

Pesquisas para produção de biogás na Amazônia

John Harry Harwood (*)

Resumo

Vários tipos de matéria orgânica abundante na região Amazônica tais como casca de cacau, casca de arroz, cevada, *Pistia*, aguapé (*Eichhornia* sp.) e serragem de madeira de louro foram testados quanto à capacidade de produzir biogás. A produção de biogás foi comparada com a de esterco de gado. Os fatores que influenciam a produção de biogás (temperatura, pH e aspectos nutricionais) foram estudados. Nenhum dos materiais testados forneceu biogás em quantidades tão elevadas quanto a do esterco de gado. O mais favorável, o aguapé, foi estudado de forma mais minuciosa. Os aspectos econômicos da produção de biogás são discutidos.

INTRODUÇÃO

Biogás é uma mistura de gases composta, principalmente, de metano e dióxido de carbono formada a partir da fermentação anaeróbica de matéria orgânica em condições de pH próximas da neutralidade. Tipicamente contém 60% de metano. É um combustível rico em energia, versátil e limpo. Como um possível "combustível do futuro" recebe uma grande simpatia popular dada a simplicidade de tecnologia necessária para produzi-lo e a grande variedade de resíduos orgânicos que servem como matéria-prima. O objetivo deste estudo é investigar se a quantidade de biogás produzido pela fermentação de materiais disponíveis, no local, justifica os esforços necessários para coletar o gás.

A produção de biogás, através de esterco de gado é uma tecnologia estabelecida, vastamente aplicada na Índia, onde cerca de 70.000 usinas estão instaladas. Elas operam com o esterco do onipresente gado leiteiro. No Amazonas, a produção de biogás, por meio de esterco de gado, tem aplicação limitada visto que a maioria do gado é usada para corte. Conseqüentemente, eles vivem mais dispersos que o gado da Índia e a coleta de esterco é uma ta-

refa mais difícil. O emprego de dejetos de outros animais, como esterco de galinha ou de porco só é possível onde tais animais são explorados intensivamente.

É potencialmente de maior interesse fermentar matéria vegetal, em virtude da imensa quantidade dessa biomassa na região Amazônica. Com este objetivo, foi investigada a capacidade de alguns materiais oriundos de plantas disponíveis localmente para produzir biogás.

A grande maioria das usinas de biogás instalada na Índia é projetada conforme especificações dadas por Srinivasan (1978). No decorrer deste trabalho, referências serão feitas à tecnologia Indiana que serve como uma medida de comparação para avaliar o desempenho dos novos substratos experimentados.

MATERIAIS E MÉTODOS

As fermentações foram efetuadas em três diferentes escalas: tambor de 200 litros, desidsecador de 4 litros e tubo de ensaio de 25 ml, como são descritos abaixo:

O tambor de 200 litros usado foi um tambor padrão de óleo, aberto em uma extremidade, limpo e pintado. Foram colocados no tambor, 180 litros do material a ser testado. Um segundo tambor de 50 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento também aberto em uma extremidade foi emborcado dentro do primeiro para formar um recipiente flutuante de gás. Bastões verticais dentro deste permitiam que o conteúdo do tambor fosse misturado pela rotação do mesmo. Diariamente o recipiente de gás era esvaziado. Durante as subseqüentes 24 horas, o recipiente de gás gradualmente se enchia com biogás e elevava-se verticalmente. Esta elevação vertical era medida todos os dias antes do esvaziamento do recipiente de gás e era usada para calcular-se o volume de biogás

(*) — Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia, Manaus.

produzido, empregando-se a fórmula $\pi r^2 h$, onde r é o raio do tambor e h é a elevação vertical do recipiente de gás. Cerca de uma vez por semana, o recipiente de gás era removido e o conteúdo do tambor completamente misturado por agitação com uma longa vara.

O dessecador utilizado foi do tipo comum de vidro, com capacidade de 4 litros. O material a ser testado era colocado no dessecador e uma câmara de bola de futebol ligada na torneira de saída coletava o gás produzido. O conteúdo da bexiga era removido diariamente e seu volume medido pelo deslocamento da água em uma proveta graduada.

Os tubos de ensaio de 25 ml foram usados em experimentos de curta duração na produção de biogás onde 10 tubos enchidos com o material a ser testado eram invertidos em um "becker" de um litro contendo 250 ml do mesmo material. A produção de gás era medida como a altura da coluna de gás que aparece nos tubos. Desta maneira, os efeitos ambientais, tais como temperatura ou o efeito de componentes estranhos podem ser rapidamente observados, comparando-se a produção de gás com a de tubos em condições de controle.

ANÁLISES DO GÁS

O conteúdo de metano do biogás foi medido com um cromatógrafo de gás (Modelo CG 3537-D, Instrumentos Científicos Ltda., SP) usando-se uma coluna de "Poropak R" a 80°C com carregador a nitrogênio e um detector de ionização de chama. O CO₂ era medido volumetricamente por absorção em NaOH concentrado.

INSTALAÇÃO DAS FERMENTAÇÕES

Uma fermentação de 180 litros de esterco de gado foi preparada, usando-se 90 kg de esterco fresco de gado e 90 litros de água. Esta mistura foi completamente homogeneizada e deixada na sombra para fermentar anaerobicamente com o recipiente de gás instalado. Esta fermentação serviu tanto como uma referência quanto como uma fonte de inóculo para outros materiais testados.

Os materiais de plantas testados foram tratados de várias maneiras: moído úmido

(*Eichhornia*), moído seco (casca de cacau) ou então, não era moído (casca de arroz). Eram suspensos em água ou em uma solução contendo uma fonte de nitrogênio e/ou um álcali como é descrito abaixo. A concentração final do material a ser testado era geralmente cerca de 10% de matéria seca em suspensão em uma base de amostras secas em estufa. Às vezes, outras concentrações eram usadas (veja tabela 1). As fermentações eram inoculadas com 0,5% em volume do conteúdo da fermentação de esterco de gado. A não ser que especificado de outra forma, as fermentações eram "incubadas" à sombra, em temperatura ambiente (25±5°C).

RESULTADOS

TAXAS DE PRODUÇÃO DE BIOGÁS

Os resultados de várias fermentações são mostrados na Tabela 1, e Fig. 1. Para referência, os dados de Srinivasan (1978), usados como base para biodigestores Indianos, são também apresentados. Pode ser visto que a fermentação de esterco de gado produziu uma quantidade de gás (221 litros/kg de esterco seco em estufa) superior à usada como base para projeto de digestores Indianos (180 litros por kg de esterco seco em estufa) levando 120 dias para atingir este valor enquanto que o processo indiano demora, convencionalmente, 50 dias. A lentidão da produção de biogás na experiência descrita, foi considerada como sendo um resultado da subótima temperatura da fermentação. Esta hipótese foi confirmada como é demonstrado mais adiante.

Dos materiais testados, nenhum produziu biogás em quantidades iguais às produzidas com esterco de gado. A mais alta produção observada foi com aguapé (133 litros de biogás por kg de peso seco). Isto representa somente 60% da produção com esterco de gado. O material que fermentou mais rápido, à temperatura ambiente, foi a casca de cacau. Este material produziu biogás mais rápido que o esterco de gado mas a fermentação findou abruptamente após 40 dias. Este comportamento provavelmente, reflete o fato de que a casca de cacau contém açúcares disponíveis. (A casca é viscosa quando cortada com faca e tem

TABELA I — Produção de biogás por vários materiais, à temperatura ambiental.

MATERIAL	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI
	Agupapé	Casca de Cacau	Casca de Cacau	Casca de Arroz	Casca de Arroz	Cevada	Cevada	Pistia Species	Serragem de Louro	Esterco de Vaca	Dados da Tecnologia Indiana (Srinivasan 1978).
TRATAMENTO	moído num moinho c/ água e de- pois suspen- dido em água.	secada em estufa, moída seca e suspen- dida em água.	como em II mas c/ adi- ção de NaOH	misturada c/urina hu- mana diluí- da 1:4 c/ água.	como em IV mas c/ adi- ção de NaOH	misturada c/ água.	como em VI c/ adição de NaOH.	plantas in- teiras com- primidas e cobertas c/ água.	suspendida em água.	misturado c/ água.	misturada c/ água. 1:1
CONCENTRAÇÃO DO SUBSTRATO (g PESO SECO/ 100 mu ÁGUA)	8,0	4,4	4,4	10,0	10,0	10,0	10,0	1,0	7,5	9,0	10,0
pH DA CULTURA	6,0	5,5	7,5	6,3	7,3	4,5	6,4	6,0	7,0	6,6	Aprox. 7,0
PRODUÇÃO MÁXIMA (LITROS DE BIOGÁS/Kg PESO SECO/DIA)	3,75	apenas CO ₂ pro- duzido.	4,78	—	0,44	apenas CO ₂ pro- duzido.	0,39	—	—	2,4	3
PRODUTIVIDADE (LITROS DE BIOGÁS/Kg PESO SECO)	133	—	113	—	—	—	2,4	—	—	221	180
(LITROS DE BIOGÁS/Kg PESO SECO)	10,0	—	18	—	—	—	0,5	—	—	44	36

1. Inoculado com 0,5% (v/v) do conteúdo da fermentação de esterco de vaca.

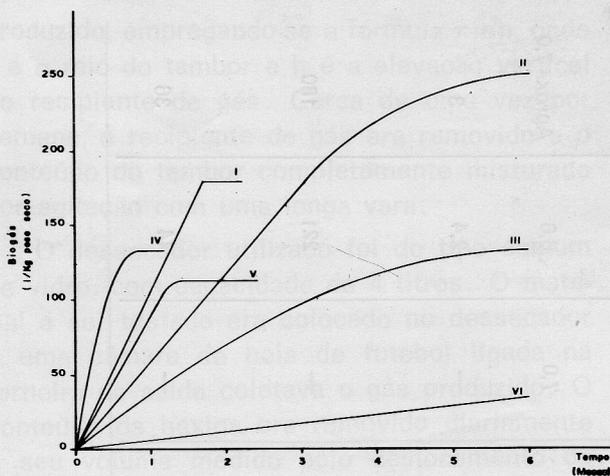


Fig. 1 — Produção de Biogás a partir de vários materiais vegetais: I — Esterco de vaca, referência, dados da tecnologia Indiana (Srinivasan 1978); II — Esterco de vaca, temperatura ambiental; III — *Eichhornia*, temperatura ambiental; IV — *Eichhornia*, 36°C; V — Casca de cacau, temperatura ambiental; VI — Casca de arroz, temperatura ambiental.

um gosto açucarado). Supondo que este seja o caso, a produção de metano se processa rapidamente até que tais açúcares sejam esgotados e, então, pára abruptamente.

EFEITO DA TEMPERATURA

Como foi mencionado anteriormente, considerou-se que a temperatura da reação na Tabela 1 fosse subótima. O efeito da temperatura foi logo demonstrado pelo método do tubo de ensaio já descrito. Amostras do material de uma fermentação de 180 litros de aguapé foram transferidas para tubos de ensaio que foram então incubados a várias temperaturas. Os resultados são apresentados na Fig. 2, podendo ser visto que a faixa de temperatura ótima para a produção de biogás está entre 37 e 41°C. Em vista destas conclusões, uma fermentação de *Eichhornia* sp. foi mantida à temperatura mais elevada que a do ambiente (36°C). O desenvolvimento desta fermentação aparece na Fig. 1, podendo ser observado que a produção total, em termos de litros de biogás por kg de peso seco de substrato, é a mesma tanto na fermentação em temperatura alta como na em temperatura ambiente. Contudo, a fermentação é muito mais rápida, terminando

em apenas 24 dias, em vez de mais de 4 meses.

EFEITO DO PH

O pH foi um fator crítico na produção de biogás. Por exemplo, como é mostrado na Tabela 1, tanto com cevada como com casca de cacau, a fermentação se iniciou somente com a produção de CO₂, a menos que o pH do material fosse artificialmente elevado pela adição de álcali. Uma vasta amplitude de valores de pH foi tolerada pelas culturas metanogênicas. Metanogênese foi observada em valores de pH variando de 6,0 até 7,5 nos experimentos sumarizados na Tabela 1. Contudo, a amplitude variou, de alguma forma, com o material usado. Por exemplo, casca de arroz não fermentou em pH 6,3 enquanto que o aguapé fermentou em pH 6,0. Nenhum pH ótimo foi determinado.

EFEITO DO SUPRIMENTO DE NITROGÊNIO

Uma das possíveis limitações para a fermentação metanogênica é o suprimento de nitrogênio. Uma fonte facilmente disponível de nitrogênio (urina humana, diluída para um quarto de sua concentração original) foi arbitrariamente adicionada na fermentação de casca de arroz. Para investigar o efeito do nitrogênio na fermentação de aguapé, 1 g/l de nitrato de amônia foi adicionado na fermentação em tu-

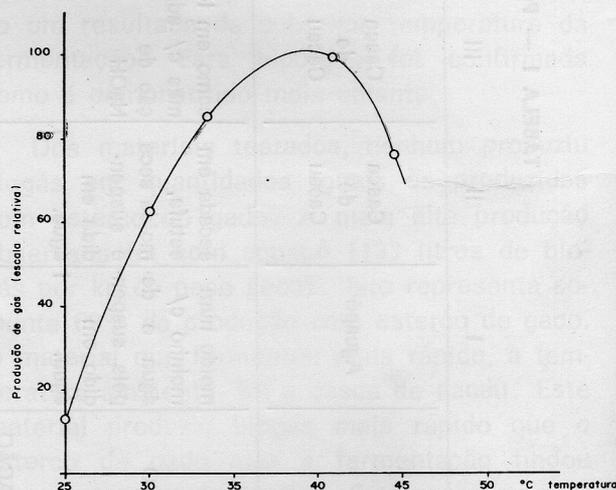


Fig. 2 — Efeito da temperatura na fermentação de *Eichhornia*.

bos de ensaio. Como pode ser visto na Fig. 3, o nitrogênio adicional interrompeu a fermentação sob as condições usadas. No entanto, entre o segundo e o terceiro dias, a taxa de produção de biogás (inclinação do gráfico na Fig. 3) foi a mesma com nitrogênio e sem ele adicional, mostrando que a fermentação de aguapé não é limitada pelo nitrogênio.

COMPARAÇÃO DAS FRAÇÕES SÓLIDA E LÍQUIDA

A produção de biogás, por meio de material vegetal sólido, pode ser encarada em dois estágios: (I) o ataque de materiais insolúveis (principalmente celulose) e (II) a formação de biogás, através dos produtos solúveis deste ataque. Para pesquisar-se qual é a etapa do processo que limita a velocidade de produção de biogás, uma suspensão de aguapé em fermentação foi filtrada. Se o ataque da fração sólida fosse o passo limitante, o filtrado produziria pouco ou nenhum biogás. Se a conversão dos produtos intermediários solúveis fosse o passo limitante, esperar-se-ia que a formação

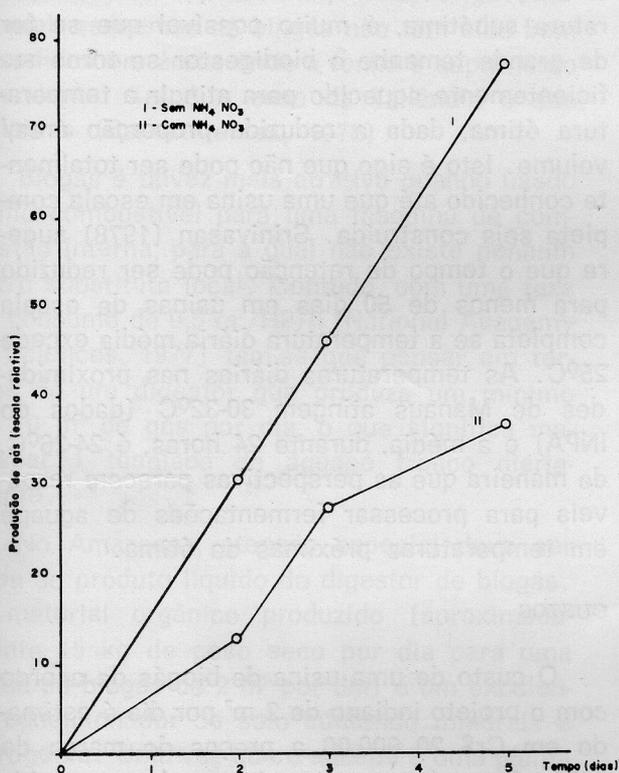


Fig. 3 — Efeito de adição de NH_4NO_3 (1g/l) à fermentação de *Eichhornia*.

de biogás no filtrado continuasse normalmente por algum tempo até que as reservas de substrato na solução estivessem acabadas. A produção de biogás nas suspensões filtradas e não filtradas foi pesquisada pelo método do tubo de ensaio. Os resultados estão apresentados na Fig. 4. O ataque da matéria sólida é

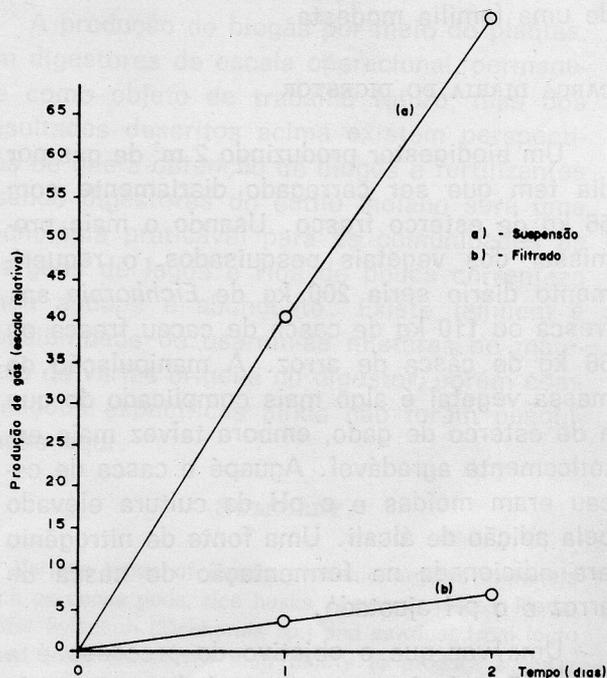


Fig. 4 — Produção de biogás a partir de *Eichhornia*.

claramente mostrado como o passo limitante do processo, uma vez que a produção de biogás necessariamente parou na ausência da fração sólida.

COMPOSIÇÃO DO GÁS

A composição do biogás foi medida periodicamente para as várias culturas. Geralmente, exceto para aquelas fermentações especificamente referidas na Tabela 1, a composição do gás era 60% CH_4 , 40% CO_2 , com muito pouca variação de cultura para cultura.

DISCUSSÃO

Os resultados mostram que o biogás pode ser obtido de vários materiais de plantas. Contudo, a cinética para a fermentação destes

materiais é diferente daquela quando o esterco de gado é usado. O efeito desta diferença no desenho e operação de biodigestores é discutido sob vários tópicos abaixo. Para medida de comparação, pode considerar-se um digestor produzindo 2 m³ de biogás por dia. Este é o tamanho mínimo normalmente construído na Índia e corresponde às necessidades em gás de uma família modesta.

CARGA DIÁRIA DO DIGESTOR

Um biodigestor produzindo 2 m³ de gás por dia tem que ser carregado diariamente com 56 kg de esterco fresco. Usando o mais promissor dos vegetais pesquisados, o requerimento diário seria 200 kg de *Eichhornia* sp. fresca ou 110 kg de casca de cacau fresca ou 66 kg de casca de arroz. A manipulação da massa vegetal é algo mais complicado do que a de esterco de gado, embora talvez mais esteticamente agradável. Aguapé e casca de cacau eram moídas e o pH da cultura elevado pela adição de álcali. Uma fonte de nitrogênio era adicionada na fermentação de casca de arroz e o pH ajustado.

Uma vez que o objetivo do processo é a utilização em áreas rurais isoladas, o uso de materiais químicos estranhos ao processo é considerado indesejável. Por esta razão, dos vegetais testados, *Eichhornia* sp. foi escolhido como o melhor substrato. Muitas das discussões abaixo referem-se especificamente ao uso deste material.

TAMANHO DO DIGESTOR

A Fig. 1, mostra que, se uma fermentação de aguapé se verifica próximo à temperatura ótima, esta é completada em 24 dias. Comparando os dados das usinas indianas (180 l/kg de peso seco, período de fermentação de 50 dias, 10% de matéria seca em suspensão), com os dados para a fermentação de aguapé, (133 l/kg de peso seco, período de fermentação de 24 dias, 8% de matéria seca em suspensão), pode ser visto que o volume V do biodigestor de aguapé é dado pela equação:

$$V = \frac{180}{133} \times \frac{24}{50} \times \frac{10}{8} \times \text{volume do}$$

digestor indiano, i.e., aproximadamente 80% do tamanho indiano. Considerando que o projeto indiano tem uma margem de erro (sua produtividade é usualmente maior que as especificações) parece razoável incluir um fator de segurança no dimensionamento de digestores de *Eichhornia*, bastando para isso, projetar digestores com 100% do tamanho indiano.

Um biodigestor de esterco de gado indiano típico tem um poço com 2,5 vezes o volume de biogás produzido por dia. Por exemplo, um digestor de 2 m³ de biogás por dia tem um poço de 5 m³.

CONTROLE DA TEMPERATURA

Como é apresentado na Fig. 1 e discutido acima, a temperatura da fermentação é de fundamental importância. A fermentação metanogênica é uma reação exotérmica. A temperatura alcançada pela solução depende da taxa de transferência de calor para o meio, que varia com o tamanho do digestor. Embora uma fermentação em pequena escala na temperatura de sombra, em Manaus, opere em temperatura subótima, é muito possível que se for de grande tamanho o biodigestor se torne suficientemente aquecido para atingir a temperatura ótima, dada a reduzida proporção área/volume. Isto é algo que não pode ser totalmente conhecido até que uma usina em escala completa seja construída. Srinivasan (1978) sugere que o tempo de retenção pode ser reduzido para menos de 50 dias em usinas de escala completa se a temperatura diária média excede 25°C. As temperaturas diárias nas proximidades de Manaus atingem 30-32°C (dados do INPA) e a média, durante 24 horas, é 24-26°C, de maneira que as perspectivas parecem razoáveis para processar fermentações de aguapé em temperaturas próximas da ótima.

CUSTOS

O custo de uma usina de biogás de acordo com o projeto indiano de 2 m³ por dia é estimado em Cr\$ 20.000,00 a preços de março de 1979. Supondo que a usina tenha uma vida operacional de 10 anos, isto significa que o custo de capital do biogás produzido é Cr\$ 2,74 por m³. A isto deve ser adicionado os juros do

capital, manutenção (pintura anual do recipiente de gás) e o esforço diário para a coleta de 200 kg de aguapé.

BENEFÍCIOS

Os produtos diários da usina descrita acima são 2 m³ de biogás (suficiente para uma família cozinhar) e 188 litros de uma suspensão contendo 8% de peso seco de resíduos de plantas moídas. O biogás tem um valor calorífico de aproximadamente 24 MJ/m³ (National Academy of Sciences, 1977). Os 2 m³ produzidos por dia são equivalentes a 1,2 litros de óleo diesel (ibid.), ou 1,6 kg de carvão, supondo-se o valor calorífico do carvão de 29,26 MJ (Uhart, 1976) ou 5,7 kg de madeira seca ao ar, supondo-se o valor calorífico da madeira seca de 8,36 MJ/Kg (Uhart, 1976). É para ser esperado que a abundância relativa e, conseqüentemente, o baixo custo dos dois últimos itens, sejam fatores importantes contra a adoção da tecnologia do biogás no Amazonas, principalmente para cozimento. Historicamente é interessante que, apesar da promoção governamental, esquemas de biogás não têm sido bem sucedidos em áreas onde a lenha é suprimento abundante. Tal é o caso da Tailândia e das Filipinas (Barnett *et al.*, 1978).

Biogás é talvez mais atrativo quando usado como combustível para uma máquina de combustão interna, para a qual não existe nenhum outro substituto local. Contudo, com uma taxa de consumo de 0,5 m³/HP/h (National Academy of Sciences, 1977) tem-se que pensar em termos de um digestor que produza um mínimo de 10 m³ de gás por dia, o que significa manusear 1 tonelada de aguapé fresco diariamente.

No Amazonas, atenção especial deve ser dada ao produto líquido do digestor de biogás. O material orgânico produzido (aproximadamente 15 kg de peso seco por dia para uma usina de biogás de 2 m³ por dia) é um excelente condicionador de solo contendo minerais e nitrogênio. Uma vez que o aguapé é uma planta aquática, a aplicação deste material na terra representa uma transferência líquida de minerais e nitrogênio dos rios para a terra. Em alguns casos, nos estudos do uso da tecnologia

do biogás, tem-se sugerido que o maior benefício econômico realmente vem do valor fertilizante do produto líquido e não do gás (Barnett *et al.* 1978). Contudo, é importante lembrar que em águas poluídas com ions de metais pesados a *Eichhornia* concentra estas substâncias tóxicas. Neste caso, o produto líquido de biodigestão não deve ser aplicado ao solo.

A produção de biogás por meio de plantas, em digestores de escala operacional, permanece como objeto de trabalho futuro, mas dos resultados descritos acima existem perspectivas de que a obtenção de biogás e fertilizantes usando digestores do estilo indiano será uma tecnologia praticável para as comunidades às margens de lagos e rios de pouca correnteza onde aguapé é abundante. Existe também a possibilidade de usarem-se misturas de materiais de várias origens no digestor, porém combinações específicas ainda não foram pesquisadas aqui.

SUMMARY

Various types of locally available organic materials such as cocoa pods, rice husks, brewery wastes, *Pistia*, water hyacinth (*Eichhornia* sp.) and sawdust from louro wood were tested for their ability to produce biogas. Gas production was compared with that from cow dung. Factors which influence gas production rates (temperature, pH and nutritional aspects) were studied. None of the materials tested gave biogas in the same quantity as when cattle dung was used. The most favorable material, water hyacinth, was studied in more detail. Economic aspects of the production of biogas are discussed.

BIBLIOGRAFIA

- BARNETT, ANDREW; PYKE, LEO & SUBRAMANIAN, S.K.
1978 — **Biogás technology in the Third World: a multidisciplinary review.** Ottawa, Ont., IDRC.
- NATIONAL ACADEMY OF SCIENCES
1977 — **Methane Generation from Human, Animal and Agricultural Wastes.** Washington D.C.
- SRINIVASAN, H.R.
1978 — **Expert Group Meeting on Biogas Development.** Gobar Gas Scheme, Khadi and Village Industries Commission 3, Irla Road, Vile Parle (West), Bombay 400056, India.
- UHART, E.
1976 — **A Floresta Amazônica; Fonte de Energia SUDAM.** Belém.

(Aceito para publicação em 13/03/80)