

II-441 – PRODUÇÃO DE BIOGÁS EM REATORES UASB UTILIZANDO MELAÇO

Roberto Alves de Oliveira⁽¹⁾

Engenheiro Agrônomo e Tecnólogo em Construção Civil; Mestre em Agronomia – Produção Vegetal pela UNESP, Câmpus de Jaboticabal; Doutor em Engenharia Civil - Hidráulica e Saneamento pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP); Professor Assistente Doutor, Departamento de Engenharia Rural, Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal.

Rose Maria Duda⁽²⁾

Engenheira Química; Mestre e Doutora em Microbiologia Agropecuária pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Câmpus de Jaboticabal; Pós-doutoranda do Departamento de Eng. Rural da UNESP, Campus de Jaboticabal. Professora Assistente, da Faculdade de Tecnologia “Nilo de Stéfani” de Jaboticabal (FATEC-Jaboticabal).

Alexandre Anibal Antunes Faria⁽³⁾

Tecnólogo em Biocombustíveis pela Faculdade de Tecnologia “Nilo de Stéfani” de Jaboticabal (FATEC-Jaboticabal). Mestre em Microbiologia Agropecuária pela Universidade Estadual Paulista (UNESP), Campus de Jaboticabal.

Endereço^{(1), (2) e (3)}: Departamento de Engenharia Rural - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane - s/n - Jaboticabal/SP - Cep. 14884-900 – Brasil - Tel: (16) 3209-2638 - e-mail: oliveira@fcav.unesp.br; roseduda@zipmail.com.br.

RESUMO

Neste trabalho avaliou-se o desempenho de um reator anaeróbico de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) na faixa de temperatura mesofílica utilizando o melaço de cana-de-açúcar diluído como substrato. O reator UASB foi operado com tempo de detenção hidráulico (TDH) de 24 h com cargas orgânicas volumétricas (COV) médias de até 15 g DQOtotal (L d)⁻¹ e foi utilizada a recirculação total do efluente do reator UASB, para diluir o melaço. O inoculo utilizado era proveniente de um reator UASB termofílico tratando vinhaça. Foram observadas produção volumétrica e produção específica de metano de até 0,97 N LCH₄ (L d)⁻¹ e de 0,194 L CH₄ (g DQOtotal removida)⁻¹, respectivamente, o que indicou a adaptação da microbiota utilizando melaço de cana-de-açúcar, desde que seja realizada a suplementação de alcalinidade, nitrogênio e fósforo. Foram observados valores médios de remoção de demanda química de oxigênio, de 64 a 72%, com base na DQOtotal do melaço adicionado.

PALAVRAS-CHAVE: Biogás, Metano, Lodo termofílico, Vinhaça de cana-de-açúcar.

INTRODUÇÃO

O Brasil destaca-se no cenário mundial como produtor de cana-de-açúcar, com uma área cultivada de aproximadamente sete milhões de hectares (AGRINUAL, 2012). É atualmente um dos maiores produtores mundiais de etanol de cana-de-açúcar, com uma produção na safra 2012/2013 de 23,226 bilhões de litros (ÚNICA, 2014). A necessidade de aumentar a sustentabilidade da produção de etanol, intensificou a otimização de uso da energia nos processos, juntamente com a adequação ambiental dos co-produtos e resíduos gerados. Para cada tonelada de cana moída, é gerado 1.066 litros de vinhaça, 82 litros de etanol e 90 quilos de açúcar (UYEDA et al., 2013).

A vinhaça é utilizada na fertirrigação dos canaviais, mas existe a necessidade de obtenção de alternativas para o seu uso, em virtude do aumento do volume produzido e dos limites para sua aplicação no solo. Uma das alternativas é a digestão anaeróbica da vinhaça para a produção de metano, que pode ser utilizado como uma fonte de energia. O reator anaeróbico de fluxo ascendente (UASB) é amplamente utilizado em virtude do dispositivo de retenção de lodo (Van Haandel et al., 2013) e das vantagens como a baixa produção de lodo, pequena área de instalação (Urbinati e Oliveira, 2013). Entretanto, a vinhaça é um resíduo orgânico sazonal da indústria sucroenergética e existe a necessidade de estudos de utilização de outras fontes de carbono para a

manutenção dos reatores anaeróbios no período da entressafra da cana-de-açúcar. O melaço de cana-de-açúcar pode ser uma alternativa para manter o reator anaeróbio em funcionamento no período da entre-safra, pois pode ficar estocado e não se degrada durante este período. O melaço é um líquido marrom, viscoso e é um subproduto da produção de açúcar, sendo produzido na proporção de 34 a 38 quilos por tonelada de cana-de-açúcar processada (ALBUQUERQUE, 2011) e a maior aplicação do melaço atualmente é a produção de etanol (ARIMI et al., 2014).

O melaço de cana-de-açúcar também é citado como fonte de carbono, em estudos experimentais, para a produção biológica de hidrogênio, em virtude das altas concentrações de glicose, sacarose e frutose, nutrientes minerais e do baixo custo (PARK et al., 2010; KONGJAN et al., 2013; WANG et al., 2013) e na co-digestão, misturado com águas residuárias de suínos e de bovino leiteiro para aumentar o potencial de produção de hidrogênio e de biogás (WU et al., 2013).

Em virtude da facilidade de obtenção e estocagem do melaço de cana-de-açúcar pelas usinas sucroenergéticas e da necessidade de estudos sobre a manutenção de reatores anaeróbios durante a entre-safra, neste trabalho foi avaliado a utilização do melaço diluído como afluente de um reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB), em escala piloto, na faixa de temperatura mesofílica.

MATERIAIS E MÉTODOS

A pesquisa foi desenvolvida nas instalações experimentais e laboratoriais da área de Saneamento Ambiental do Departamento de Engenharia Rural, da Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias da Universidade Estadual Paulista - UNESP, Campus de Jaboticabal.

O reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB) foi construído com tubo de PVC, com 0,15 m diâmetro e 6 m de altura e volume de 105 L (Figura 1).

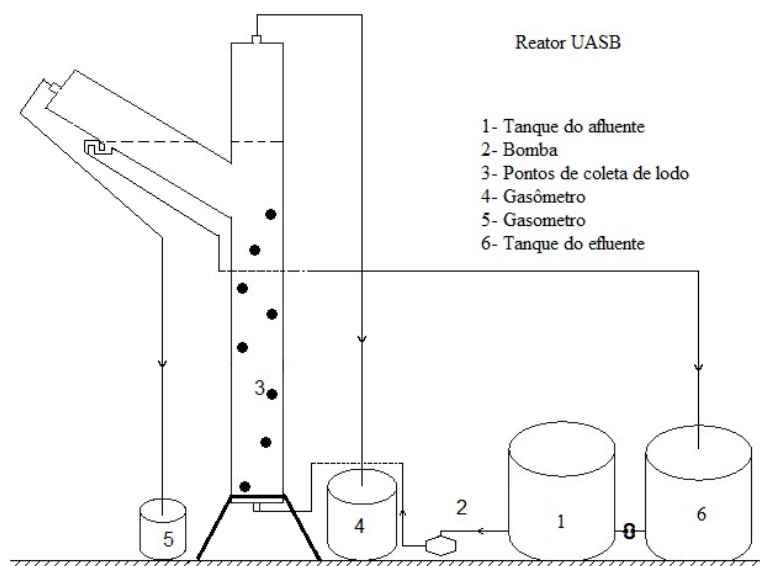


Figura 1. Representação esquemática do reator anaeróbio de fluxo ascendente com manta de lodo (UASB).

O separador de fases não convencional, na forma de Y, com ângulo de 45° em relação à vertical foi construído conforme proposto por VAN HAANDEL et al. (1999). O reator UASB possuía oito pontos de coleta de lodo distribuídos na forma de espiral, ao longo da altura do reator, com distâncias de 50 cm entre cada ponto. Para a coleta de biogás foram instalados, nas extremidades superiores do reator conexões conectadas a gasômetros (Figura 1).

O melaço utilizado como substrato do reator UASB foi coletado quinzenalmente numa Usina Sucroenergética da região de Ribeirão Preto, no período de dezembro de 2012 a dezembro de 2013, com média de 84,7 °BRIX e 57,5% de pureza. O melaço denominado “mel final” é utilizado na usina como substrato na fermentação para a produção de etanol.

O reator UASB foi operado com TDH de 24 h e o experimento foi dividido em fases I, II, III e IV. Para a partida do reator UASB, nas Fases I e II, foi utilizado como inóculo, lodo termofílico granulado (55 °C), proveniente de um reator UASB, em escala real, que tratava vinhaça na região de Ribeirão Preto. O reator UASB foi preenchido em 30% do seu volume. A fase I foi realizada de dez/2012 a mar/2013 (70 dias).

Na Tabela 1 estão apresentados os exames e as determinações que foram efetuados nas amostras compostas coletadas do afluente e do efluente do reator UASB, a frequência de realização e as fontes das metodologias utilizadas.

Tabela 1. Análises e determinações, frequência e fontes das metodologias utilizadas na monitorização do reator UASB, em escala piloto, utilizando melaço de cana-de-açúcar. Analyzes and determinations, frequency sources and methodologies used to monitor the UASB reactor in a pilot scale using molasses sugar cane.

EXAMES E DETERMINAÇÕES	FREQUÊNCIA	REFERÊNCIAS
Afluente e efluentes		
Temperatura	Diária	APHA, AWWA, WPCF (2005)
pH	Duas vezes \ semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Alcalinidade total (AT), parcial (AP) e intermediária(AI).	Duas vezes \ semana	APHA, AWWA, WPCF (2005), JENKINS et al. (1983)
Ácidos voláteis totais	Duas vezes \ semana	DILALLO & ALBERTSON (1961)
Demanda química de oxigênio (DQO _{total}); DQO da fração dissolvida (DQO _{diss.})	Duas vezes \ semana	APHA, AWWA, WPCF (2005) e OLIVEIRA (1997).
Nitrogênio kjehldal (NK)	Uma vez \ semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Fósforo total	Uma vez \ semana	APHA, AWWA, WPCF (2005),
Potássio, cálcio, magnésio, cobre, ferro, manganês, sódio e zinco.	Uma vez \ semana	APHA, AWWA, WPCF (2005)
Biogás		
Produção	Diária	(Método: Gasômetros) – OLIVEIRA (1997)
Composição	Semanal	APHA, AWWA, WPCF (2005),

O afluente inicial do reator UASB foi o 120 L de efluente de reator anaeróbio horizontal tratando águas residuárias de suinocultura, misturado com 200 mL de melaço de cana-de-açúcar. No segundo dia de operação e nos subsequentes utilizou-se o efluente do reator UASB para diluir o melaço, ou seja, todo o efluente do reator UASB recirculava diariamente. A DQO_{total} média do melaço de cana-de-açúcar era de 1090.000 mg L⁻¹. Em virtude das características do melaço houve a necessidade de fazer a suplementação fósforo e nitrogênio. Portanto foi adicionado, após 55 dias de operação, o diHidrogenofosfato de Potássio Monobásico (KH₂PO₄) e o bicarbonato de amônio (NH₄HCO₃), na proporção de 0,34 g L⁻¹ de HCO₃⁻ e 0,15 g L⁻¹, de NH₄⁺ no afluente do reator UASB.

Na fase II a partida do reator UASB foi idêntica a da fase I e foi realizada com o mesmo lodo utilizado na Fase I, armazenado por 70 dias. Em virtude dos valores elevados de ácidos voláteis totais (AVT) no 78^o dia de operação foi descartado todo o efluente que recirculava. Após o descarte utilizou-se novamente o efluente do reator anaeróbio horizontal para diluir o melaço, iniciando-se a fase III. Nos dias subsequentes foi realizada a recirculação do efluente no reator UASB. Foi utilizado o diHidrogenofosfato de Potássio Monobásico (KH₂PO₄) e o bicarbonato de amônio (NH₄HCO₃), na proporção de 0,34 g L⁻¹ de HCO₃⁻ e 0,15 g L⁻¹, de NH₄⁺ no afluente do reator UASB. Aos 238 dias de operação do reator, houve descarte de parte do lodo, iniciando-se a Fase IV.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores de pH do afluente e do efluente foram decrescentes de 8,06 a 5,18 e de 7,3 a 5,85 respectivamente, na Fase I. Com a utilização do bicarbonato de amônio para a suplementação de alcalinidade, na última quinzena de operação, os valores de pH aumentaram novamente no afluente e efluente, atingindo valores de 6,04 e 6,18, respectivamente (Figura 2).

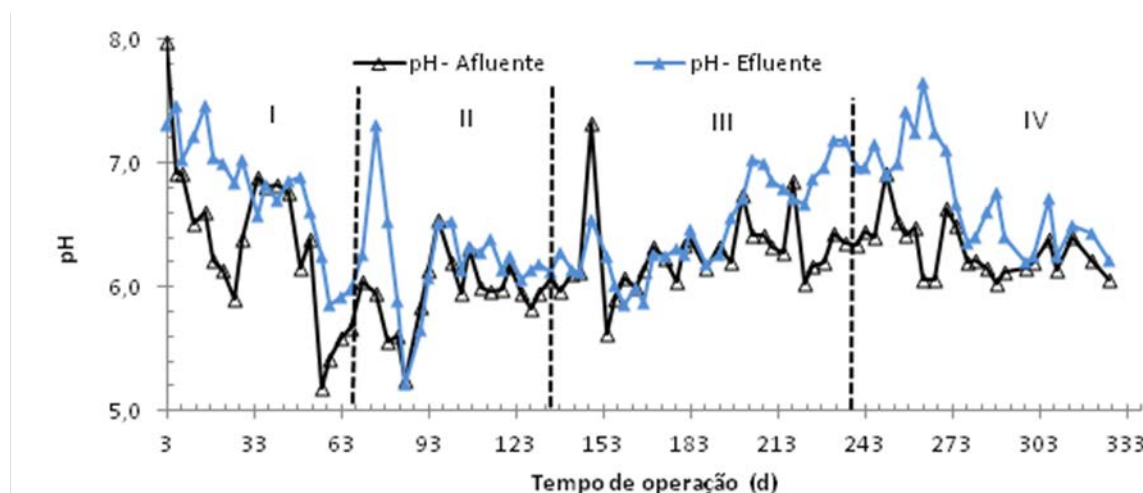


Figura 2. Valores de pH no afluente e efluente do reator UASB nas fases I a IV.

Na fase II, os valores médios de pH do afluente e efluente nos primeiros 77 dias de operação foram de 6,04 e 6,15, respectivamente, e após este período foram superiores de 6,30 e 6,64, nas Fases III e IV, respectivamente (Figura 2 e Tabela 2).

A alcalinidade parcial (AP) do afluente e efluente foram decrescentes na Fase I, seguindo a tendência do pH, com valores de 1760 a 0 mg L⁻¹ CaCO₃ e de 1600 a 52 mg L⁻¹ CaCO₃, respectivamente (Figura 3). Na fase II III e IV, os valores médios de alcalinidade parcial (AP) do efluente foram de 424; 671 e 600 mg L⁻¹ de CaCO₃, respectivamente (Figura 3). Os valores médios de ácidos voláteis totais (AVT) no afluente e efluente foram 1300 e de 1139 mg L⁻¹, respectivamente, na fase I (Figura 4). De acordo com Zhao et al., (2010) a alcalinidade é muito importante para o tamponamento ácido proporcionando um pH adequado para os microrganismos.

Observando-se a Figura 4, verifica-se que os valores de AVT foram inferiores a 1740 mg L⁻¹, no afluente e efluente do reator UASB. Os valores médios de ácidos voláteis totais (AVT) do afluente e efluente, na Fase II, foram 3891 mg L⁻¹ e de 3962 mg L⁻¹, respectivamente e neste período foram observados valores de até 6036 mg L⁻¹ de ácidos voláteis (Figura 4).

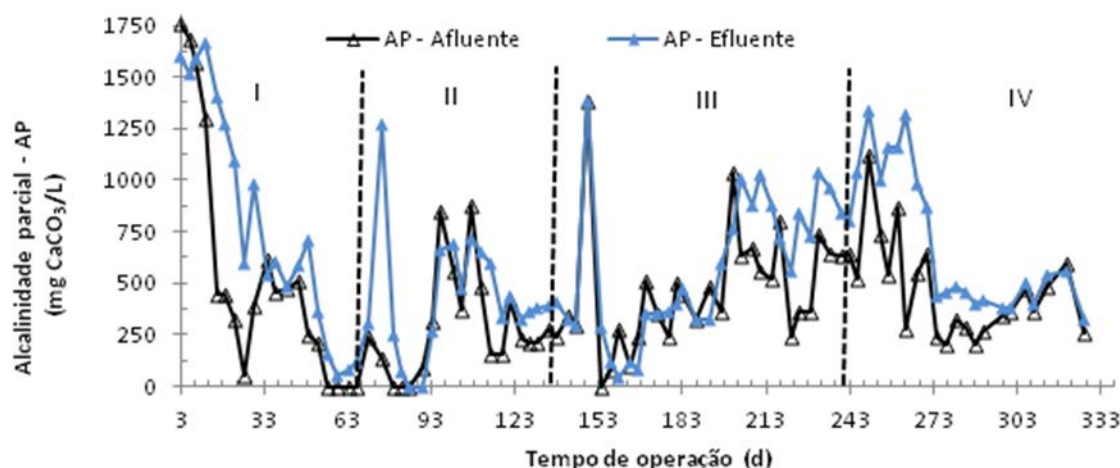


Figura 3. Valores de alcalinidade parcial (AP) no afluente e efluente do reator UASB nas fases I a IV.

A partir do descarte do efluente e reinício com o efluente de reatores anaeróbios horizontais para diluir o melaço, na Fase III, foram observados valores médios de AVT de 1897 e 1908 mg L^{-1} , no afluente e efluente do reator UASB, respectivamente, e o valor máximo e mínimo observado no efluente de 3030 e 690 mg L^{-1} (Figura 3).

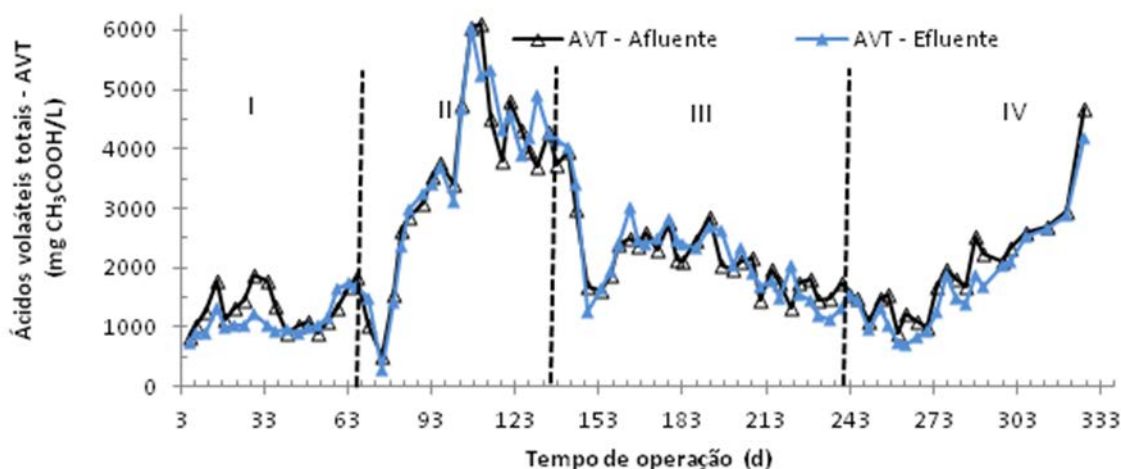


Figura 4. Valores de ácidos voláteis totais (AVT) no afluente e efluentes do reator UASB nas fases I a IV.

Onodera et al., (2011) utilizando águas residuárias provenientes de uma indústria de açúcar, em um reator UASB, verificou altas concentrações no efluente, principalmente dos ácidos acético, propionico e butírico, e que segundo os autores foram os responsáveis pelo desempenho instável do reator. Kongjan et al., (2013), utilizando melaço residual da produção de açúcar de beterraba em um reator UASB observaram que o aumento da COV para 9,0 g SV (L d)^{-1} , mesmo com a manutenção do pH de 8 a 9, observaram um decréscimo abrupto da produção de metano, e o aumento significativo de ácidos graxos voláteis, especialmente o ácido acético e butírico, para valores próximos a 3000 e 1600 mg L^{-1} , respectivamente, indicando falência do processo. Ou seja, o aumento das COV em um reator UASB utilizando açúcares com substrato deve ser realizado observando-se as concentrações de ácidos, para evitar a falência do processo. Aumentos acentuadas de COV, para valores próximos a 10 $\text{g DQOtotal (L d)}^{-1}$ contribuíram para o acúmulo de AVT promovendo a queda acentuada do pH.

Os valores médios de DQO_{total} na Fase I, no afluente e efluente foram de 5906 e 44624 mg L⁻¹, respectivamente (Tabela 2). A carga orgânica volumétrica (COV) média aplicada no reator, na Fase I foi de 5,9 g DQO_{total} (L d)⁻¹, com valores variando de 2,1 a 9,61 g DQO_{total} (L d)⁻¹ (Figura 5).

Tabela 2. Valores médios da carga orgânica (COV), demanda química de oxigênio total (DQO_{total}), demanda química de oxigênio dissolvida (DQO_{diss}), sólidos suspensos totais (SST), sólidos suspensos voláteis (SSV) do afluente e efluente obtidos no reator UASB.

Dia de operação		I	II	III	IV
COV (g DQO _{total} (L d) ⁻¹)	Afluente	5,9	15,2	9,9	9,4
	c.v. (%)	30	28	19	33
DQO _{total} (mg L ⁻¹)	Afluente	5906	15215	9854	9449
	c.v. (%)	30	28	19	33
	Efluente	4624	13503	8342	8014
	c.v. (%)	36	29	22	42
DQO _{diss.} (mg L ⁻¹)	Afluente	4704	13371	8319	6530
	c.v. (%)	40	33	24	36
	Efluente	3621	11903	7267	5621
	c.v. (%)	55	35	25	43
SST (mg L ⁻¹)	Afluente	2032	3838	2385	3405
	c.v. (%)	36	39	54	50
	Efluente	1553	2345	1413	2390
	c.v. (%)	53	63	42	56
SSV (mg L ⁻¹)	Afluente	1414	3051	2049	3173
	c.v. (%)	30	41	54	59
	Efluente	1029	1987	1258	2220
	c.v. (%)	53	66	40	57
Produção específica de metano (N LCH ₄ (g DQOremovida) ⁻¹)	-	0,183	0,061	0,194	0,178
	c.v. (%)	50	115	43	38

c.v. – coeficiente de variação (%)

As cargas orgânicas volumétricas médias aplicadas no reator UASB, nas Fases II, III e IV foram de 15,2; 9,9 e 9,4 g DQO_{total} (L d)⁻¹, respectivamente (Tabela 2). Os valores médios de DQO_{total} no afluente e efluente do reator UASB foram de 15215 e 13503 mg L⁻¹, de 9854 e 8342 mg L⁻¹ e de 9449 e 8014 mg L⁻¹, nas Fases II, III e IV, respectivamente (Tabela 2). A relação média DQO_{diss}/DQO_{total} no efluente do reator UASB variou de 0,70 a 0,88, indicando como também observado na fase I, que a demanda química de oxigênio remanescente estava predominantemente na forma dissolvida.

A relação SSV/SST variou de 0,85 a 0,93 no efluente do reator UASB, indicando que os sólidos suspensos estavam predominantemente na forma de sólidos suspensos voláteis (Tabela 2).

As eficiências médias de remoção de DQO_{total} foram de 21, 11, 15 e 15%, nas fases I, II, III e IV, respectivamente. Estas baixas eficiências na remoção de DQO_{total} pode ter ocorrido em virtude do aumento de compostos de difícil degradação ocasionado pela recirculação do efluente. Em algumas investigações a baixa eficiência de remoção de DQO pode ser consequência da origem do substrato a ser fermentado, do processo de destilação (HARADA et al., 1996). Portanto, considerando-se que a recirculação manteve a DQO_{total} somente de compostos recalcitrantes, calculou-se as eficiências médias de remoção com base somente na DQO_{total} do melão adicionado, que foram de 64; 72; 67 e 69%, nas fases I, II, III e IV, respectivamente e na Figura 5, estão apresentados os valores obtidos durante a realização do experimento

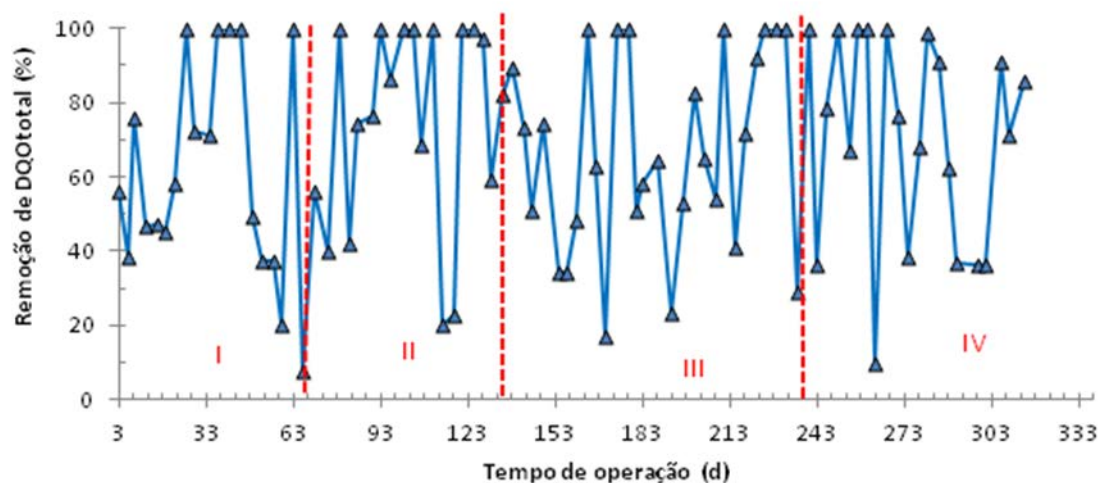


Figura 5. Valores de eficiências de remoção com base somente na demanda química de oxigênio (DQOtotal) do melaço adicionado no reator UASB nas fases I a IV.

Embora a recirculação possa ocasionar o acúmulo de compostos de difícil degradação, ela é uma alternativa para o aproveitamento da alcalinidade, dos nutrientes e da água e neste experimento proporcionaram remoção acima de 50%, de todo o melaço adicionado.

As produções volumétricas foram crescentes até o dia 51 de operação da Fase I, atingindo valores de até 0,40 L CH₄ (L d)⁻¹ e após este período houve um decréscimo (Figura 6), que pode ter ocorrido em virtude do decréscimo da alcalinidade e voltou a ser crescente após a suplementação de alcalinidade (Figura 2).

As produções volumétricas de metano na Fase II foram crescentes até aos 263 dias de operação do reator UASB, atingindo valor máximo de 0,97 L CH₄ (L d)⁻¹ e nos dias subsequentes foi observado um decréscimo da produção, provavelmente devido a arraste de lodo com o efluente (Figura 6). A produção específica de metano foi de 0,183; 0,061; 0,194 e 0,178 LCH₄ /g DQOremovida, com a aplicação das COV médias de 5,9; 15,2; 9,9 e 9,4 g DQOtotal (L d)⁻¹, respectivamente, nas Fases I, II, III e IV, respectivamente (Tabela 2).

BARROS (2013) operou dois reatores UASB mesofílicos com melaço, no reator R1 com COV de 7,5 a 5,0 DQOtotal (L d)⁻¹ e no R2 com COV de 11,5 a 5,0 DQOtotal (L d)⁻¹ e obteve produção específica de metano similares as observadas neste trabalho, de 0,157 e 0,081 L CH₄ /g DQOremovida.

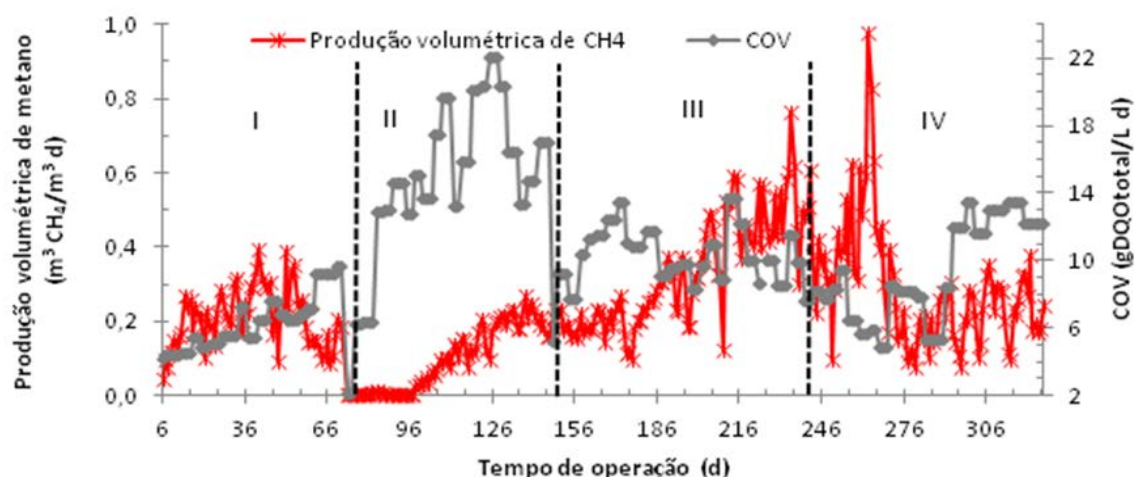


Figura 6. Produção volumétrica de CH_4 ($\text{L CH}_4 (\text{L d})^{-1}$) em função da COV no reator UASB.

Os valores médios de nitrogênio Kjeldahl (NK) e P-total no afluente do reator UASB foram de 1211, 757 e 1071 mg L^{-1} e de 164, 120 e 99 mg L^{-1} , nas Fases II, III e IV, respectivamente (Tabela 3). Considerando-se a DQOtotal do melão adicionado diariamente no reator, observa-se que a relação DQO:N:P do afluente do reator UASB foi de 350:28: 5,7, indicando que o nitrogênio e o fósforo estavam em excesso e não foram limitantes para o desenvolvimento da microbiota, pois o recomendado por Chernicharro (2007) é de 350:5:1.

Tabela 3. Valores médios e coeficiente de variação (c.v. em %) e concentrações de nitrogênio total (NK) e fósforo total (P-total) obtidos no afluente e efluente do reator UASB.

Dia de operação		Fase 2	Fase 3	Fase 4
COV (g DQO total (L d) ⁻¹)	Afluente	15,2	9,9	9,4
	c.v. (%)	28	19	33
NK (mg L ⁻¹)	Afluente	1211	757	1071
	c.v. (%)	23,4	20,2	51,1
	Efluente	1204	716	1100
	c.v. (%)	15,6	32,1	45,4
P-total (mg L ⁻¹)	Afluente	164	120	99
	c.v. (%)	19,9	40,9	15,0
	Efluente	168	115	92
	c.v. (%)	16,4	33,5	8,0

Valores similares de Ca, Mg, K, Na (Figura 7) e de Fe, Mn, Cu e Zn (Figura 8) no afluente e efluente do reator UASB foram observados, ou seja, em virtude da recirculação do efluente não foi observado, ou as eficiências de remoção destes elementos foram baixas.

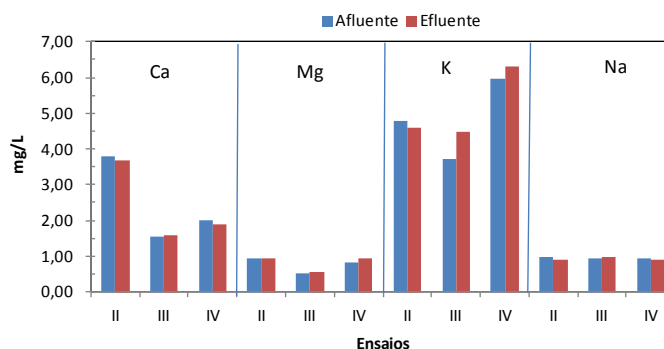


Figura 7. Valores médios do Ca, Mg, K e Na no afluente e efluente do reator UASB utilizando melão.

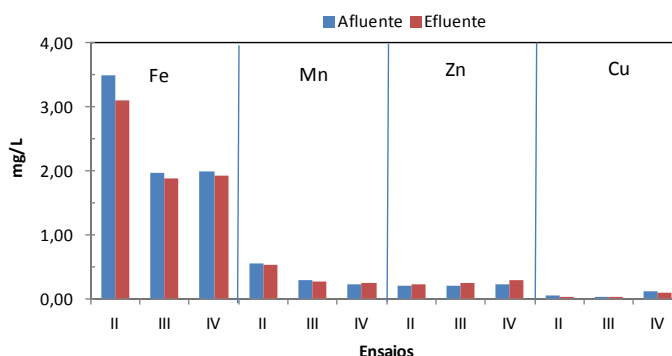


Figura 8. Valores médios do Fe, Mn, Zn e Cu no afluente e efluente do reator UASB utilizando melaço.

CONCLUSÕES

Observa-se que no período da entressafra e safra de cana-de-açúcar é possível manter a produção de metano no reator UASB, utilizando melaço de cana-de-açúcar como substrato em substituição da vinhaça, com produção volumétrica e produção específica de metano de até $0,97 \text{ N LCH}_4 (\text{L d})^{-1}$ e de $0,194 \text{ L CH}_4 (\text{g DQOtotal removida})^{-1}$, respectivamente, o que indicou a adaptação da microbiota utilizando melaço de cana-de-açúcar, desde que seja realizada a suplementação de alcalinidade, nitrogênio e fósforo. A recirculação do efluente permitiu o aproveitamento dos nutrientes e da água, embora possa ocasionar o acúmulo de compostos de baixa biodegradabilidade.

AGRADECIMENTOS

A Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPQ) e a Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo (FAPESP).

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. AGRINUAL 2012: Anuário da agricultura brasileira. Cana. Fnp Consultoria & Comércio. São Paulo: Ed. Agros comunicação, p. 214-244, 2012.
2. ALBUQUERQUE, F. M. Processo de Fabricação do açúcar. 3 ed. rev. ampl. - Recife: Ed. Universitária da UFPE, 2011, 447 p.
3. APHA; AWWA; WPCF - Standard methods for the examination of water and wastewater. 19. ed. Washington, 2005.
4. ARIMI, M. M.; ZHANG, Y.; GÖTZ, G. KIRIAMITI, K.; GEIßEN, S. U. Antimicrobial colorants in molasses distillery wastewater and their removal technologies. International Biodeterioration & Biodegradation, n.87, p. 34 a 43, 2014.
5. BARROS, V. G. Conversão anaeróbia de vinhaça e melaço em reatores UASB inoculados com lodo granulado. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Microbiologia Agropecuária) – Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, 2013.
6. DILALLO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. Journal Water Pollution Control Federation, Alexandria, v. 33, n. 4, p. 356-365, 1961.
7. HARADA, H.; UEMURA, S.; CHEN, A.C.; JAYADEVAN, J. Anaerobic treatment of a recalcitrant distillery wastewater by a thermophilic UASB reactor. Bioresource Technology, Oxford, V. 55, p. 215-221, 1996.
8. JENKINS, S. R.; MORGAN, J. M.; SAWYER, C. L. Measuring anaerobic sludge digestion and growth by a simple alkalimetric titration. Journal W. Pollution C. Federation, p. 448-453, 1983.
9. KONGJAN, P.; O-THONG, S.; ANGELIDAKI, I. Hydrogen and methane production from desugared molasses using a two-stage thermophilic anaerobic process. Engineering Life Science, v. 13, No. 2, p. 118 a 125, 2013.

10. MORAES, B. S. et al. Anaerobic digestion of vinasse from sugarcane biorefineries in Brazil from energy, environmental, and economic perspectives: Profit or expense?. *Applied Energy*, v. 113, p. 825-835, 2014.
11. OLIVEIRA, R. A. de. Efeito da concentração de sólidos suspensos do afluentes no desempenho e características do lodo de reatores anaeróbios de fluxo ascendente com manta de lodo tratando águas residuárias de suinocultura. 1997. 359 f. Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1997.
12. ONODERA, Takashi et al. High-rate treatment of molasses wastewater by combination of an acidification reactor and a USSB reactor. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*, v. 46, n. 14, p. 1721-1731, 2011.
13. PARK, M. J.; LO, J. H.; PARK, D.; LEE, D. S.; PARK, J. M. Comprehensive study on a two-stage anaerobic digestion process for the sequential production of hydrogen and methane from cost-effective molasses. *International Journal of Hydrogen Energy*, v.35, p. 6194 a 6202, 2010.
14. UYEDA, C. A.; MIRANDA, J. H. de; DUARTE, S. N.; MEDEIROS, P. R. F. de; DIAS, C. T. dos.
15. Influence of vinasse application in hydraulic conductivity of three soils. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.33, n.4, p.689-698, jul./ago. 2013
16. URBINATI, E.; OLIVEIRA, R. A. de. Anaerobic-aerobic treatment of swine wastewater in UASB and batch reactors in series. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.34, n.1, p.124-142, jan./fev. 2014.
17. ÚNICA-UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA DE AÇÚCAR Disponível em:<<http://www.unicadata.com.br/historico-de-producao-e-moagem.php?idMn=32&tipo=Historico=4>>. Acesso em 05/01/2014.
18. VAN HAANDEL, A.C.; CAVALCANTI, P. F. F.; MEDEIROS, E. J. S.; SILVA, J. K. M. Excess sludge discharge frequency for UASB reactors. *Water Science and Technology*, Oxford, v.40, n.8, p.211-19, 1999.
19. VAN HAANDEL, A.; VRIEZE, J. D.; VERSTRAETE, W.; SANTOS, V. DOS *Methanosaeta* dominate acetoclastic methanogenesis during high-rate methane production in anaerobic reactors treating distillery wastewaters. *J Chem Technol Biotechnol*, p. 1 – 9; 2013.
20. WANG, B.; LI, Y.; REN, N. Biohydrogen from molasses with ethanol-type fermentation: Effect of hydraulic retention time. *International Journal of Hydrogen Energy*, n.38, p.4361 a 4367, 2013.
21. WU, X.; LIN, H.; ZHU, J. Optimization of continuous hydrogen production from co-fermenting molasses with liquid swine manure in an anaerobic sequencing batch reactor. *Bioresource Technology*, n. 136, p. 351 a 359, 2013.
22. ZHAO, Y.G. et al. Performance of a sulfidogenic bioreactor and bacterial community shifts under different alkalinity levels. *Bioresource technology*, v. 101, n. 23, p. 9190-9196, 2010.