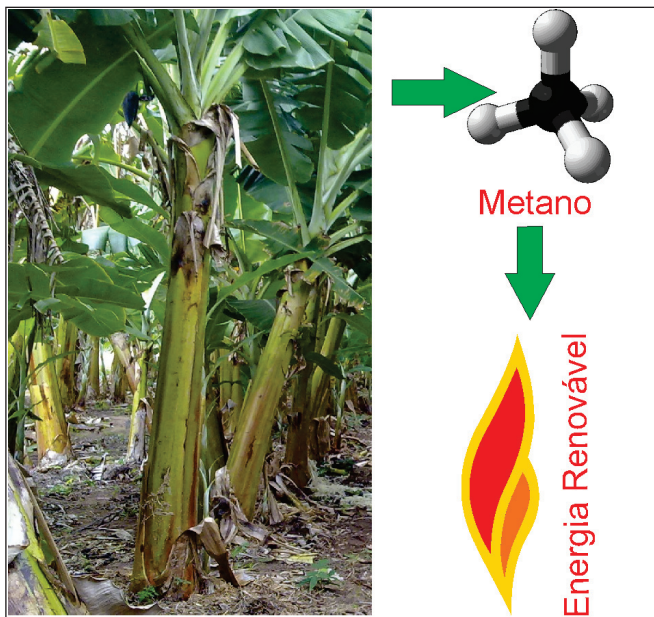


Foto: Renato Carrhá Leitão



Produção de Biogás a Partir do Líquido do Pseudocaule da Bananeira

Renato Carrhá Leitão¹
Alexsandro Viana Freitas²
Francisco Justino de Souza³
Marcelo Campêlo Dantas⁴
Ana Iraidy Santa Brígida⁵
Ana Ribeiro Cassales⁶
Gustavo Adolfo Saavedra Pinto⁷
Sandra Tédde Santaella⁸

Após a colheita da banana (*Musa spp.*), o pseudocaule é cortado e deixado sobre o solo como forma de disponibilizar matéria orgânica para as plantas que estão em desenvolvimento. Para aumentar a lucratividade da cadeia produtiva, pode-se aproveitar o pseudocaule para produção de polpa celulósica para confecção de papéis especiais (KUMAR; KUMAR, 2011). Contudo, durante o processo de separação da fibra do pseudocaule, ocorre geração do líquido do pseudocaule da

bananeira (LPCB), que deve receber algum tipo de tratamento antes de ser disposto no meio ambiente.

De acordo com o “Levantamento sistemático da produção agrícola” (IBGE, 2011), em 2011, o Brasil possuía 485.382 ha de plantação de bananeiras, que resultaram em uma safra de $6,97 \times 10^6$ t de bananas. Estima-se que uma plantação de bananas produza entre 15 t e 300 t/(ha.ano) de pseudocaule com umidade em torno de 94% (GONÇALVES

¹Engenheiro Civil, D.Sc. em Ciências Ambientais, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, renato.leitao@embrapa.br

²Graduando em Engenharia Química na Universidade Federal do Ceará, Bolsista de graduação UFC/Embrapa, Fortaleza, CE, alex_vfreitas@yahoo.com.br

³Licenciado em Química e Biologia, assistente A da Embrapa Agroindústria Tropical, Campo Experimental de Paraipaba, CE, justino.souza@embrapa.br

⁴Biólogo, Mestre em Bioquímica, Professor da Universidade Estadual do Ceará, Crateús, CE, campelodantas@hotmail.com

⁵Engenheira Química, Doutora em Tecnologia em Processos Químicos e Bioquímicos, Pós-Doutoranda na Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, ana-iraidy@hotmail.com

⁶Química Industrial, M.Sc. em Ciências e Tecnologia dos Alimentos, Analista da Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, ana.cassales@embrapa.br

⁷Químico, D.Sc. em Tecnologia de Processos Químicos e Bioquímicos, pesquisador da Embrapa Agroindústria Tropical, Fortaleza, CE, gustavo.saavedra@embrapa.br

⁸Química, D.Sc. em Hidráulica e Saneamento, professora associada da Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, CE, sandra@ufc.br

FILHO, 2011; GONZÁLEZ-GARCÍA et al., 2008). Se o pseudocaule fosse usado como fonte de fibras, a produção de LPCB em 2011 estaria entre $7 \times 10^6 \text{ m}^3$ e $140 \times 10^6 \text{ m}^3$.

Análises físico-químicas do LPCB efetuadas no Laboratório de Tecnologia da Biomassa da Embrapa Agroindústria Tropical indicaram valores elevados de concentração de matéria orgânica (entre 9 gDQO.L^{-1} e 25 gDQO.L^{-1}), o que torna o LPCB adequado ao tratamento biológico. Uma alternativa para utilização sustentável do LPCB é a degradação anaeróbia, visando não somente o tratamento, como também a produção de biogás para geração de energia (ROSA et al., 2011; CALZADA et al., 1988).

A digestão anaeróbia do LPCB pode ser realizada em reatores anaeróbios de fluxo ascendente e leito de lodo – *Upflow Anaerobic Sludge Blanket Reactor* (UASB) –, que apresentam várias vantagens, tais como: carga orgânica volumétrica (COV) superior a $10 \text{ kg}_{\text{DQO}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ (VIANA et al., 2012; CHAMY et al., 2007) e baixa produção de lodo (LETTINGA et al., 1980), o que se reflete em custo reduzido de construção, operação e manutenção. Vários estudos comprovam a eficiência do uso de reatores anaeróbios no tratamento de efluentes de agroindústrias tanto em escala de laboratório como

em escala real (AHMAD et al., 2011; CHAN et al., 2009; NEVES et al., 2009; TAWFIK et al., 2008).

Nesta pesquisa, o processo de produção de metano a partir do LPCB foi realizado em dois reatores, um em escala de laboratório (Figura 1) e outro em escala piloto (Figura 2). Os dois reatores eram do tipo UASB, sendo que o reator em escala de laboratório tinha altura de 1,82 m e volume útil de 14,85 L, e o reator em escala piloto tinha altura de 5,0 m e volume útil de 190 L. O reator em escala de laboratório foi operado durante 468 dias, com COV de até $10 \text{ kg}_{\text{DQO}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ (Figura 3A), enquanto o reator em escala piloto foi operado durante 293 dias, atingindo COV de até $5,3 \text{ kg}_{\text{DQO}}.\text{m}^{-3}.\text{d}^{-1}$ (Figura 4A).

O reator em escala de laboratório foi inoculado com uma mistura, em igual proporção, de lodos anaeróbios provenientes de: (i) reator UASB que trata esgoto de uma cervejaria, (ii) reator UASB da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, que trata esgoto doméstico, e (iii) reator UASB em escala de laboratório alimentado com sacarose e nutrientes. A essa mistura, adicionou-se líquido ruminoso de caprinos. O reator em escala piloto foi inoculado apenas com lodo anaeróbio proveniente de um reator UASB da Companhia de Água e Esgoto do Ceará, que trata esgoto doméstico.

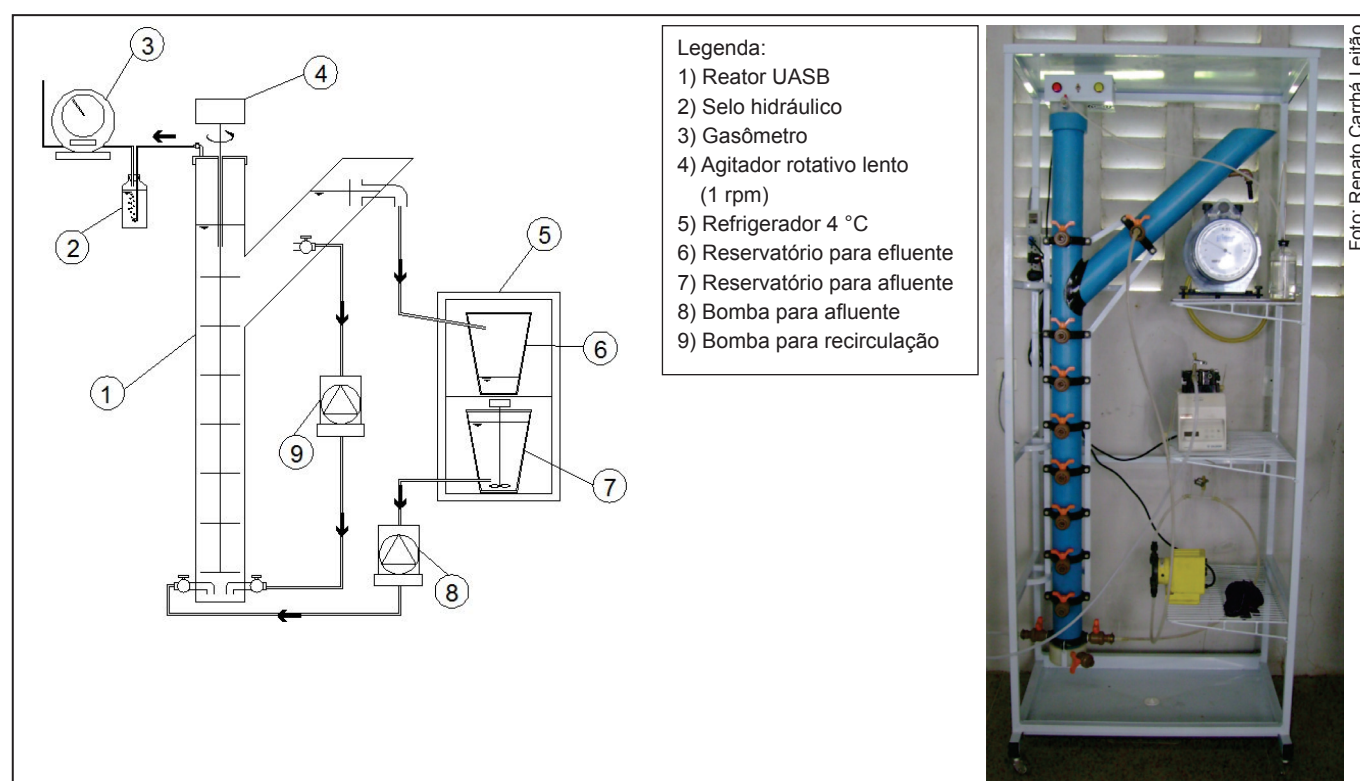


Figura 1. Esquema e foto do reator UASB em escala de laboratório.

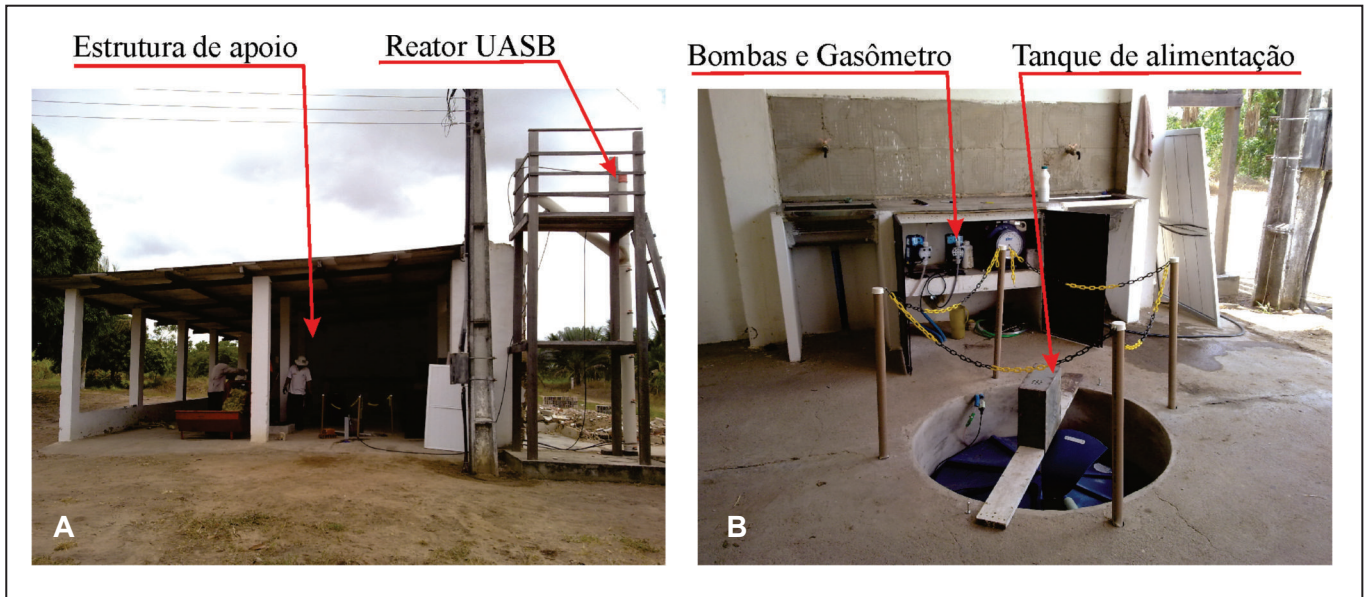


Figura 2. Fotos do reator UASB em escala piloto: (A) reator UASB e estrutura de apoio; (B) tanque de alimentação, bombas dosadoras e gasômetro.

Após a inoculação, os reatores passaram por uma etapa de adaptação, na qual a concentração do LPCB foi aumentada gradativamente, reduzindo a diluição e aumentando a COV. A mudança de operação era realizada baseando-se na resposta do reator quanto à razão ácidos graxos voláteis totais / alcalinidade a bicarbonato.

A alimentação do reator foi feita com LPCB proveniente do processo de beneficiamento de pseudocaules de bananeiras pacovan (*Musa AAB*, subgrupo prata) do Campo Experimental da

Embrapa Agroindústria Tropical situado no Município de Paraipaba, CE. Após as etapas de trituração e prensagem, o LPCB foi decantado e peneirado para retirada de fibras e sólidos maiores que 1 mm.

Nutrientes e micronutrientes foram adicionados ao LPCB, conforme apresentado nas Tabelas 1 e 2. Para o reator em escala de laboratório, adicionou-se alcalinizante com concentração mínima de 0,1 gNaHCO₃.g⁻¹DQO aplicada. Já para o reator em escala piloto, adicionou-se soda cáustica até que o pH da solução com LPCB atingisse pH 7.

Tabela 1. Composição das soluções de nutrientes e micronutrientes utilizadas na operação do reator UASB em escala de laboratório.

Nutriente	Concentração (g.g _{DQO} ⁻¹)	Solução de micronutriente	Concentração (mg.g _{DQO} ⁻¹)
NH ₄ Cl	0,15	FeCl ₂ .4H ₂ O	1,62
K ₂ HPO ₄	0,10	H ₃ BO ₃	0,06
MgSO ₄ .7H ₂ O	0,04	ZnCl ₂	0,02
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,13	CuCl ₂ .2H ₂ O	0,02
Extrato de levedura	0,008	NiCl ₂ .6H ₂ O	0,05
Solução de micronutrientes	100 mL/L	MnCl ₂ .4H ₂ O	0,41
		(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,84
		AlCl ₃ .6H ₂ O	1,78
		CoCl ₂ .6H ₂ O	0,80
		Na ₂ SeO ₃ .5H ₂ O	0,08
		EDTA	0,23

Fonte: Viana et al. (2012).

Tabela 2. Composição das soluções de nutrientes e micronutrientes utilizadas na operação do reator UASB em escala piloto.

Nutriente	Concentração (g.g _{DQO} ⁻¹)	Solução de Micronutriente	Concentração (mg.g _{DQO} ⁻¹)
(NH ₂) ₂ CO (Ureia)	0,136	FeCl ₃ .6H ₂ O	2,990
Na ₂ HPO ₄	0,024	AlCl ₃ .6H ₂ O	0,396
MgCl ₂ .6H ₂ O	0,021	ZnCl ₂	0,024
KCl	0,011	NiCl ₂ .6H ₂ O	0,046
CaCl ₂ .2H ₂ O	0,069	CoCl ₂ .6H ₂ O	0,895
		(NH ₄) ₆ Mo ₇ O ₂₄ .4H ₂ O	0,839
		MnCl ₂ .4H ₂ O	0,409
		CuCl ₂ .2H ₂ O	0,018
		H ₃ BO ₃	0,065
		Na ₂ SeO ₃ .5H ₂ O	0,076

Os resultados da operação do reator UASB em escala de laboratório mostraram que houve adaptação da biomassa presente no reator aos aumentos de COV, iniciando em 1,9 kg_{DQO}.m⁻³.d⁻¹ e finalizando em 9,9 kg_{DQO}.m⁻³.d⁻¹, após 468 dias de operação. A Figura 3 apresenta a variação da DQO e a eficiência de remoção de matéria orgânica em função da COV aplicada durante a operação. As mudanças na COV ocorriam cada vez que o sistema estava adaptado ao regime de alimentação, ou seja, quando os valores de pH, alcalinidade, ácidos graxos voláteis, razão ácidos graxos voláteis (AGV) / alcalinidade, produção de biogás e eficiência de remoção de matéria orgânica atingiam valores próximos aos previstos. A variabilidade intrínseca da concentração de matéria orgânica no LPCB natural levou à instabilidade dos valores de COV e DQO no afluente aos reatores. Contudo, o reator UASB manteve-se estável, como pode ser verificado na baixa variabilidade dos valores de DQO do efluente. Durante quase todo o período operacional, a eficiência de conversão da matéria orgânica afluente em biogás se manteve próxima a 90%. O melhor desempenho do reator UASB foi obtido na fase de laboratório, com aplicação de COV de aproximadamente 8 kg_{DQO}.m⁻³.d⁻¹ (Etapa IV), quando o reator atingiu eficiência de remoção de DQO de 85,9%, produzindo, em média, 39 L/d, de biogás com aproximadamente 75% de CH₄.

Em escala piloto, o reator UASB foi menos eficiente que o de laboratório, na conversão da matéria orgânica do LPCB em metano. A operação foi dividida em duas etapas, que se diferenciaram no tipo de pseudocaule de onde foi extraído o

LPCB. Na primeira, o pseudocaule era proveniente de bananeiras cujos frutos tinham sido colhidos recentemente; enquanto, na segunda etapa, os pseudocaules eram de bananeiras mais antigas. A idade do pseudocaule ou o fato de a colheita ter sido ou não realizada antes da coleta desse pseudocaule parece ter influência significativa na concentração de matéria orgânica e na composição do LPCB. Isso influenciou o desempenho do reator. O LPCB usado na primeira e na segunda etapa de operação do reator em escala piloto tinha DQO média de 17 g.L⁻¹ e 10 g.L⁻¹, respectivamente.

O reator UASB manteve-se estável na primeira etapa de operação, atingindo COV de 2,2 kg_{DQO}.m⁻³.d⁻¹. A tentativa de aumento de carga orgânica realizada na segunda etapa causou uma diminuição da eficiência de conversão da matéria orgânica, com consequente redução da taxa de metanização (Figura 4).

Para aplicação em escala real, a produção de biogás a partir do LPCB deve ser realizada em um reator UASB, operado com carga orgânica de COV de até 2 kg_{DQO}.m⁻³.d⁻¹. O reator deve, primeiramente, ser inoculado com lodo anaeróbio proveniente de outros reatores já em funcionamento, como por exemplo, sistemas de tratamento de esgotos domésticos, estações de tratamento de efluentes de cervejarias, fecularias, laticínios, etc. O lodo anaeróbio deve, preferencialmente, ser do tipo granular e ter atividade metanogênica específica maior que 0,3 kg_{DQO}.kg⁻¹_{SV}.d⁻¹. Após a inoculação, o reator anaeróbio deve passar por uma etapa de adaptação, na qual a concentração de LPCB deve ser aumentada gradativamente, de acordo com o crescimento da

atividade metabólica do lodo. Nessas condições, o reator produziu em média 71 L.d^{-1} de biogás (Figura 4B), o que equivale a uma produção específica de $2,07 \text{ L}$ de biogás por litro de LPCB, ou $1,55 \text{ L}$ de metano por litro de LPCB (considerando que, na composição do biogás, tenha 75% de metano). Com isso, é possível produzir $0,34 \text{ m}^3\text{CH}_4.\text{m}^{-3}$ de reator, o que possibilita a geração teórica de $0,84 \text{ kW.m}^{-3}$ de LPCB ou $0,18 \text{ kW.m}^{-3}$ de reator. Neves et al. (2009) relataram produção específica de metano de aproximadamente $0,4 \text{ L CH}_4.\text{m}^{-3}$ de efluente

de indústria de laticínios e usina de açúcar, e de $1,1 \text{ L CH}_4.\text{m}^{-3}$ de efluente da indústria de café.

Durante a alimentação, devem-se adicionar nutrientes como mostrado na Tabela 2 e soda cáustica (alcalinizante) de forma que a solução de LPCB na alimentação tenha pH próximo a 7. O LPCB deve ser peneirado antes de ser usado e o tanque de armazenamento da solução de LPCB deve ser mantido em constante agitação para evitar a decantação do material particulado.

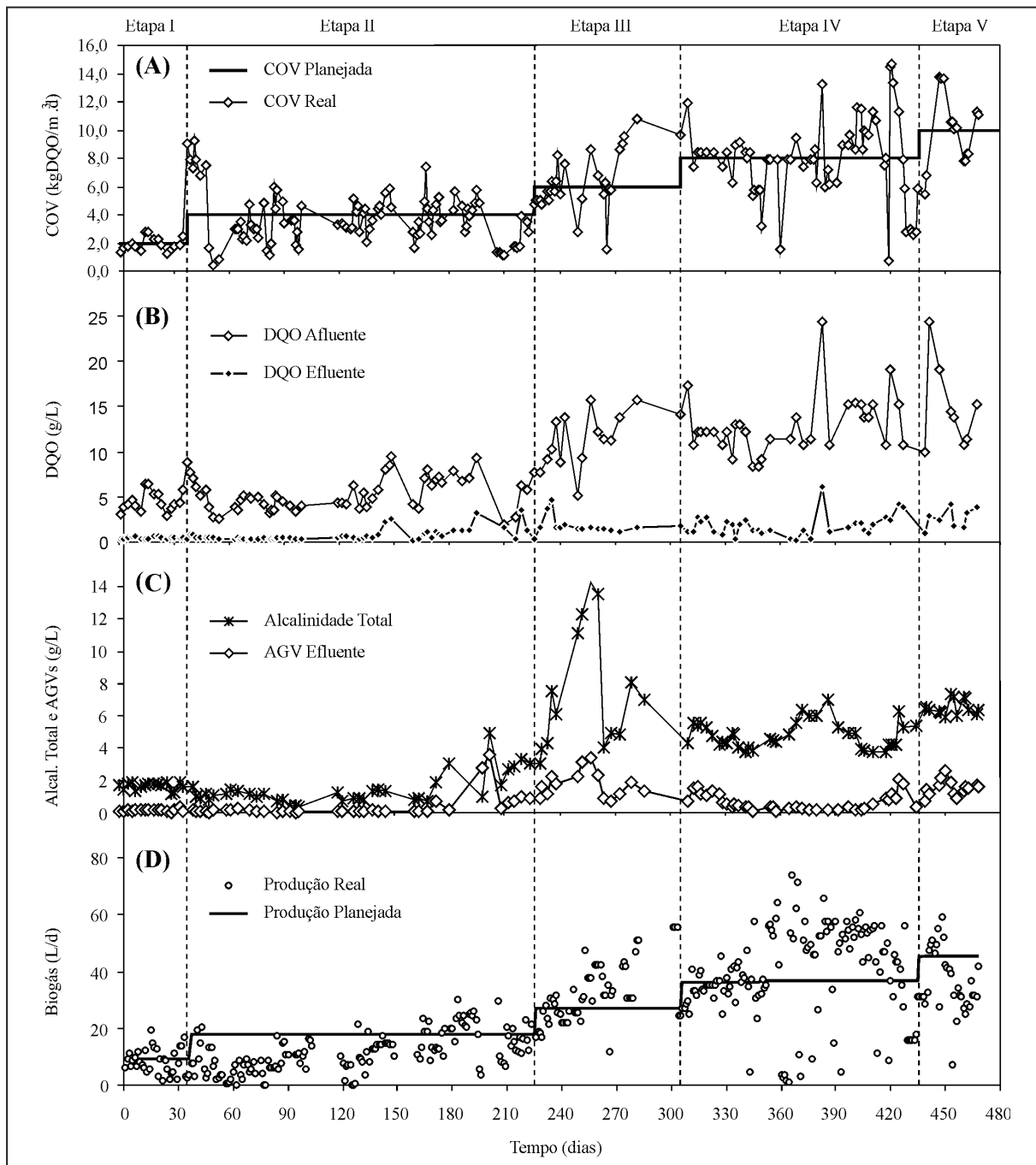


Figura 3. Variação das concentrações de DQO afluente e efluente (B), da eficiência de remoção de matéria orgânica (C) e da produção de biogás (D), de acordo com a COV aplicada (A) ao longo do tempo de operação do reator UASB em escala de laboratório.

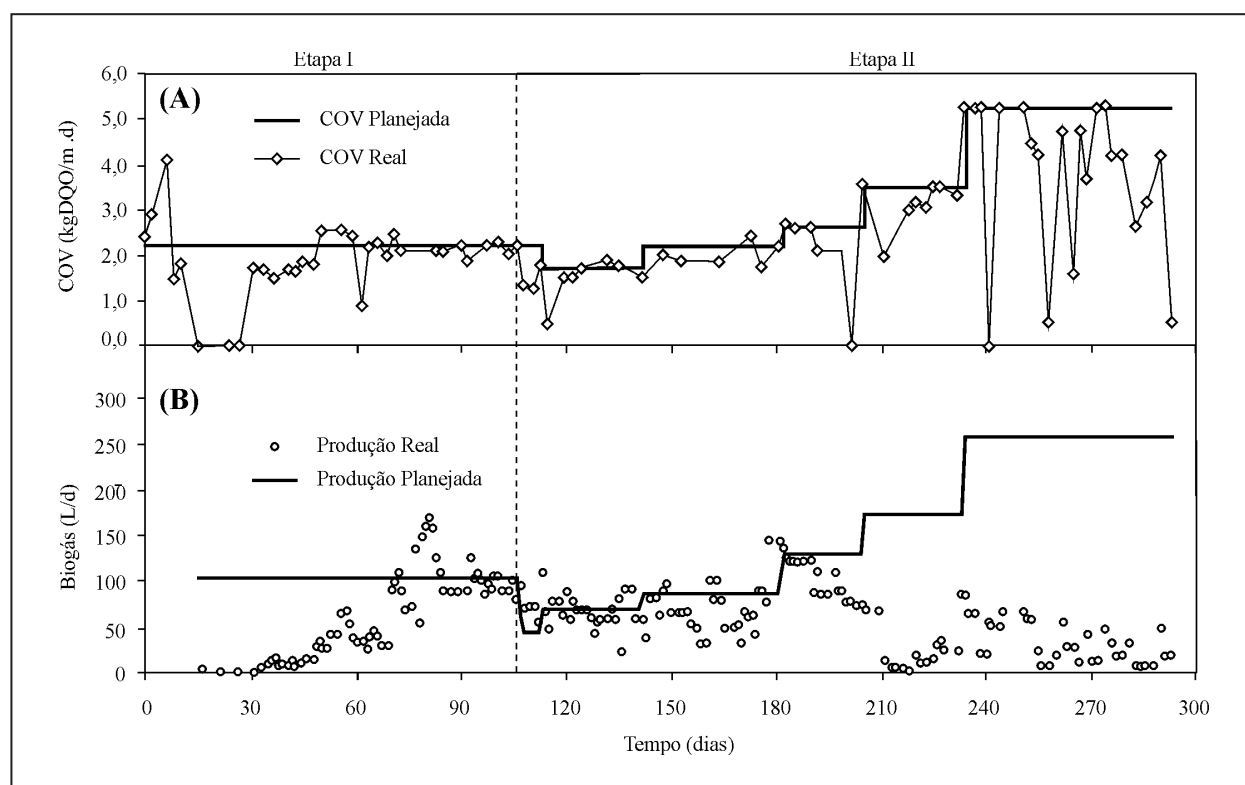


Figura 4. Variação da produção de biogás (B) de acordo com a COV aplicada (A) ao longo do tempo de operação do reator UASB em escala piloto.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio financeiro da Embrapa, Edital 01/2008 – Macroprograma 2. Os autores também agradecem aos assistentes de pesquisa que contribuíram de forma efetiva para a elaboração desta pesquisa: Joacir Xavier da Silva e Damião Alves de Lima.

Referências

- AHMAD, A.; GHUFRAN, R.; WAHID, Z. A. Bioenergy from anaerobic degradation of lipids in palm oil mill effluent. **Reviews on Environmental Science and Biotechnology**, v.10, p.353-376, 2011.
- CALZADA, J. F.; ARRIOLA, M. C.; ROLZ, C.; VALLADARES, J. Treatment of banana stem juice: methane production and effluent purification. **Environmental Technology Letters**, v. 9, p.785-790, 1988.
- CHAMY, R.; PIZARRO, C.; VIVANCO, E.; SCHIAPPACASSE, M. C.; JEISON, D.; POIRRIER, P.; RUIZ-FILIPPI, G. Selected experiences in Chile for the application of Uasb technology for vinasse treatment. **Water Science and Technology**, v. 56, p. 39-48, 2007.
- CHAN, Y. J.; CHONG, M. F.; LAW, C. L.; HASSELL, D. G. A review on anaerobic-aerobic treatment of industrial and municipal wastewater. **Chemical Engineering Journal**, v.155 p.1-18, 2009.
- GONÇALVES FILHO, L. C. **Utilização do pseudocaule de bananeira como substrato da fermentação alcoólica: avaliação de diferentes processos de despolimerização**. 2011. 98 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Processos) - Universidade da Região de Joinville – Univille, Joinville.
- GONZÁLEZ-GARCÍA, E.; CÁCERES, O.; ARCHIMÈDE, H.; ARECE, J.; SANTANA, H.; DELGADO, R. Nutritional assessment of banana (*Musa paradisiaca*) leaves and pseudostems for ruminants. **Journal of Animal Science**, v. 86, p. 474, 2008.
- IBGE. Pesquisa mensal de previsão e acompanhamento das safras agrícolas no ano civil. **Levantamento sistemático da produção agrícola**. Rio de Janeiro. v. 24, n. 4, p.1-82, 2011. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa/lspa_201104.pdf>. Acesso em: 11 out. 2012.
- KUMAR, M.; KUMAR, D. Comparative study of pulping of banana stem. **International Journal of Fiber and Textile Research**, v. 1, p.1-5, 2011.
- LETTINGA, G; VAN VELSEN, A. F. M.; HOBMA, S. W.; DE ZEEUW, W.; KLAPWIJK, A. Use of the Upflow Sludge Blanket (USB) Reactor concept for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. **Biotechnology and Bioengineering**, v. 22, p. 699-734, 1980.
- NEVES, L. C. M.; CONVERTI, A.; PENNA, T. C. V. Biogas production: new trends for alternative energy sources in rural and urban zones. **Chemical Engineering and Technology**, v. 32, p.1147-1153, 2009.

ROSA, M. F.; SOUZA FILHO, M. S. M.; FIGUEIREDO, M. C. B.; MORAIS, J. P. S.; SANTAELLA, S. T.; LEITÃO, R. C. Valorização de resíduos da agroindústria. In: SIMPÓSIO INTERNACIONAL SOBRE GERENCIAMENTO DE RESÍDUOS AGROPECUÁRIOS E AGROINDUSTRIAIS, 2., 2011, Foz do Iguaçu. **Anais...** Foz do Iguaçu: SBERA, 2011.

TAWFIK, A.; SOBHEY, M.; BADAWY, M. Treatment of a combined dairy and domestic wastewater in a up-flow anaerobic sludge blanket (Uasb) reactor followed by activated sludge (AS system). **Desalination**, v. 227, p.167-177, 2008.

VIANA, M. B.; FREITAS, A. V.; LEITÃO, R. C.; SANTAELLA, S. T. Biodegradability and methane production potential of glycerol generated by biodiesel industry. **Water Science and Technology**, v. 66, n.10, p. 2217-2222, 2012.

Comunicado Técnico, 187



Exemplares desta edição podem ser adquiridos na:
Embrapa Agroindústria Tropical
Endereço: Rua Dra. Sara Mesquita 2270, Pici,
CEP 60511-110 Fortaleza, CE
Fone: (0xx85) 3391-7100
Fax: (0xx85) 3391-7109 / 3391-7141
E-mail: vendas@cnpat.embrapa.br

1ª edição (2012): on-line

Comitê de Publicações

Presidente: Marlon Vagner Valentim Martins
Secretário-Executivo: Marcos Antonio Nakayama
Membros: José de Arimatéia Duarte de Freitas, Celli Rodrigues Muniz, Renato Manzini Bonfim, Rita de Cassia Costa Cid, Rubens Sonsol Gondim, Fábio Rodrigues de Miranda.

Expediente

Revisão de texto: Marcos Antonio Nakayama
Editoração eletrônica: Arilo Nobre de Oliveira
Normalização bibliográfica: Rita de Cassia Costa Cid