A resposta física da biofertilização, comparada com aquela obtida das práticas de fertilização comercial, é outra forma. Nesta última forma, os resultados preliminares de pesquisa da EMBRAPA

no Pantanal mostram altos requerimentos de biofertilizante, indicando reduzido custo de oportunidade.

Cruz (1981) apresentou análise de custos e receitas para unidades geradoras de energia elétrica, estimando um investimento para a instalação completa da unidade biodigestora de Cr\$ 1.200.000 (Cr\$ 159.362, em cruzeiros de 1977; deflator utilizado IGP-DI fev/mar/1981). A produção esperada de biogás corresponde ao equivalente de 15 litros de óleo diesel/dia (aproximadamente 27 m³ de biogás/dia). Se considerada a receita do equivalente de combustível economizado, acrescida do valor do biofertilizante (5,6%), a receita líquida é negativa (-Cr\$ 48.750, em cruzeiros nominais). O autor estimou um índice de rentabilidade de 31,6%, quando considerou como principal fonte de receita a ração animal economizada.

Gorgatti Netto & Dias (1982) estudaram os custos e receitas da substituição de energia elétrica pelo biogás, numa unidade de 38 a 50 m³ de biogás por dia, a 20 cm H₂O de pressão. O investimento requerido foi de Cr\$ 2.100.000 (Cr\$ 96.101, cruzeiros de 1977; deflator IGP-DI nov/1982). Os autores estimaram um custo de Cr\$ 407.114 (Cr\$ 18.630, cruzeiros de 1977) correspondente a uma produção de biogás equivalente a 19.814 a 26.071 kwh. As receitas estimadas foram inferiores às despesas.

Beduschi et al. (1983) concluíram que a utilização do biodigestor na propriedade agrícola é economicamente viável e vantajosa, apresentando relação benefício-custo de 4:1. Os autores consideraram a taxa de juro nominal de 45% subsidiada, se comparada à taxa de inflação de 95,2%, em 1981; a depreciação do investimento foi estimada com base na vida útil de 30 anos e ainda consideraram o valor de sucata. Os autores estimaram que, para a produção de 10 m³ de biogás/dia, necessidades de 500 litros de mistura da recarga e distância de 1 km dos dejetos ao biodigestor, seriam suficientes apenas 2 horas de serviço/dia. Se considerado um índice de 6 horas de serviço/dia, as despesas passariam de Cr\$ 24.455 para Cr\$ 100.795 (salário mínimo de Cr\$ 24.455 acrescido dos encargos sociais). Finalmente, os autores calcularam que 41,7% da receita total são obtidos do biofertilizante.

Gryschek (1983), analisando a opção energética, com gás metano, conclui que as pequenas unidades de biodigestor chinês ou indiano apresentam altos custos, dados seus baixos rendimentos. O autor mostra um sistema compacto e móvel de geração de metano de médio e grande porte, com características técnicas de maior durabilidade, onde o emprego de mão-de-obra é reduzido e a manutenção, quando necessária, muito barata.

As comparações de rentabilidade, em igualdade de critérios técnicos e alternativos, apresentadas pelos autores citados, resultam muito próximas às estimadas no presente trabalho.

CONCLUSÕES

O biodigestor poderá constituir uma forma alternativa às fontes energéticas derivadas do petróleo, se consideradas as seguintes circunstâncias:

1. A partir de determinado nível de produção, quando as economias de tamanho e os retornos à escala permitam preços mais baixos dos insumos (indivisibilidade de peças e maior especificidade das mesmas), menores custos de operação e manutenção (especialização) e maior eficiência técnica no processo produtivo. A análise de unidades entre 3,3 e 70 m³ de volume total permitiu concluir que o nível de maior eficiência técnica correspondeu a unidades com capacidade volumétrica superior a 70 m³. Para unidades compreendidas entre 3,3 e 53 m³ de volume total foi estimado um coeficiente de elasticidade custo médio-produção de biogás por dia de -0,33, correspondente à função coeficiente de 1,49. Neste sentido, um aumento de 10% na produção de biogás estará associado a um decréscimo de 3,3% no custo médio, *ceteris paribus*. Conforme a função coeficiente, conclui-se pela existência de retornos crescentes à escala, sendo o fator de escala estimado no intervalo 0,59 ± 0,36, com valor modal de 0,80 a 0,90. Este fator permite inferir que o aumento de custo, ao passar de uma unidade para outra maior, estará dado pelo aumento da produção diária de biogás elevado à potência 0,59 ± 0,36, no intervalo de variação do volume total especificado.

2. Na especificação do investimento, para três unidades de biodigestor modelo indiano relativa-

mente pequenas (4,5, 10,4 e 20,0 m³ de volume total), verifica-se que a aplicação por m³ de produção de biogás por dia varia de Cr\$ 9.302 (na unidade menor) a Cr\$ 3.400 (na unidade maior), quando considerada a vida útil de 11,7 anos. Para unidades maiores e sob a hipótese de melhora tecnológica na campânula e acessórios (34% a 38% do investimento), é possível aumentar a vida útil da unidade; com decréscimos nos custos fixos.

3. Na composição dos custos anuais, observa-se que as despesas com mão-de-obra representam de 68% a 72% dos custos totais, seguida da depreciação e das despesas com reparo e conservação da unidade. O fator variável (mão-de-obra) poderá experimentar sensíveis quedas no custo, quando se incorpora mão-de-obra ociosa da fazenda.

4. A receita do biodigestor foi considerada como o equivalente dos combustíveis, derivados do petróleo (óleo diesel, querosene, gasolina ou gás GLP), poupados na fazenda de 804, 2.077 ou 4.422 m³ de gás metano, produto final da fermentação anaeróbica de dejetos animais. Este equivalente foi definido em cruzeiros reais, considerando dois níveis de preço dos combustíveis convencionais: o preço de mercado pago pelo consumidor e o preço "ajustado", com base na estimativa do subsídio "aparente" calculado para as importações, de 36,7%, (70,7% (1982) do consumo importado). O ajuste dos preços foi de 36,7% para óleo diesel, querosene e gás GLP e 18% para o preço da gasolina.

5. A escala de operação de 4,5 m³ mostrou inviabilidade econômica para qualquer alternativa de substituição. A escala de 10,4 m³ apresentou índices de rentabilidade de 29,4%, para a opção de substituição de gasolina, enquanto a escala de operação de 20 m³ foi rentável nas opções de substituição de gasolina, óleo diesel e querosene.

REFERÊNCIAS

- AGROANALYSIS. Rio de Janeiro, v.6, n.1., p.2-10, jan. 1982.
- BACHA, E.L.; ARAÚJO, A.B.; MATA, M. da & MODENESI, R.L. Análise governamental de projetos de investimento no Brasil; procedimentos e recomendações. 2.ed. Rio de Janeiro, INPES/IPEA, 1972. 206p. (Relatório de Pesquisa, 1).
- BARROS, J.R.M. de & GUARNIERI, L.C. Energia alternativa e o futuro. Conj. econ., Rio de Janeiro, 37(8): 84-91, ago. 1983.
- BATISTA, L.F. Manual técnico; construção e operação de biodigestores. Brasília, EMBRATER, 1980. 54p. (Manuais, 24).
- BEDUSCHI, L.C.; LOPES, L.R.; BENINCASA, M.; ORTOLANI, A.F.; LUCAS JÚNIOR, J.; SANTIANO, A.C. & CASTANHEIRA, L.C. Viabilidade econômica de biodigestores. Campinas, CATI, 1983. 6p. (CATI. Documento Técnico, 47).
- BERGSMAN, J. & MALAN, P. A estrutura de proteção industrial do Brasil. R. bras. Econ., abr./jun. 1970. p.97-144.
- BRAGA, H.C. & MASCOLO, J.L. Setor externo; economia mundial. Conj. econ., Rio de Janeiro, 37(6): 65-71, ago. 1983.
- CADAVID GARCIA, E.A. Estrutura fundiária do Pantanal mato-grossense. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ECONOMIA E SOCIOLOGIA RURAL, 21., Brasília, DF, 1983. Agricultura; saída para a crise? Grupos especiais. Brasília, s.ed., 1983. p.18-25.
- CONJUNTURA ECONÔMICA. Rio de Janeiro, v.36, n.12, dez. 1982.
- CONJUNTURA ECONÔMICA. Rio de Janeiro, v.37, n.8, ago. 1983.
- CONTADOR, C.R. Indexação; a experiência de duas décadas. Conj. econ., Rio de Janeiro, 37(6):93-100, jun. 1983.
- CRUZ, E.R. Metodologia para cálculo de rentabilidade de biodigestores. Coronel Pacheco, EMBRAPA-CNPGL, 1981. n.p. Trabalho apresentado no I Encontro de Biodigestores do Sistema EMBRAPA, Coronel Pacheco, MG, 1981.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA, Brasília, DF. Programa nacional de pesquisa de energia; documento para discussão. Brasília, EMBRAPA, 1981. 73p.
- FASSY, A.S. O Brasil e o dilema energético. Rio de Janeiro, Civilização Brasileira, 1981. 122p.
- FERGUSON, C.E. The neoclassical theory of production and distribution. New York, Cambridge Univ. Press, 1969. 383p.
- FERRAZ, J.M.G. & MARRIEL, I.E. Biogás; fonte alternativa de energia. Sete Lagoas, EMBRAPA-CNPMS, 1980. 20p. (EMBRAPA-CNPMS. Circular Técnica, 3).
- GORGATTI NETTO, A. & DIAS, J.M.C.S. Integração entre problemas sociais, econômicos e ambientais para a produção de biogás a partir de resíduos orgânicos. In: SIMPÓSIO LATINO-AMERICANO SOBRE PRODUÇÃO DE BIOGÁS A PARTIR DE RESÍDUOS ORGÂNICOS, São Paulo, SP, 1982. Anais... São Paulo, EMBRAPA, 1982. 32p.
- GRYSCHER, J.M. Gás metano; opção energética para média e larga escala. R. Mecaniz. rural, São Paulo, 3(17):22-7, jun./set., 1983.

- HOLANDA, N. Planejamento e projetos; uma introdução às técnicas de planejamento e elaboração de projetos. 3.ed. Rio de Janeiro, APEC, 1975. 402p.
- MELO, F.H. de. A questão dos subsídios ao óleo diesel. *Conj. econ.*, Rio de Janeiro, 36(7): 87-9, jul. 1982.
- MODIANO, E.M. Choque externo e preços internos; dificuldades da política de ajuste. In: Dívida externa; recessão e ajuste estrutural: o Brasil diante da crise. Rio de Janeiro, Paz e Terra, 1983. p.139-53.
- MOTTA, M.F.M. A questão do diesel; um adendo. *Conj. econ.*, Rio de Janeiro, 36(8):107, ago. 1982.
- SANTOS, A.H.M. & NOGUEIRA, L.A.H. Uma análise comparativa da eletrificação rural entre as opções; linha de distribuição e auto-geração com uso de biogás. In: ITAJUBÁ. Escola Federal de Engenharia. Seminário interno de pesquisas. Itajubá, 1981. n.p. n.p.
- SAVIN, N.E. & WHITE, K.S. The Durbin-Watson test for serial correlation with extreme sample sizes or many regressors. *Econometrica*, 45(8):1989-95, nov. 1977.
- SEIXAS, J.; FOLLE, S. & MARCHETTI, D. Construção e funcionamento de biodigestores. Brasília, EMBRAPA-CPAC, 1981. 60p. (EMBRAPA-CPAC. Circular Técnica, 4).
- TEIXEIRA FILHO, A.R. Análise da implantação dos programas estaduais de biogás. *Atual. Cons. Nac. Pet.*, Brasília, 14(80):37-44, mar./abr. 1982.
- TYLER, W.G. Proteção tarifária efetiva recente do Brasil. *Est. econ.*, São Paulo, 10(3):47-59, set./dez. 1980.