

COMPORTAMENTO DA DIGESTÃO ANAERÓBICA DO RESÍDUO LÍQUIDO DA INDÚSTRIA DE SISAL EM ESCALA PILOTO

Alicia López Rodríguez*
Julio Serpa Suárez**
Juana Zoila Junco Horta***
Aleksandra Gomes Jácome****

RESUMO: O presente trabalho teve como objetivo analisar o comportamento da digestão anaeróbica do resíduo líquido da indústria de sisal, cumprindo-se dois propósitos: a obtenção de energia e adubo orgânico e o tratamento de resíduos agressivos. Utilizou-se um digestor de fluxo ascendente (UASB) com manto de lodo à escala de uma planta piloto, usando-se como lodo um inóculo misto de esterco suíno - bovino e como substrato o sumo de agave (*Agave fourcroyde* L.). Realizou-se o cálculo da eficiência da planta em termos de DQO (demanda química de oxigênio), assim como a determinação do seu rendimento e os sólidos totais durante todo o processo de tratamento. Também foram controlados os parâmetros de operação como o pH e a temperatura. Os resultados obtidos até o presente momento mostram uma boa adaptação das bactérias a estes substratos, com uma satisfatória produção de biogás e uma aceitável remoção de matéria orgânica.

PALAVRAS-CHAVE: *Agave fourcroyde*, Digestão anaeróbica; Biogás; UASB.

ANAEROBIC DIGESTION BEHAVIOR OF RESIDUAL LIQUIDS FROM THE SISAL INDUSTRY IN A PILOT-SCALE

ABSTRACT: The present paper had as its goal to analyze the anaerobic digestion behavior of residual liquids from the sisal industry, in order to two purposes:

* Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade de Matanzas - UMCC. E-mail: alicia.lopez@umcc.cu

** Docente do Departamento de Engenharia Química da Universidade de Matanzas - UMCC Endereço: Quilometro 3 - autopista de Varadero - Cp: 44740-Matanzas - Cuba.

*** Docente do Centro de Estudo do Meio Ambiente da Universidade de Matanzas - UMCC. Endereço: Quilometro 3 - autopista de Varadero - Cp: 44740-Matanzas - Cuba.

**** Docente do Curso de Zootecnia da Faculdade de Ensino Superior da Amazônia Reunida - FESAR. E-mail: agjacome2003@yahoo.es

obtain energy and organic manure and the treatment of the aggressive residuals. A digester of up flow sludge blanket (UASB) in a pilot-scale, using as sludge an inocule mixed of manure swine-bovine and as substrate the essence of agave (*Agave fourcroyde* L.) was used. It was also made the calculation of the efficiency of the plant in CDO terms (chemical demand of oxygen), as well as the determination of its income and the total solids during all the treatment process. Also the parameters of operation as pH and the temperature had been controlled. The results obtained until the present moment showed a good adaptation of the bacteria to this substrate, with a satisfactory production of biogas and acceptable removal of organic mater.

KEYWORDS: *Agave fourcroyde*; Anaerobic digestion; Biogas; UASB

INTRODUÇÃO

Nas últimas décadas, os problemas ambientais têm se tornado cada vez mais críticos e freqüentes, devido, principalmente, ao desmedido crescimento populacional e ao aumento da atividade industrial. Com estes ingredientes os problemas relacionados à ação antrópica têm atingido dimensões catastróficas, as quais podem ser observadas através de alterações na qualidade do solo, ar e água.

O sisal é uma fibra dura, largamente utilizada no comércio mundial, onde o Brasil se destaca por ser o maior produtor e exportador mundial de fibras. Em seguida, destacam-se o Quênia e a Tanzânia, países africanos que contam com exportações mais significativas entre os demais produtores. O sisal e a indústria de henequém se encontram na maioria das vezes em algumas das áreas mais pobres do mundo, e em muitos casos constituem a única fonte de renda e da atividade econômica naquelas áreas. Isso se deve a sua resistência, principalmente à seca, pois pode prosperar em condições onde existe limitação de água, solo áspero com baixo teor nutricional.

No Brasil, está presente nos estados da Paraíba e Rio Grande do Norte, além da Bahia, maior produtora do país. As folhas - pontiagudas, lisas e da cor verde - crescem em torno de um bulbo central e podem atingir até 1,5 metro de comprimento. Apenas 4% do peso da folha são transformadas em fibra, outros 24% da massa verde estão sendo utilizados para a fabricação de ração para caprinos e ovinos, sendo que os restantes 72% não têm utilidade (CARVALHO, 2004). Entretanto, em outros países o aproveitamento da planta é integral, pois, além dos itens acima, também é utilizada como matéria-prima para a confecção de estofados, fios de embalagem, celulose, tapetes, cordas, artesanatos, painéis de automóvel, construção civil, na indústria química, para produção de detergentes, fertilizantes, gás natural e medicamentos, dentre outros.

O interesse pelo aproveitamento dos resíduos do sisal para fins energéticos é relativamente recente, porém com resultados animadores, por ser utilizado como fonte alternativa de energia de baixo custo e de boa qualidade. Sabe-se que a viabilidade energética dos resíduos de sisal é suficiente para justificar investimentos no desenvolvimento de tecnologias para mais uma fonte alternativa de energia. Processos de geração de energia já foram feitos, como, por exemplo, testes de queima da mucilagem em fornalhas, com rendimento satisfatório. Instalações de gaseificação e biodigestão também foram testadas, com resultados encorajadores. Do suco de sisal, a exemplo do que é feito no México, obtêm-se álcool e produtos farmacêuticos, e além disso pode ser utilizado como fertilizante (SANTOS; SFALCIN, 2005).

Em Cuba o sisal também é muito utilizado para a produção de fibras e outros subprodutos. Entretanto, este processamento gera aproximadamente 400 m³/d de efluente residual líquido altamente contaminante, proveniente do suco extraído mecanicamente das folhas, como já foi demonstrado em trabalhos anteriores (MANTILLA, 1991), devido a seus elevados valores de demanda química de oxigênio (DQO), sólidos totais, condutividade e acidez. Quando não for corretamente tratado, ao ser jogado diretamente no solo e nos mananciais, constitui ao longo do tempo um potente foco de contaminação ambiental, trazendo consigo uma série de problemas ecológicos, econômicos e sociais.

Dentro deste contexto, o setor industrial sisaleiro de Matanzas - Cuba, apresenta um especial destaque, por gerar uma elevada carga contaminante; sendo caso de preocupação para as diferentes entidades relacionadas com o tema. Assim, a solução para esta problemática será o desenvolvimento de pesquisas que apontem medidas e alternativas que garantam a viabilidade e a sustentabilidade de uso desses materiais. No caso de viabilidade da aplicação direta na agricultura, o monitoramento de áreas deverá ser estabelecido com o objetivo de garantir o mínimo de impacto ambiental.

O uso de reatores UASB (reator anaeróbico de fluxo ascendente com manto de lodo) constitui uma alternativa para o tratamento de efluentes domésticos e industriais. De todas as tecnologias anaeróbicas, o UASB tem sido o mais utilizado, sobretudo naqueles casos em que se objetiva a eliminação ou a conversão da matéria orgânica em metano e a reutilização de água pós-tratamento no processo industrial. Sua característica principal é a retenção de biomassa sem necessidade de suporte, graças à formação de grânulos ou flocos com boa capacidade de sedimentação (BERNI; BAJAY, 2001).

O tratamento do efluente residual líquido por digestão anaeróbica constitui um método particularmente atrativo para a obtenção de biogás, principalmente para os países subdesenvolvidos. Nas condições específicas de Cuba (fontes de energia limitadas, abundante quantidade de resíduos animais e agrícolas susceptíveis ao tratamento e clima tropical), a digestão anaeróbica para a produção de biogás e obtenção de adubo orgânico com o propósito de utilizá-lo como fertilizante

ajuda a solucionar os problemas da contaminação ambiental, constituindo um método a desenvolver em menor tempo possível.

Com base nestas informações, realizou-se o presente trabalho com a finalidade de estudar a redução da carga orgânica à escala-piloto usando como substrato o efluente líquido de agave (*Agave fourcroyde* L.) e um inóculo misto suíno-bovino, minimizando o impacto ambiental e possibilitando a obtenção de energia e adubo orgânico, gerados por este tipo de efluente líquido.

2 MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi conduzido em laboratório pertencente ao Departamento de Engenharia Química da Universidade de Matanzas, em Matanzas, Cuba, no período de 1999, tendo uma duração de 90 dias, quando se estabilizou a produção de biogás. Para analisar o comportamento da digestão anaeróbica do resíduo líquido da indústria de sisal, utilizou-se um digestor anaeróbico de fluxo ascendente em manta de lodo à escala de uma unidade-piloto. Usou-se como lodo um inóculo misto de esterco suíno-bovino e como substrato o sumo de agave, tendo-se como propósitos a redução da carga orgânica deste, para minimizar o impacto ambiental, e a obtenção de energia e adubo orgânico, gerados por este tipo de efluente líquido. Para a realização deste trabalho utilizou-se um reator UASB de policloreto de vinila (PVC), com 3,88m de altura, 0,17m de diâmetro interno e volume útil da ordem de 88 L. O tempo de detenção hidráulica era de 8 horas, e o da vazão, de 1,5m³/h. Na sua parte superior possui uma bifurcação em forma de Y (Figura 1). Utiliza-se um extremo para introduzir o inóculo e no outro extremo hermético são acopladas duas mangueiras plásticas, uma para medir o fluxo de biogás produzido e a outra para a sua combustão em um queimador. Para monitoria do lodo do reator, foram instalados sete pontos de coleta da amostra ao longo da altura do reator, espaçados em 0,50m, sendo o primeiro localizado a 0,50m do piso e o último a 3,50m. A alimentação do substrato é feita pela parte inferior, utilizando-se uma bomba peristáltica. O substrato utilizado foi proveniente da agaveira Julián Alemán, do município Varadero - Cuba, com uma DQO em média de 63120 mg/L (valor bem acima do permitido pela legislação ambiental de Cuba para lançamento de efluentes líquidos em solos e corpos hídricos), previamente neutralizado por diluição com uma solução de hidróxido de cálcio de 50% a pH igual a 7,0; e como lodo, utilizou-se a composição feita de 39 L de inóculo de porco e 39 L de inóculo de vaca, ou seja, 50% de esterco bovino e 50% de suíno, ambos procedentes de biodigestores de cúpula fixa em funcionamento, instalado na cooperativa de produção agropecuária (esta relação corresponde a valores obtidos por trabalhos anteriores que tiveram bons êxitos). Como a carga orgânica inicial tem um papel fundamental em

todos os processos anaeróbicos e na obtenção da adaptação das bactérias metanogênicas ao novo substrato, começou-se a alimentar o reator com uma carga orgânica menor, e depois essa carga foi aumentando pouco a pouco até chegar a 4mg DQO/m³ dia (o mesmo sendo utilizado por Almeida (1991), quando utilizou residual de destilação de álcool). Para avaliar a evolução do comportamento da digestão anaeróbica na unidade-piloto fez-se o cálculo de sua eficiência e rendimento em termos de DQO, a determinação do conteúdo de sólidos totais e a % dos sólidos do sistema, aferidos na estabilização da produção (final do experimento), e o controle dos parâmetros de operação como o pH e a temperatura, aferidos diariamente. A DQO foi determinada através da técnica de volumetria Redox clássica, com oxidação energética da amostra com dicromato de potássio em meio ácido e valores por retrocesso com sal de Mohr. As medições de pH foram feitas pelo método potenciométrico direto, tendo sido determinadas com um pHmetro MV 870 Digital pH- MESSGERAT. As medidas de sólidos totais foram feitas pelo método gravimétrico.

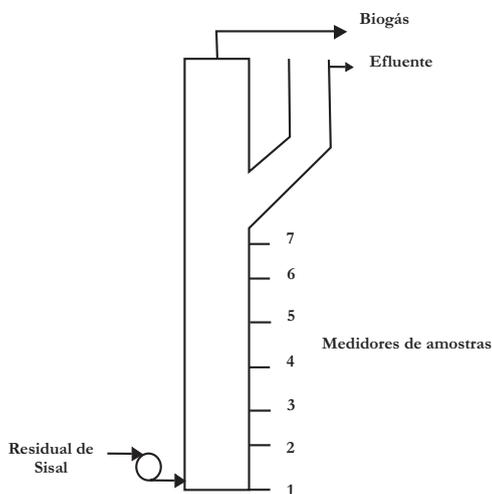


Figura 1. Esquema da planta piloto do reator UASB

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

3.1 CÁLCULO DA EFICIÊNCIA DA PLANTA-PILOTO

Determinou-se a eficiência em termos de demanda química de oxigênio (DQO). As determinações de DQO realizaram-se segundo o Standart Methods for Examination of Water and Wasterwater (EATON; CLESCERI; GREENBERG, 1995) sobre amostras compostas da entrada e saída do reator.

Os valores médios obtidos foram:

Afluente: 63 120,8 mg DQO/L (entrada);

Efluente: 10 098,2 mg DQO/L (saída);

Eficiência: 84,2%;

$$\text{Eficiência} = \frac{\text{DQO}_{\text{ent.}} - \text{DQO}_{\text{saída}}}{\text{DQO}_{\text{ent.}}} \cdot 100 \quad (1)$$

3.2 CÁLCULO DO RENDIMENTO DA PLANTA PILOTO

Para o cálculo do rendimento da planta realizaram-se medições da produção de biogás a cada 8 horas, a partir do deslocamento de água, em que se mede o volume deslocado pelo gás de uma diluição a 10% de NaOH (BORJA et al., 1993), mostrando o valor médio obtido, como mostra a Figura 2.

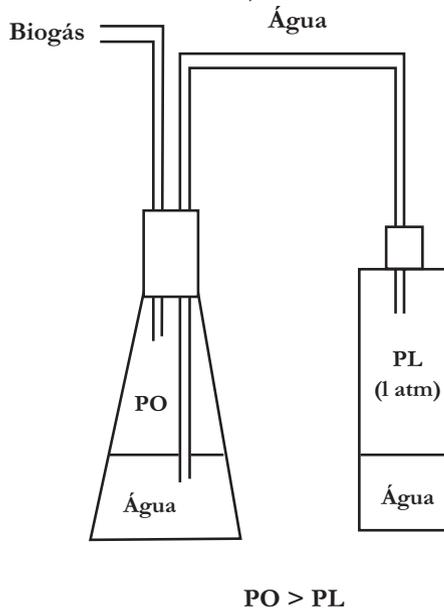


Figura 2. Medição do fluxo de gás por deslocamento de água

Vale dizer que este rendimento está se referindo aos valores de biogás produzidos quando a planta alcançar sua estabilização com um valor constante de alimentação. Ele foi determinado por se saber que o digestor é alimentado diariamente com 4 L do resíduo e este produziu um fluxo médio de biogás de 10,9 L/d.

Rendimento= 10,9 (L/d) biogás produzido (2)
 4 (L/d) residual alimentado
 Rendimento= 2,73 L biogás/L subst. Alimentado

3.3 DETERMINAÇÃO DOS SÓLIDOS TOTAIS

Para a determinação dos sólidos totais extraíram-se amostras ao longo de todo o processo do reator, enumerando-se as diferentes tomadas das amostras de baixo até em cima, como está demonstrado na Tabela 3.

Por integração gráfica se obteve o seguinte valor dos sólidos totais absolutos (ST_{abs}) no biodigestor:

$$ST_{abs} = 30.487 \text{ g/L} \quad (3)$$

3.4 OUTROS PARÂMETROS CONTROLADOS

De acordo com os resultados, observou-se que a produção de biogás iniciou-se já no segundo dia de funcionamento da planta, embora em pequena quantidade. No quarto dia foi aberta a chave de um queimador conectado, com o objetivo de verificar a queima de biogás. Nesta queima verificou-se que o biogás produzido tinha uma composição de metano aceitável, pois não apresentou odor desagradável (presença de sulfeto de hidrogênio) e a chama era completamente azul (chama oxidante).

Durante a digestão anaeróbica determinou-se também o pH e a temperatura. Os valores mostrados (Tabela 1) são os aferidos na estabilização do experimento. Nos dias posteriores, a produção de biogás seguiu aumentando, com um pH ótimo, entre 7 e 7,3 (segundo Chernicharo (1997), e Foresti (1997), as bactérias produtoras de metano têm crescimento ótimo na faixa de pH entre 6,6 e 7,4), embora a temperatura não estivesse favorável - em torno de 28°C, fluuando entre 25 e 30 °C (valor submesófilo), devido às condições ambientais. Essa temperatura interfere na produção e qualidade do biogás. Entretanto, a energia solar poderia ter sido utilizada,, já que contribui tanto para o pré-aquecimento do alimento como para aumentar a temperatura dentro do digestor, deixando a temperatura considerada ótima para este trabalho (35°C) (WHEATHEY; FISHER; GROBICKI, 1997).

Tabela 1. Determinação do pH e temperatura do substrato, do lodo dentro do reator e do efluente aferidos na estabilização do experimento.

	SUBSTRATO	LODO (dentro do reator)	EFLUENTE
PH	7	6.2 - 7.3	7 - 8
T (°C)	25	26 - 29	28 - 30

Segundo Foresti (1997), a formação microbiana do metano pode ocorrer numa faixa bastante ampla de temperatura: de 0 a 97°C. A maioria dos digestores anaeróbios tem sido projetados na faixa mesófica, sendo a temperatura ideal de operação de 30 a 35°C, mas alguns reatores podem operar sem queda de eficiência na faixa de 20 a 25°C. O efeito da temperatura (CHERNICHARO, 1997) na população microbiana reflete-se na redução do volume do reator, se este for operado próximo à temperatura ótima. Isto ocorre porque a taxa máxima de crescimento específico da população microbiana cresce com o aumento da temperatura. A temperatura afeta também a remoção de DQO, o coeficiente de produção de biomassa (VAN HAANDEL; LETTINGA, 1994).

Analisando-se os valores obtidos no cálculo da eficiência e do rendimento da planta-piloto (Tabela 2), observa-se que esses valores são aceitáveis (84% e 2,73 L de gás/L respectivamente), pois, segundo Pérez *et al.* (2002), a eficiência para este tipo de digestor pode estar entre 70 e 80% e 2,70 para o rendimento (GONZALEZ; TORRES, 1996). Isso demonstra que durante todo o percurso deste trabalho ocorreu uma boa remoção da matéria orgânica. Entretanto, se a temperatura encontrada estivesse no valor mesófilo, como normalmente ocorre para a época do ano em que se realizou o experimento, poderia ter ocorrido um resultado bem melhor, como já foi falado anteriormente.

Tabela 2. Determinação do DQO, sólidos totais, condutividade elétrica do efluente, eficiência e rendimento da planta piloto aferidos na estabilização do experimento.

DQO (mg/L)	S. T. (Mg/L)	C. E. (mS/cm)	Efic. %	Rend. (L de gás/L)
10098,2	2500	4	84	2,73

DQO-demanda química de Oxigênio; S.L.- sólidos totais; C.D.-condutividade elétrica;
Efic.- eficiência; Rend.- rendimento

Em correspondência com a grande quantidade de sólidos suspensos do resíduo de sisal e do lodo utilizado, observa-se que, à medida que se analisavam as amostras em forma crescente dentro do reator, os valores dos sólidos totais e a % de sólidos iam diminuindo (Tabela 3), já que é na base do reator (Figura 1) e ao redor deste que esses valores se sedimentam, sendo maiores na base. Também é nesta zona que há uma maior predominância de bactérias metanogênicas, ratificando desta forma o bom funcionamento da planta, pois, não existindo uma grande quantidade de sólidos em suspensão nas zonas superiores do reator, evita-se a formação de crostas e de obstáculos que impossibilitem a separação da fase gasosa.

Entretanto, o valor de condutividade elétrica (Tabela 2), 4 mS/cm, indica a elevada salinidade do mesmo; restringindo a sua utilização para a irrigação, devendo-se analisar a possibilidade de não aplicá-lo diretamente ao solo, e sim, diluído em água.

Tabela 3. Determinação dos sólidos totais (g/L) e % dos sólidos, de acordo com a altura (m) dentro do reator, tendo como referência inicial a base, aferidos no final do experimento

Nº	ALTURA (m)	SÓLIDOS TOTAIS (g/L)	% DOS SÓLIDOS
1	0,0	39,568	4,7206
2	0,5	22,392	2,6295
3	1,0	5,216	0,5384
4	1,5	4,132	0,4992
5	2,0	3,824	0,4493
6	2,5	3,76	0,4355
7	3,0	3,732	0,4108

4 CONSIDERAÇÕES FINAIS

Até o presente momento, o comportamento da digestão anaeróbica do resíduo líquido da indústria agaveira à escala-piloto utilizando-se um inóculo suíno-bovino foi satisfatório, com uma boa adaptação das bactérias a estes substratos, uma satisfatória produção de biogás e uma aceitável remoção de matéria orgânica, restringindo-se apenas à irrigação.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA, M. Del. P. Influencia de los factores ambientales y operacionales en la digestión del residual de destilería. 1991, 56 p. Tesis (Doctorado). La Habana: CINC, 1991.

BERNI, M. D.; BAJAY, S. V. Sustentabilidade ambiental e geração de energia na indústria de papel com o uso de reator anaeróbico no tratamento de efluentes. In: CONGRESSO ANUAL DE CELULOSE E PAPEL, 34, 2001. **Anais...** Campinas: Unicamp, 2001.

BORJA, R. et. al. Kinetic study of anaerobic digestion of wine distillery wastewater. **Process Biochemistry**, v. 28, p. 83-90, 1993.

CARVALHO, T. Exportações de sisal têm crescimento de 26%: Resultado aponta fôlego do segmento na disputa pelo mercado com as fibras sintéticas. **Correio da Bahia**, 13 abr. 2004. Disponível em: <<http://www.correiodabahia.com.br/2004/04/13/noticia.asp?link=not000090997.xml>>. Acesso em: 13 abr. 2004.

CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores anaeróbios**. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; UFMG, 1997.

EATON, A. D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Eds.). **Standards methods examination of water and wastewater**. 19. ed. Washington: APHA; AWWA; WEF, 1995.

FORESTI, E. Sistemas de tratamento anaeróbico. In: CURSO de Tratamento biológico de resíduos. Florianópolis: UFSC, 1997.

GONZALEZ, C.; TORRES, G. **Evaluación y puesta en marcha de una planta piloto para la producción de biogás**. Matanzas. Cuba. 1996. 31 p. Monografía (Graduação Facultad de Ingeniería Química). Universidad de Matanzas “Camilo Cienfuegos”, 1996.

MANTILLA, G. Caracterización del residual líquido de la Industria henequenera. **Revista Tecnología Química**, Cuba. v. 12, n. 1, p. 25-30, 1991.

PÉREZ, J. L. et al. Biogás a partir de los efluentes de lapasterización de pulpa de café. **Ecosolar**, n. 2, out./ dez. 2002. Disponível em: <<http://www.cubasolar.cu/biblioteca/Ecosolar/Ecosolar02/HTML/Articulo08.htm>>. Acesso em: 11 maio 2002.

SANTOS, C. H. F.; SFALCIN, J. C. **Resíduos do sisal como alternativa energética**. Coodenadoria Executiva de Cooperação Universitária e de Atividades Especiais (CECAE). Disponível em: <<http://www.cecae.usp.br/Aprotec/respostas/RESP32.htm>>. Acesso em: 16 jul. 2005.

VAN HAANDELL, A.; LETTINGA, G. **Tratamento anaeróbico de esgotos**. Campina Grande: Epgraf, 1994.

WHEATLEY, A. D.; FISHER, M. B.; GROBICKI, A. M. W. Applications of anaerobic digestion for treatment of industrial wastewater in Europe. **Environment science technology**, v. 20, n. 1, 1997.