

DESEMPENHO DE REATORES ANAERÓBIOS HORIZONTAIS DE LEITO FIXO E FASES SEPARADAS TRATANDO VINHAÇA



OLAM – Ciência & Tecnologia, Rio Claro, SP, Brasil – ISSN: 1982-7784 – está licenciada sob [Licença Creative Commons](#)

Anna Paola Tonello [1]

Maria Magdalena Ferreira Ribas [2]

INTRODUÇÃO

Atualmente, as agroindústrias açucareiras e alcooleiras caracterizam-se pela produção de grande quantidade de resíduos tais como o bagaço, a torta de filtro e a vinhaça. A vinhaça é o maior problema em termos de volume gerado, de 10 a 15 L, em média, por litro de etanol produzido, e em devido suas características como o baixo pH, em torno de 4,5, elevada a demanda química de oxigênio (DQO), acima de 40 g L⁻¹, e a grande quantidade de potássio, cerca de 0,8% de seu peso seco (SPRINGER; GOISSIS, 1988). Também contém compostos fenólicos, que são tóxicos à microbiota anaeróbia (WIEGANT; LETTINGA, 1985).

Com essas características a vinhaça é disposta diretamente como fertilizante, sem tratamento prévio, em solos adjacentes da usina, resultando em poluição ambiental pelos sais, especialmente sais de potássio. Em rios e lençóis freáticos, o efeito poluente da vinhaça se faz pela quantidade de matéria orgânica que é passível de ser oxidada consumindo oxigênio livre dissolvido na água. A fauna e a flora aquática também são prejudicadas, provocando um fenômeno em cadeias de ampliação de demanda de oxigênio, até a morte ecológica do curso d'água ou reservatório, tornando a água imprópria para o consumo (GONÇALVES, 2000).

Segundo Cruz (1991), a vinhaça ainda apresenta problemas de insalubridade, odor forte (devido formação de gases decorrentes da decomposição anaeróbia a céu

aberto, podendo apresentar característica de toxidade), turbidez e cor à água.

Diante disso, o tratamento de água residuária, a biotecnologia de processos anaeróbios tem se desenvolvido de forma extraordinária com a introdução de reatores contendo biomassa imobilizada. Essa imobilização ocorre através de formação de um biofilme a um material suporte ou pela formação de lodo granular. Algumas alternativas desse tratamento são: tratamento em áreas alagadas (KERNER; ROCHARD, 2004), processos aeróbios como sistemas de lagoas (SPRINGER; GOISSIS, 1988), lodos ativados, reator batelada seqüencial (TORRIJOS; MOLETTA, 1997) e digestão anaeróbia.

A viabilidade do tratamento anaeróbio da vinhaça no Brasil foi comprovada com o uso de reatores UASB (reatores anaeróbios de fluxo ascendente e de manta de lodo) sob condições mesofílicas e termofílicas (WIEGANT; LETTINGA, 1985; SOUZA et al., 1992; VIANA, 2006) e reator fluidificado (FERNÁNDEZ et al., 2001), ambos com biomassa suspensa.

O uso de reatores com biomassa aderida em meio suporte se apresenta como alternativa, pois há formação de grânulos e dependendo do material dos meios suportes usados, há possibilidade de adsorção de parte dos compostos tóxicos presentes na água residuária pelo material. Uma das configurações mais utilizadas atualmente é o reator anaeróbio horizontal de leito fixo (RAHLF) preenchido com um meio suporte para fixação e proliferação de microrganismos.

O fluxo dentro deste reator é do tipo pistonado em que água residuária (afluente) se move continuamente ao longo do sistema, onde o afluente teoricamente não se mistura com o que entra no reator. Portanto, o reator pode trabalhar com várias fases em um único compartimento (ARMENANTE, 1993). Em reator de fluxo pistonado o fluido é idealmente misturado na lateral, mas não longitudinalmente (RIBAS; BARANA, 2003). Por esta razão, o reator pistonado é

mais eficiente que outros sistemas (TCHOBANOGLIOUS; BURTON, 1991). Uma das grandes vantagens desses reatores é seu uso com diversas águas residuárias agroindustriais.

São escassos os trabalhos científicos sobre digestão anaeróbia de vinhaça, de acordo com Vian et al. (2007) a necessidade de pesquisas dentro do setor sucroalcooleiro que avança a passos largos.

Recentemente, foi desenvolvido estudo sobre tratamento anaeróbio de vinhaça em um reator batelada seqüencial (SBR) que mostrou que quando o sistema é operado sob condições mesofílicas (35 °C) a média de remoção de matéria orgânica (como DQO) é da ordem de 80%, mas com um tempo de detenção hidráulica longo de 2 dias. O SBR também foi avaliado sob condições termofílicas (55 °C) e apresentou o maior rendimento de biogás e a concentração de metano de 125 gCH₄/ L de biogás que em condições mesofílicas (RIBAS, 2006).

Apesar do bom desempenho obtido no trabalho de Ribas (2006), sistemas descontínuos, como o SBR, não são recomendados para o tratamento de águas residuária com alta carga orgânica e de geração contínua, como a vinhaça. No sistema em batelada há um choque pela carga orgânica aos microrganismos anaeróbios logo no início da batelada o que resulta em acúmulo de ácidos orgânicos pela paralisação dos microrganismos acetogênicos, especialmente o ácido propiônico. Neste caso, há danos às outras fases da degradação anaeróbia. Então, devido a estes fatores no trabalho do referido autor, o sistema operou com tempo de detenção hidráulica maior que o desejado para recuperar do choque inicial em cada nova batelada.

Outra pesquisa que vem sendo desenvolvida na Universidade Estadual de Maringá pela Engenharia Agrícola desde 2006 é o tratamento de vinhaça em reator

em reator anaeróbio horizontal com leito fixo (RAHLF) de duas etapas, reator acidogênico, seguido de reator metanogênico.

Souza (2008) trabalhou com dois RAHLF em série, sendo que o primeiro foi preenchido com cubos de espuma de poliuretano e, o segundo, com pedras de calcário. O sistema operou durante 190 dias, sendo alimentado com carga orgânica volumétrica (COV) de 0,22 a 1,17 gDQO.L⁻¹.d⁻¹. A maior remoção de DQO, foi de 60,5% com COV de 0,95 gDQO.L⁻¹.d⁻¹. Foi observado também valores altos para ácidos voláteis totais da ordem de 1,1 g HAc.L⁻¹ e alcalinidade a bicarbonato de 0,9 g HCO₃⁻.L⁻¹. Nessas condições, o reator produziu biogás em média de 0,41 L.d⁻¹.

De acordo com Souza (2008) devido ao uso de calcário como meio suporte e devido à ação das arqueias metanogênicas, o pH do efluente final ficou em média de 7,3 e, mesmo com o uso de calcário, foi necessário adicionar 1 grama de bicarbonato de sódio para cada grama de DQO afluente. Isso além de onerar o sistema, tem a desvantagem de se adicionar sódio ao efluente que posteriormente será usado como biofertilizante.

O sódio em grande quantidade no efluente disposto em solo provoca a desestruturação de suas partículas, promovendo perda de solo e dificuldade de desenvolvimento das plantas (AGUIAR NETTO et al., 2007).

No sentido de dar continuidade às pesquisas sobre o desenvolvimento de reatores anaeróbios na degradação da vinhaça e elucidar algumas lacunas observadas nos trabalhos anteriores, esse trabalho teve como objetivo avaliar o tratamento da vinhaça em RAHLF acidogênico seguido de metanogênico, sendo o primeiro preenchido somente com espuma de poliuretano e o segundo com pedras de calcários misturadas com cubos de espumas de poliuretano para proporcionar maior aderência de arqueias nos poros dos meios suportes.

MATERIAL E MÉTODOS

Os reatores de bancada foram construídos em tubos de cloreto de polivinila (PVC), dispostos horizontalmente. O primeiro reator funcionava como um reator acidogênico (R_1) e o segundo como reator metanogênico (R_2).

O reator acidogênico tinha 15 cm de diâmetro e 30 cm de comprimento, volume total de aproximadamente 5,3 L. Este reator foi preenchido com 0,4 L de cubos de espuma de poliuretano, o que resultou em um volume útil de 4,9 L. A vazão de entrada era $1,33 \text{ L.h}^{-1}$, o que resultou em um tempo de detenção hidráulica (TDH) de 1 dia. O reator acidogênico era conectado ao reator metanogênico por um tubo de PVC de diâmetro de 2 cm em que havia um ponto de amostragem do efluente do reator acidogênico.

O reator metanogênico tinha 15 cm de diâmetro e 100 cm de comprimento e volume total de 16 L. O meio suporte deste reator era composto de 1/3 do comprimento (nos 33,3 cm iniciais) com cubos de espumas de poliuretano de $1,0 \text{ cm}^3$ de aresta e 2/3 do comprimento do reator foi preenchido com pedras de calcário de tamanho padronizado em peneiras de malha entre 3,81 cm e 1,91 cm. Dessa forma, o volume útil resultante no reator metanogênico foi de 12,4 L e o TDH foi de 3 dias, totalizando um TDH de 4 dias para o sistema, ou seja, para que a água residuária fosse tratada por 1 dia no reator acidogênico e 3 dias no metanogênico.

Na parte superior do reator metanogênico havia três saídas de biogás distanciadas em 25 cm entre cada ponto por onde o gás escapava e era captado em gasômetro do tipo cúpula flutuante. O gasômetro foi construído por dois tubos concêntricos PVC, um com 15 cm de diâmetro e 60 cm de comprimento e o outro com 10 cm de diâmetro e 50 cm de comprimento que era fechado no topo e preso a um contra-peso de forma que houvesse possibilidade de flutuação em solução salina acidificada (25% de cloreto de sódio e 5% de ácido sulfúrico concentrado). O

sistema permaneceu em temperatura ambiente durante todo período experimental. O esquema experimental pode ser observado em detalhes na Figura 1.

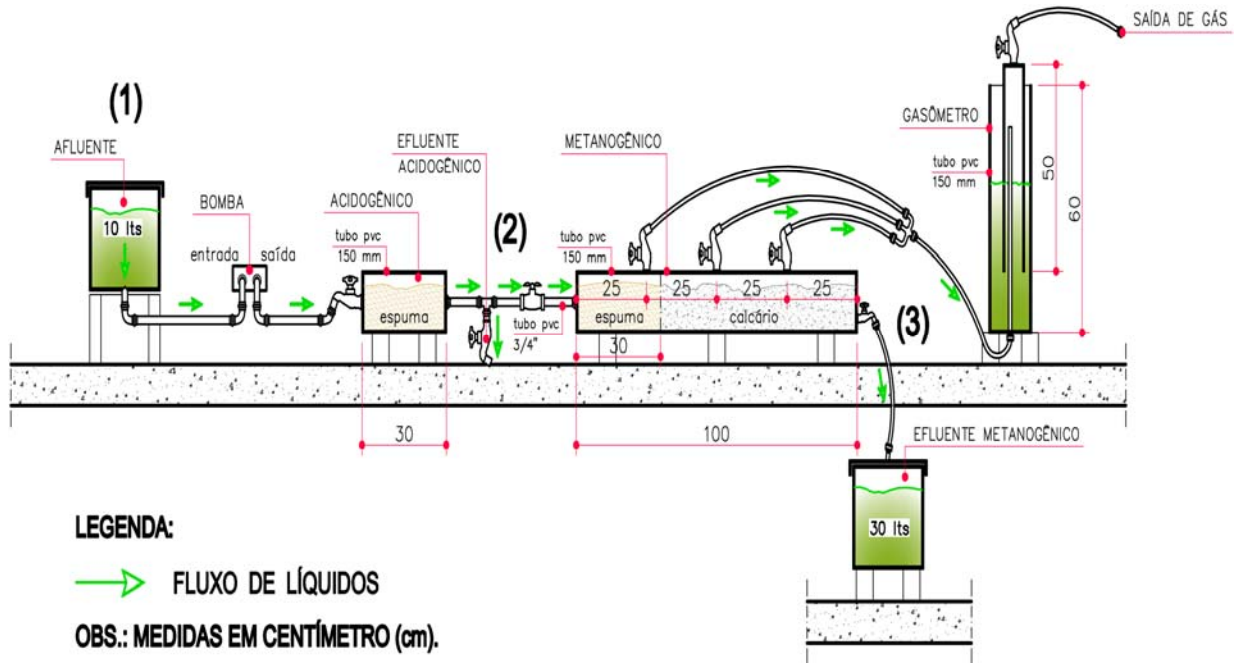


Figura 1. Esquema experimental do sistema de tratamento da vinhaça composto por um RAHLF acidogênico seguido de metanogênico e seu respectivo gasômetro. Pontos de amostragem: (1) afluente, (2) efluente R₁ e (3) efluente R₂. Elaborado pelos autores (2009).

O reator metanogênico foi inoculado com a biomassa de outro RAHLF que tratava vinhaça com carga orgânica volumétrica de $1,2 \text{ gDQO.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$. Na partida o reator foi preenchido com 10 L de uma mistura composta por 3,8 L de vinhaça, 13,8 g de bicarbonato de sódio e 6,2 L de água, que resultou em uma concentração orgânica afluente de 5,6 g DQO/L.

Em seguida, o sistema foi alimentado constantemente com este substrato por 34 dias consecutivos, período denominado de fase I. Nas fases seguintes, II e III, os reatores foram alimentados com vinhaça mais concentrada. As condições operacionais quanto à concentração, carga orgânica e adição de bicarbonato de

sódio para aumento de pH das três fases estão apresentadas na Tabela 1. O desempenho dos reatores foi monitorado em amostras do afluente, efluente do acidogênico (R₁) e efluente do metanogênico (R₂) coletadas a cada 4 dias, de forma a coincidir com o final de um TDH do sistema (1 e 3 dias nos reatores acidogênico seguido de metanogênico, respectivamente).

As variáveis monitoradas foram: pH, condutividade elétrica (CE), DQO e sólidos por metodologia do *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (EATON, 1995). Alcalinidade (AL) e ácidos voláteis totais (AVT) foram analisados segundo metodologia proposta por Dilallo e Albertson (1961).

Tabela 1. Condições operacionais quanto à concentração orgânica de cada fase

Fases	Afluente (DQO g.L ⁻¹)	COV - R ₁ (g.L ⁻¹ .d ⁻¹)	COV - R ₂ (g.L ⁻¹ .d ⁻¹)	g HCO ₃ ⁻ .L ⁻¹	gHCO ₃ ⁻ .gDQO ⁻¹
I	5	5	1,7	1,38	0,28
II	7,5	7,5	2,5	1,38	0,18
III	10	10	3,3	1,38	0,14

Elaborado pelos autores (2009).

RESULTADOS E DISCUSSÕES

O pH do afluente variou entre 5,0 e 6,0, após a adição de bicarbonato de sódio na proporção de 1,38 g.L⁻¹. Logo no reator acidogênico houve aumento de pH em torno de 6,0 e 7,0 com aumento mais intenso no reator metanogênico entre 7,0 e 8,0 (Tabela 2). Souza (2008) também observou aumento de pH para 7,3 em RAHLF metanogênico preenchido com pedras de calcário. O aumento de pH no reator acidogênico foi incoerente, porém pôde ter se desenvolvido neste reator arqueias metanogênicas ou de acetoclásticas produtoras de íons bicarbonato que aumentam o pH do líquido interno do reator.

No reator metanogênico constatou-se que os valores de pH estavam entre 6,8 e 7,4 (Figura 2a), ideal para desenvolvimento de arqueias metanogênicas (SPEECE, 1996). Outro fator que ratificou a idéia de que os sistemas estavam funcionando bem, foi a relação entre alcalinidade intermediária (AI) e a alcalinidade parcial (AP) relacionadas à quantidade de bicarbonato formado no sistema e a quantidade de sais de ácidos orgânicos remanescentes do processo metanogênico, respectivamente.

O bicarbonato é um produto e os ácidos orgânicos são precursores da metanogênese. Dessa forma, considera-se que quanto menor a relação AI/AP na saída do reator metanogênico, melhor desempenho terá, pois os ácidos voláteis são convertidos a metano. Nesse caso, a relação foi mais alta no reator acidogênico que no metanogênico, conforme apresentado na Tabela 2, sendo que este apresentou uma relação média de 0,7.

Tabela 2. Valores médios, desvio padrão e número das amostras analisadas quanto ao pH e AI/AP em cada fase de experimento

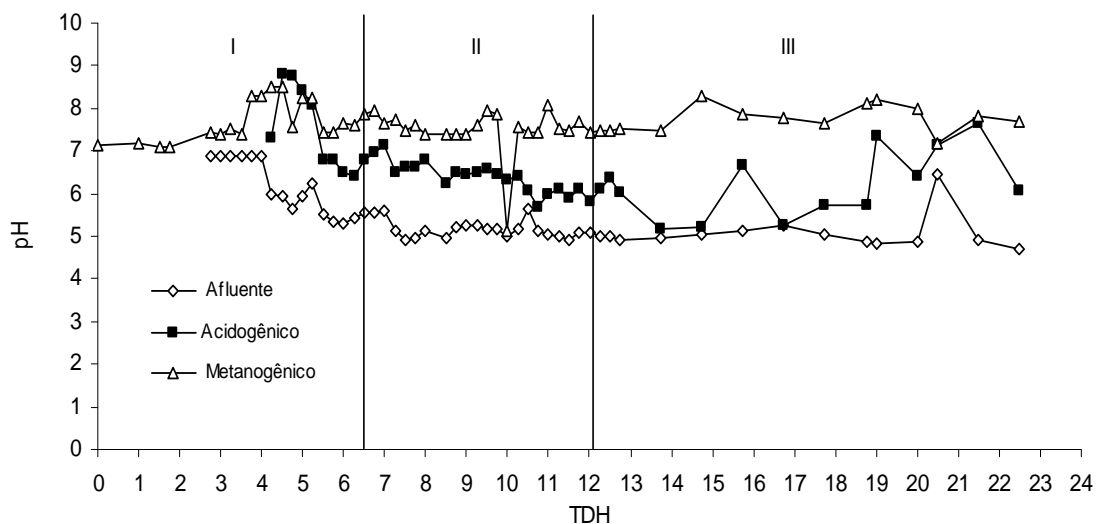
Fases	Afluente	pH Médio \pm * DP (n)**		AI/AP Média \pm DP (n)	
		Acidogênico	Metanogênico	Acidogênico	Metanogênico
I	6,1 \pm 0,6 (14)	7,4 \pm 0,9 (11)	7,7 \pm 0,5 (22)	1,4 \pm 0,7 (11)	0,6 \pm 0,42(22)
II	5,1 \pm 0,2 (21)	6,3 \pm 0,3 (21)	7,1 \pm 1,7 (22)	5,2 \pm 4,9 (21)	1,5 \pm 3,3 (22)
III	5,01 \pm 0,5 (12)	6,2 \pm 0,9 (12)	7,8 \pm 0,32 (12)	1,5 \pm 1,6 (12)	0,9 \pm 0,81 (12)

*DP- desvio Padrão; **n – número de amostras analisadas.

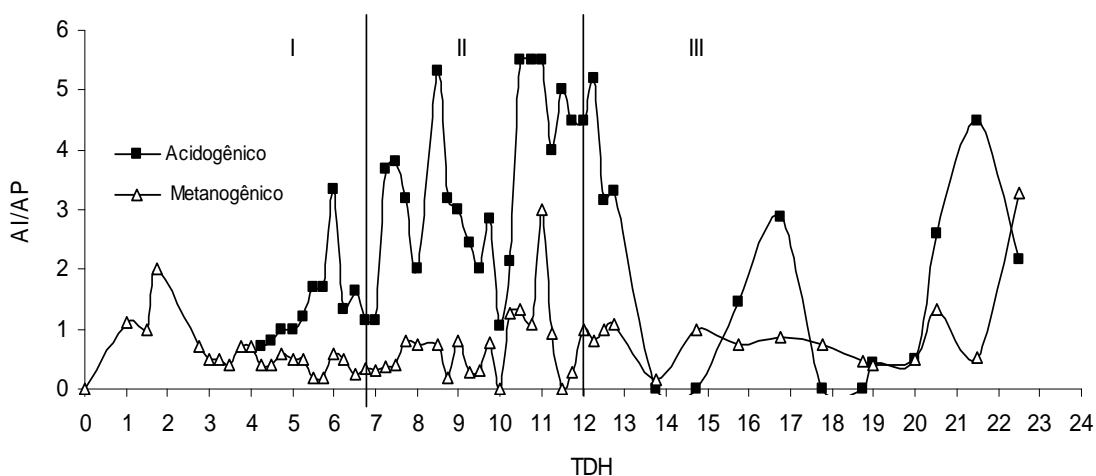
Elaborado pelos autores (2009).

Alguns autores citam que o valor de AI/AP em torno de 0,3 indica estabilidade do sistema entre a produção de alcalinidade e consumo de ácidos (RIPLEY et al., 1986). O trabalho de Souza (2008) corroborou com esta informação, pois encontrou para um RAHLF preenchido com pedras de calcário no tratamento anaeróbico de vinhaça uma relação AI/AP entre 0 a 8,5, indicando a instabilidade da fase de adaptação.

Na Figura 2 são apresentados os valores do pH bem como a relação AI/AP monitorados em cada fase experimental.



(a)



(b)

Figura 2. Dados de monitoramento (a) de pH e (b) da relação AI/AP do afluente e efluente dos reatores acidogênico e metanogênico por número de TDH (cada um corresponde a 4 dias de operação). Elaborado pelos autores (2009).

Observa-se na Figura 2b que o reator acidogênico apresentou elevada relação AI/AP e instabilidade nas três fases; o reator metanogênico apresentou

menor Al/AP (abaixo de 1,0) e maior constância de valores entre o 3º e 21º TDH.

Na Figura 3a e 3b estão apresentados os valores obtidos do comportamento da alcalinidade a bicarbonato (AB) e de ácidos voláteis totais (AVT), respectivamente.

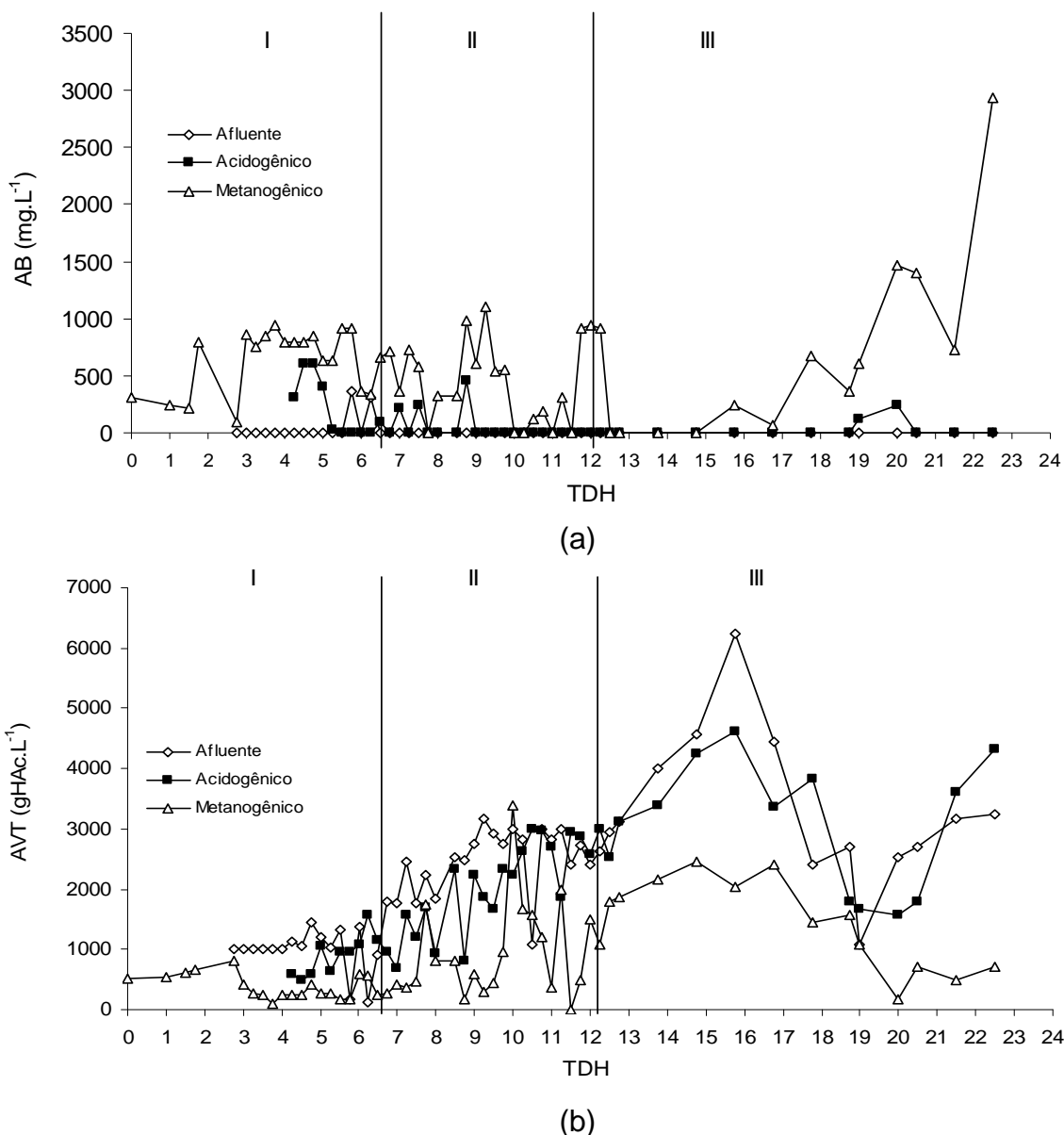


Figura 3. Dados de monitoramento (a) de AB e (b) de AVT do afluente e efluente dos reatores acidogênico e metanogênico por número de TDH (cada um corresponde a 4 dias de operação). Elaborado pelos autores (2009).

Os resultados são considerados satisfatórios, apesar de não ter sido observada valor de alcalinidade a bicarbonato no afluente mesmo após a adição de bicarbonato de sódio (Tabela 3). O efluente metanogênico apresentou aumento considerável da quantidade de bicarbonato a $2928 \text{ gHCO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$ no 22º TDH (final da fase III) com tendência a um aumento progressivo, conforme pode ser observado na Figura 3a.

Na Tabela 3, observa-se aumento do AVT após a mudança da fase II para III, só que mesmo assim, o reator metanogênico conseguiu suportar o aumento de carga e conseqüente aumento de AVT. Ao final da fase III houve redução de AVT de $2400 \text{ mgHAc} \cdot \text{L}^{-1}$ para $720 \text{ mgHAc} \cdot \text{L}^{-1}$.

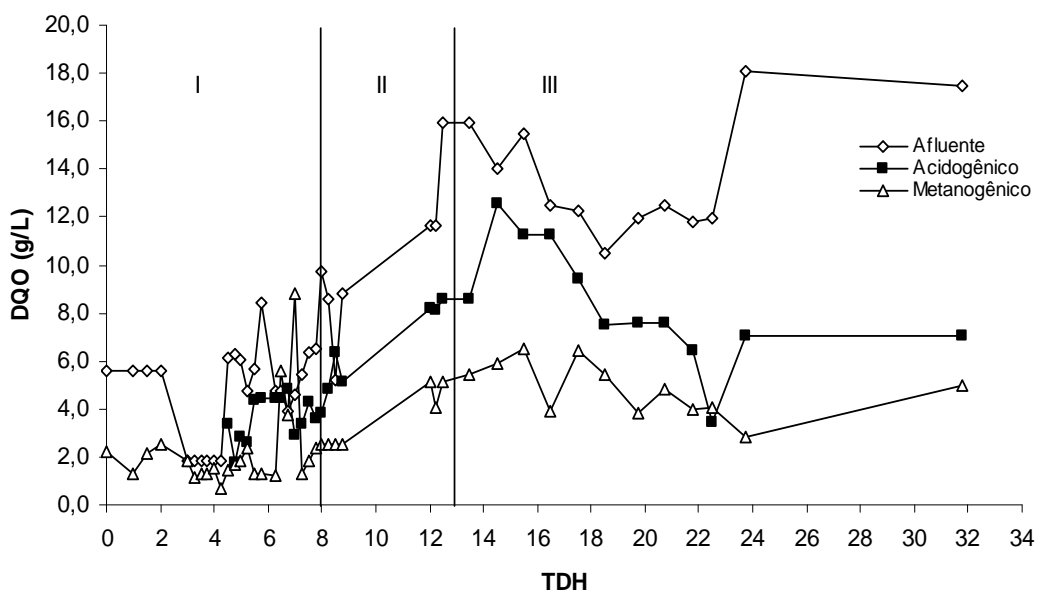
Tabela 3. Valores médios, desvio padrão e número de amostras analisadas quanto a alcalinidade a bicarbonato e acidez volátil em cada fase experimental

Fase	AB ($\text{gHCO}_3^- \cdot \text{L}^{-1}$) média \pm *DP** (n)			Ácidos Voláteis ($\text{gHAc} \cdot \text{L}^{-1}$) média \pm *DP**(n)		
	Afluente	Acidogênico	Metanogênico	Afluente	Acidogênico	Metanogênico
I	0,0 \pm 0,0(17)	0,19 \pm 0,2 (12)	0,06 \pm 0,0 (22)	0,11 \pm 0,0(14)	0,21 \pm 0,0(11)	0,04 \pm 0,0(22)
II	0,0 \pm 0,0(21)	0,03 \pm 0,1(21)	0,04 \pm 0,0 (22)	0,26 \pm 0,0 (21)	0,22 \pm 0,1(21)	0,10 \pm 0,1(22)
III	0,0 \pm 0,0(12)	0,03 \pm 0,0(12)	0,07 \pm 0,1 (12)	0,33 \pm 0,1 (12)	0,31 \pm 0,1(12)	0,14 \pm 0,1(12)

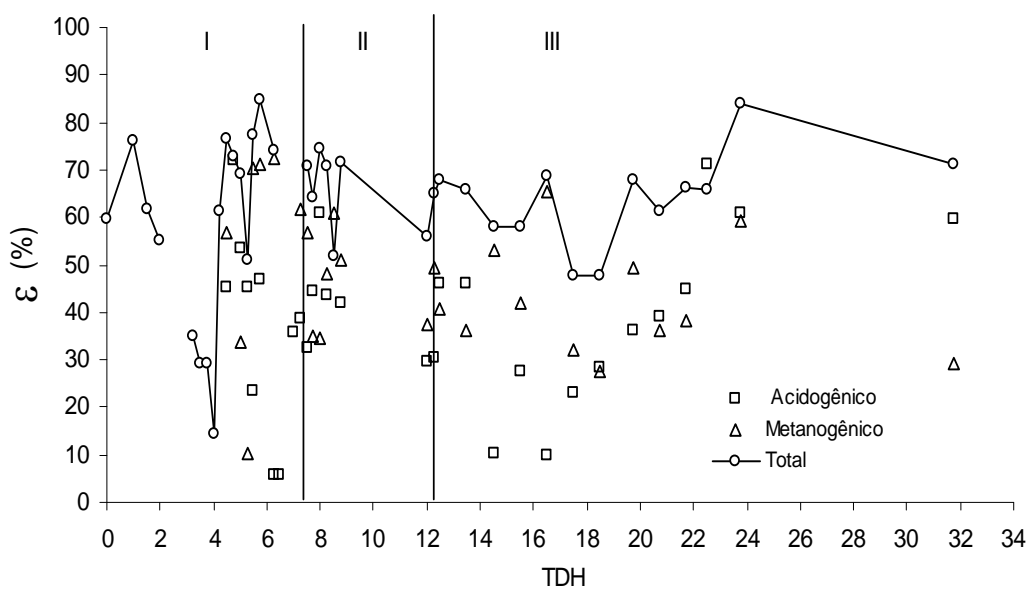
*DP- desvio padrão; **n - número de amostras analisadas.
Elaborado pelos autores (2009).

A variável DQO representa indiretamente a quantidade de oxigênio consumida na oxidação química da matéria orgânica e inorgânica, ou seja, determina indiretamente o potencial poluidor de efluentes que eventualmente venham a ser despejados em solos e corpos hídricos. Neste trabalho visou-se promover máxima remoção da matéria orgânica da vinhaça convertendo-a a biogás composto basicamente por CO_2 e CH_4 , ao invés da vinhaça ser lançada diretamente

como biofertilizante de solos agrícolas. Na Figura 4 estão apresentados valores de DQO e eficiência de remoção da DQO durante as fases I,II,III.



(a)



(b)

Figura 4. Dados de monitoramento (a) de DQO e (b) de remoção de DQO do afluente e efluente dos reatores acidogênico e metanogênico por número de TDH (cada um corresponde a 4 dias de operação) Elaborado pelos autores (2009).

Observa-se que os valores de DQO do afluente (Figura 4a) apresentaram variação porque a composição da vinhaça varia muito por fatores intrínsecos e extrínsecos das plantas. Alguns fatores podem ter influenciado mais, tais como agitação da amostra, tempo de acondicionamento da vinhaça, época de coleta, dentre outros.

As linhas com as séries de dados mostram que houve redução gradativa no reator acidogênico e metanogênico com relação ao afluente. Conforme apresentado na Tabela 4, nas fases I, II e III, as eficiências de remoção de DQO no reator acidogênico foram em média de 39, 36 e 39% (Figura 4b). No reator metanogênico considerando como seu afluente o efluente do reator acidogênico, foram em média de 50, 49 e 42%, respectivamente. Porém, considerando-se o efluente do reator metanogênico como efluente final com relação ao afluente observou-se remoção total no sistema de DQO média de 60, 63 e 64% nas fases I, II e III, respectivamente.

Tabela 4. Valores médios, desvio padrão, número de amostragens realizadas e remoção de DQO média em cada fase experimental

Fase	DQO (g. L ⁻¹) média ± *DP (n)**			Remoção de DQO média (%)		
	Afluente	Acidogênico	Metanogênico	Acidogênico	Metanogênico	Total
I	4,86 ± 2,1 (23)	3,65 ± 0,9(23)	2,22 ± 1,7(23)	36.	38	57
II	9,18 ± 2,7 (5)	6,53 ± 1,6 (5)	3,35 ± 1,2 (5)	29	49	63
III	13,53 ± 1,9(11)	8,54 ± 2,9(11)	4,86 ± 1,0(11)	37	38.	62

*DP- desvio padrão; ** n - número de amostras analisadas.
Elaborado pelos autores (2009).

Como mencionado anteriormente, a produção do biogás com poder de queima é uma das vantagens do tratamento anaeróbio. O metano pode ser considerado uma forma de bioenergia, quando usado no próprio sistema produtivo. Na Figura 5 estão apresentados os valores produzidos de biogás nas condições normais de temperatura e pressão durante o experimento.

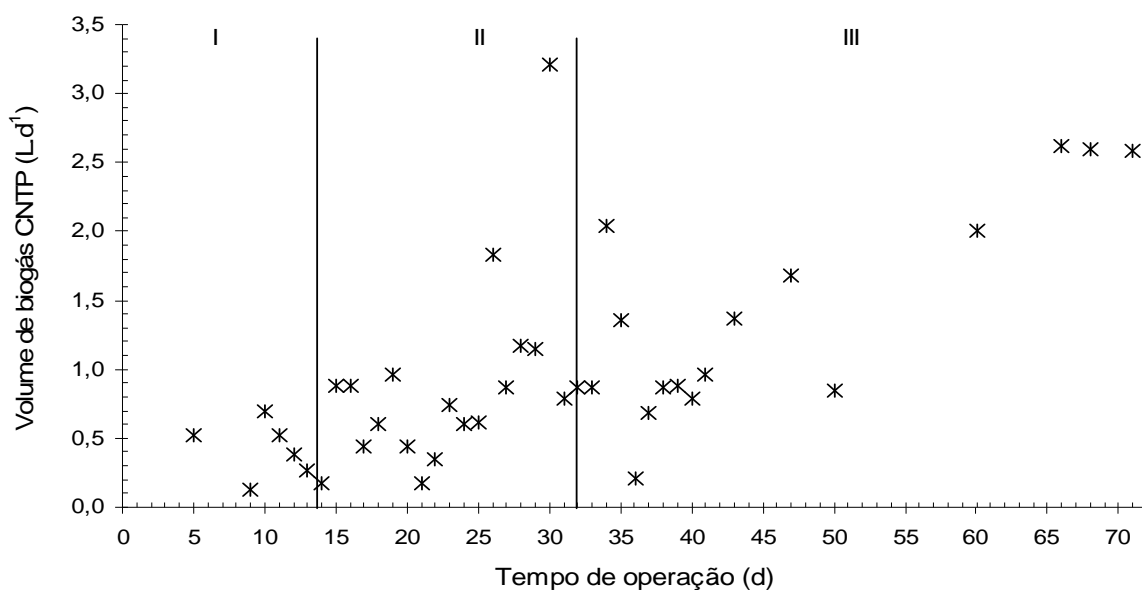


Figura 5. Monitoramento do biogás produzido no RAHLF metanogênico durante o tempo de operação do experimento. Elaborado pelos autores (2009).

Observa-se que na III fase do experimento foi onde teve maior produção de biogás com média de 1,4 L.d⁻¹. Este comportamento era esperado caso o reator apresentasse bom desempenho, visto que quanto maior a COV maior seria o potencial de produção de biogás.

Quanto ao rendimento de biogás também se obteve maiores resultados na III fase, com 0,112 L_{biogás}·L_{reator}·d⁻¹, conforme pode-se observar na Tabela 5.

Tabela 5. Produção média de biogás em cada fase experimental

Fases	Tempo operação (d)	Volume biogás CNTP (L.d ⁻¹) (média ± DP*)	Rendimento de biogás	
			(L _{biogás} ·L _{reator} ·d ⁻¹)**	(L·biogás·gDQO _{rem} ·d ⁻¹)***
I	14	0,38 ± 0,21	0,031	0,007
II	21	0,99 ± 0,68	0,079	0,019
III	54	1,39 ± 0,82	0,112	0,271

*DP- desvio padrão, **Volume médio de biogás CNTP (L.d⁻¹)/Volume útil do reator metanogênico (12,4 L), *** Volume médio de biogás CNTP (L.d⁻¹)/Remoção média de DQO (g.d⁻¹) entre afluente e efluente do metanogênico x Vazão média do metanogênico (4,13 L.d⁻¹). Elaborado pelos autores (2009).

CONCLUSÕES

Os resultados mostraram que os reatores anaeróbios apresentaram bom desempenho quanto à remoção de DQO média de 64% na maior COV aplicada de $3,3 \text{ g.L}^{-1}.\text{d}^{-1}$. O pH, Al/AP, a alcalinidade a bicarbonato e ácidos voláteis totais também tiveram resultados ótimos como 7,8, 0,9, $0,63 \text{ gHCO}_3^{-}.\text{L}^{-1}$ e $1,42 \text{ gHAc.L}^{-1}$, respectivamente, considerando os valores médios da última fase.

A maior produção de biogás foi em média de $1,4 \text{ L.d}^{-1}$ com rendimento de biogás de $0,112 \text{ L}_{\text{biogás}}.\text{L}_{\text{reator}}.\text{d}^{-1}$ e $0,271 \text{ L}_{\text{biogás}}.\text{gDQO}_{\text{rem}}.\text{d}^{-1}$.

REFERÊNCIAS

ARMENANTE, P. M. Bioreactors. In: Morris A. Levin; Michael A. Gealt. (Org.). **Biotreatment of industrial and hazardous wastes**. 1. ed. New York: McGraw-Hill, 1993, v. 1, p. 65-112.

CRUZ, R. L. **Efeito da aplicação da vinhaça sobre o solo e água subterrânea**. 1991. 121 p. Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos, 1991.

DILLALO, R.; ALBERTSON, O. E. Volatile acids by direct titration. **Journal of Water Pollution Control Federation**, New York, v. 33, n. 4, p. 356-365, apr. 1961.

EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 19th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 1995.

FERNÁNDEZ, N.; FDZ-POLANCO, F.; MONTALVO, S. J.; TOLEDANO, D. Use of activated carbon and natural zeolite as support materials, in an anaerobic fluidized bed reactor, for vinasse treatment. **Water Science and Technology**, London, v. 44, n. 4, p. 1-6, 2001.

GONÇALVES, C. S. **Estudo do tratamento físico-químico da vinhaça utilizando a técnica do planejamento fatorial**. 2000. 253 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Química) – Departamento de Química, Universidade Federal de São São Carlos, 2000.

KERNER, S.; ROCHARD, J. Winery wastewater treatment by constructed wetlands: principles and prospects. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON WASTE STABILISATION PONDS, 6., 2004, Avignon, France, **Anais...** London: International Water Association, 2004. p. 105-110.

AGUIAR NETTO, A. O.; GOMES, C. C. S.; LINS, C. C. V.; BARROS, A. C.; CAMPECHE, L. F. S. M.; BLANCO, F. F. Características químicas e salinossidade dos solos do Perímetro Irrigado Califórnia, SE. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 37, n. 6, p. 1640-1645, nov.-dec. 2007.

RIBAS, M. M. F. **Tratamento de vinhaça em reator anaeróbio operado em batelada seqüencial contendo biomassa imobilizada sob condições termofílicas e mesofílicas**. 2006. 175 p. Tese (Doutorado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

RIBAS, M. M. F.; BARANA, A. C. Start-up adjustment of a plug-flow digester for cassava wastewater (Manipueira) treatment. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 223-229, abr.-jun. 2003.

RIPLEY, L. E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes. **Journal of Water Pollution Control Federation**, New York, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.

SOUZA, A. J. Q. **Tratamento anaeróbio de vinhaça em RALHF acidogênico e metanogênico**. 2008. 41 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia Agrícola), Universidade Estadual de Maringá, Cidade Gaúcha, 2008.

SOUZA, M. E.; FUZARO, G.; POLEGATO, A. R. Thermophilic anaerobic digestion of vinasse in pilot plant UASB reactor. **Water Science and Technology**, London, v. 25, n. 7, p. 213-222, 1992.

SPEECE, R. E. **Anaerobic biotechnology for industrial wastewater treatment**. 1 ed. Nashville: Ed. Archae Press, 1996. 394 p.

SPRINGER, A.; GOISSIS, G. Design of pond systems for treatment of ethanol plant effluents. **Biological Wastes**, Oxford, v. 23, n. 2, p. 143-152, 1988.

TCHOBANOGLIOUS, G.; BURTON, F. L. **Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse**. 3 ed. London: McGraw-Hill Inc., 1991. v. 1.

TORRIJOS, M.; MOLETTA, R. Winery wastewater depolition by sequencing batch reactor. **Water Science and Technology**, London, v. 35, n. 1, p. 249-257, 1997.

VIAN, C. E.; GONÇALVES, D. B.; HANASHIRO, M. M.; OLIVEIRA, D. R. M. S.; SOUZA, M. I. F. Progresso técnico, organização do trabalho e questões ambientais na extensão atual da agroindústria canavieira no centro-sul do Brasil. In: CONGRESSO DA SOCIEDADE BRASILEIRA DA ECONOMIA, ADMINISTRAÇÃO E SOCIOLOGIA RURAL, 45., 2007, Londrina, **Anais...** Brasília: Sociedade Brasileira da Economia, Administração e Sociologia Rural, 2007. Disponível em: <<http://www.sober.org.br/palestra/6/764.pdf>>. Acesso em: 27 jul/09.

VIANA, A. B. **Tratamento termofílico de vinhaça em reator UASB**. 2006. 60 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, 2006.

WIEGANT, W. M.; LETTINGA, G. Thermophilic anaerobic digestion of sugars in upflow anaerobic sludge blanket reactors. **Biotechnology Bioengineering**, New York, v. 27, n. 11, p. 1603-1607, feb. 1985.

AGRADECIMENTOS

As autoras agradecem ao suporte financeiro da *International Foundation for Science* (IFS) para compra de equipamentos e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa da acadêmica.

RESUMO

O objetivo deste trabalho foi avaliar o tratamento da vinhaça por um RAHLF acidogênico seguido de metanogênico. O primeiro foi preenchido somente com cubos de espuma de poliuretano e o segundo com pedras de calcários e cubos de espumas de poliuretano. O volume útil do reator acido gênico era de 4,9 L, tempo de detenção hidráulica de 1 dia e do reator metanogênico foi de 12,4 L e o TDH foi de 3 dias, totalizando um TDH de 4 dias para o sistema. O sistema foi operado por 74 dias submetido a taxas orgânicas de 5, 7,5 e 10 gDQO/L.d. Os resultados mostraram que os reatores anaeróbios apresentaram bom desempenho quanto à remoção de DQO média de 64% na maior COV aplicada de 3,3 g.L⁻¹.d⁻¹. O pH, Al/AP, a alcalinidade a bicarbonato e acidez volátil total também tiveram resultados ótimos como 7,8, 0,9, 0,63 gHCO₃⁻.L⁻¹ e 1,42 gHAc.L⁻¹, respectivamente. A maior produção de biogás foi em média de 1,4 L.d⁻¹ com rendimento de biogás de 0,112 L_{biogás}.L_{reator}.d⁻¹ e 0,271 L_{biogás}.gDQO_{rem}.d⁻¹.

Palavras-chave: Digestão Anaeróbia. Resíduo Agroindustrial. Biogás. Vinhaça. Cana-de-açúcar. Tratamento.

ABSTRACT

The aim of this work was to evaluate the vinasse treatment by an acidogenic followed by a methanogenic RAHLF. The first one was filled out polyurethane foam cubes and the second one with limestones and polyurethane foam cubes. The useful volume of the acidogenic reactor was of 4.9 L, hydraulic detention time of 1 day and of the methanogenic reactor was of 12.4 L and 3 days, totaling 4 days for the system. The system was operated by 74 days submitted to organic rates of 5, 7.5 and 10 gCOD/L.d. The results showed that the anaerobic reactors presented high performance of the COD removal of 64% in the greatest applied organic volumetric load of 3.3 g.L⁻¹.d⁻¹. The pH, Al/AP rate, alkalinity to bicarbonate and total volatile acidity also had great results as 7.8, 0.9, 0.63 gHCO₃⁻.L⁻¹ and 1.42 gHAc.L⁻¹, respectively. The major biogas production was of 1.4 L.d⁻¹ on average with biogas field of 0.112 L_{biogás}.L_{reator}.d⁻¹ and 0.271 L.L_{biogás}.gDQO_{rem}.d⁻¹.

Key words: Anaerobic Digestion. Agro-Industrial Wastewater. Biogas. Vinasse. Sugar Cane. Treatment.

Informações sobre as autoras:

[1] Anna Paola Tonello – <http://lattes.cnpq.br/4726452844522061>

Graduanda em Engenharia Agrícola, Bolsista PIBIC – Universidade Estadual de Maringá – Rodovia PR 482, km 45 – 87820-000 – Cidade Gaúcha – PR.

Contato: anna.tonello@hotmail.com

[2] Maria Magdalena Ferreira Ribas – <http://lattes.cnpq.br/5397443465043560>

Professora Adjunta, Departamento de Engenharia Agrícola – Universidade Estadual de Maringá – Rodovia PR 482, km 45 – 87820-000 – Cidade Gaúcha – PR.

Graduada em Engenharia Agrônoma pela Universidade Estadual de Ponta Grossa (2000). Mestrado em Agronomia (Energia na Agricultura) pela Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho (2003) e Doutora em Engenharia Civil (Hidráulica e Saneamento) pela Escola de Engenharia de São Carlos/USP (2006). Foi docente no curso de Engenharia Ambiental da Universidade Estadual do Centro-Oeste em 2006. Atualmente leciona no curso de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Maringá, Paraná. As linhas de pesquisa têm ênfase em Aproveitamento e Tratamento Anaeróbio de Resíduos Agroindustriais.

Contato: m2fribas@yahoo.com.br