

AVALIAÇÃO DA PERFORMANCE DE UM REATOR UASB OPERADO EM REGIME DE SEMI – BATELADA

Cristiano Regis Freitas de BRITO⁽¹⁾; Michael Barbosa VIANA⁽²⁾; Augusto de Brito SOUSA⁽³⁾; Sandra Tédde SANTAELLA⁽⁴⁾; Renato Carrhá LEITÃO⁰;

(1) Universidade Federal do Ceará, Rua Morélia 1109 CEP 61648100 Parque Potira - Caucaia/CE, fone: 87816439, e-mail: regiscrfb@hotmail.com

(2) Centro Federal de Educação Tecnológica do Ceará CEFET - CE, e-mail: michaelbviana@yahoo.com.br

(3) Universidade Federal do Ceará, e-mail: absregino@hotmail.com

(4) Universidade Federal do Ceará, e-mail: sandra@ufc.br

(5) Embrapa Agroindústria Tropical, e-mail: renato@cnpat.embrapa.com

RESUMO

Os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, conhecidos como UASB, são normalmente operados em fluxo contínuo do afluente a ser tratado. Entretanto, algumas aplicações que poderiam envolver tais reatores exigem que eles sejam operados em batelada, simplificando a operação do sistema. Por exemplo, algumas indústrias tratam seus afluentes apenas algumas horas do dia e/ou alguns dias na semana. Nestes casos, utiliza-se um tanque de equalização antes dos reatores, o que nem sempre soluciona o problema e encarece o processo. Visando a aplicação dessa tecnologia para estes tipos de situação, um reator UASB em escala laboratorial (16,8L) foi submetido à operação em regime de batelada para avaliação de seu desempenho e dinâmica. Diariamente o reator UASB foi alimentado com uma batelada de 1 L de afluente sintético com DQO de 64g/L, sendo retirado 1 L de efluente. O reator possuía um sistema de recirculação para manter a velocidade ascendente, promovendo melhor contato entre o substrato e a biomassa. Para avaliar a dinâmica diária do reator, ele foi monitorado continuamente em períodos de 24h, tendo sua performance avaliada através de determinações de demanda química de oxigênio (DQO) e pH afluente e efluente, produção de biogás, alcalinidade total e ácidos graxos voláteis (AGV). O afluente sintético era composto de sacarose, bicarbonato de sódio (alcalinizante), micro e macronutrientes. Os resultados mostraram que a remoção média de DQO foi de 84%, sendo que 71% desse percentual ocorria nas 10 primeiras horas, com produção horária de biogás máxima de 2,7L duas horas após a alimentação. O pH afluente ficou sempre entre 7,09 e 7,54, enquanto o pH médio do efluente ficou em torno de 7,31. A relação AGV/alcalinidade a bicarbonato no reator ficou sempre abaixo de 0,29 mostrando que o reator se manteve estável durante todo o processo de digestão.

Palavras-chave: reatores UASB, alcalinidade, semi-batelada, AGV's, biogás

1. INTRODUÇÃO

A decomposição anaeróbia é um processo biológico que envolve diversos grupos de microorganismos que trabalham harmonicamente, na ausência de oxigênio molecular, onde cada um destes grupos desempenha uma etapa específica na decomposição de compostos orgânicos complexos a produtos simples. Dentre os compostos de menor peso molecular, destacam-se os ácidos graxos de cadeia pequena como os ácidos acético, propiônico e butírico. O acúmulo desses ácidos pode prejudicar o processo se a capacidade de tamponamento for insuficiente, fazendo o pH cair a níveis indesejáveis, abaixo de 6,5 (van HAANDEL e LETTINGA, 2004).

O processo de digestão anaeróbia consiste basicamente em quatro etapas. A primeira destas etapas é a hidrólise, onde enzimas excretadas pelas bactérias fermentativas convertem a matéria orgânica complexa em compostos mais simples capazes de atravessar sua parede celular. As bactérias acidogênicas realizam a degradação ácida, onde a matéria orgânica bruta é convertida principalmente a ácidos graxos voláteis (AGV), em seguida, ocorre a acetogênese, caracterizada pela degradação dos ácidos da etapa anterior a acetato, hidrogênio e gás carbônico. As *archaeas* metanogênicas são responsáveis pela última etapa do processo, a metanogênese, onde há produção de metano e gás carbônico a partir do ácido acético pelas acetotróficas, e hidrogênio e gás carbônico pelas hidrogenotróficas.

Um dos sistemas de digestão anaeróbia amplamente utilizados para tratamento de águas residuárias são os reatores anaeróbios de fluxo ascendente e manta de lodo, conhecidos como UASB (upflow anaerobic sludge blanket), desenvolvidos por Lettinga et al. (1980). Estes sistemas apresentam grandes vantagens em comparação com outros tipos de tratamento de efluentes, por exemplo, pequenas áreas de implantação comparadas com as requeridas por lagoas de estabilização, ou baixa demanda de energia elétrica em comparação com sistemas aeróbios. Este tipo de reator foi desenvolvido para tratamentos de efluentes com altas concentrações de matéria orgânica, devido ao desenvolvimento de lodo granular bastante denso que se concentra ao fundo do reator (METCALF e EDDY, 2003). O tratamento do efluente se dá através do fluxo ascendente que passa pelo leito de lodo de intensa atividade, onde há alta produção de biogás de potencial energético considerável. Araújo (2008) estudou um reator UASB para aplicação industrial em uma usina de beneficiamento de casca de coco utilizando um efluente de alta demanda química de oxigênio denominado LCCV (líquido da casca de coco verde). Em suas estimativas preliminares o sistema em escala industrial produziria 1979 KWh de potência a partir de 15m³ de efluente com 70kgDQO/m³ (supondo eficiência do reator de 75% e biogás com 75% de metano).

Nos reatores anaeróbios é imprescindível o controle do pH, pois além deste ter influência sobre a solubilidade e a estrutura do substrato presente no meio (LETTINGA, 1980), as altas taxas de metanogênese são atingidas somente quando se encontra dentro de uma faixa considerada ótima para a atuação das enzimas das *archaeas* metanogênicas, 6,5 – 7,5 (LETTINGA, 1999). Entretanto, sempre há relatos de problemas com o controle deste parâmetro em reatores UASB tratando efluentes industriais com concentração de matéria orgânica elevada. Portanto é necessário escolher e dosar adequadamente a substância alcalinizante para se obter estabilização coerente. Por outro lado, uma das características principais dos reatores anaeróbios em batelada seqüencial (AnSBR) é a robustez na estabilidade do pH. Atualmente há poucos estudos utilizando um reator UASB em regime de semi-batelada. Porém, é possível que ao manter um reator UASB sob este tipo de operação suas características possam se mesclar às dos reatores AnSBR proporcionando melhor controle do pH e conseqüente melhoria do processo.

O sistema carbônico de tamponamento (CO₂, HCO₃⁻, CO₃²⁻) tem grande influência sobre a estabilidade do pH, sendo que para valores entre 6,5 e 7,5 (pH considerando ótimo para a metanogênese) a alcalinidade deve-se ao bicarbonato (HCO₃⁻). As principais fontes de alcalinidade naturalmente produzidas durante a digestão anaeróbia são as proteínas que liberam amônia e ácido acético que gera bicarbonato (van HAANDEL e LETTINGA, 1994).

Os parâmetros mais freqüentemente citados para avaliação do bom desempenho de um reator anaeróbio são produção contínua de biogás, eficiências de remoção de DQO acima de 75%, e a razão entre ácidos graxos voláteis e alcalinidade devida ao bicarbonato (AGV/ALCNaHCO₃) deve manter-se abaixo de 0,4 (AGDAG et al. 2005; BEHLING et al. 1997; LEITÃO et al. 2006; SEGHEZZO et al. 1998).

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Afluente Sintético

O primeiro passo para iniciar o monitoramento do reator UASB foi a escolha do afluente a ser digerido. Optou-se então por um afluente sintético de alta demanda química de oxigênio (DQO) composto por uma solução de sacarose (fonte de matéria orgânica), bicarbonato de sódio (alcalinizante), além de micro e macro nutrientes necessários ao metabolismo das bactérias, totalizando 65 gDQO/L.

2.2 Reator UASB em Escala de Laboratório

O reator UASB em escala de laboratório foi construído (seguindo-se os procedimentos descritos por Cavaltanti, 2003) em PVC, em formato de “Y”, com altura total de 1,95m e 100mm de diâmetro, totalizando volume de 16,8L. Ele possui oito torneiras para análise do perfil de lodo ao longo de seu comprimento, duas outras à sua base para a entrada do afluente, e ainda outra torneira após a bifurcação do “Y” para recirculação do afluente. No topo, ele possuía um eixo longitudinal rotacionado a 1rpm (homogeneizador) e uma saída para coleta e medição do biogás. O reator foi dimensionado segundo os procedimentos apresentados por Chernincharo (1997) e van Haandel e Lettinga (1994), os parâmetros adotados foram: Carga Orgânica Volumétrica (COV) de 10 kgDQO/m³.dia, concentração afluente de 60 kgDQO/m³ e velocidade ascendente de 0,6 m/h.

A alimentação do reator foi realizada a cada 24h (período determinado de uma batelada) adicionando-se 1 L de afluente sintético e fazendo a retirada do mesmo volume de efluente tratado. O UASB possuía um reservatório de alimentação que tinha função de receber o afluente e homogeneizá-lo à parte do efluente da batelada anterior. O afluente era bombeado do reservatório de alimentação para dentro do reator por meio de uma bomba de diafragma. O efluente em tratamento saía do reator e era conduzido a um decantador onde havia a separação do lodo anaeróbio de má qualidade do efluente. O sobrenadante deste decantador caía no reservatório de alimentação de onde era bombeado novamente para dentro do reator, permanecendo em recirculação durante o período da batelada. Havia ainda um sistema de aeração (micro-aeradores) dentro do reservatório de entrada que visava a expulsão de gás carbônico via turbilhonamento para aumentar o pH (reação abaixo) obtendo conseqüente redução de custos com alcalinizante.



Um gasômetro da marca Ritter modelo drum-type TG05 (vazão 1,0 a 60 L/h) foi instalado e conectado à saída de gás do reator para medições do volume de gás produzido durante o experimento. Nessas condições o reator foi operado durante 140 dias.

Na Figura 1 mostra-se um esquema comparativo de um reator UASB operado em fluxo contínuo (forma de operação mais comum) e um UASB operado em regime de semi-batelada (esquema relatado acima).

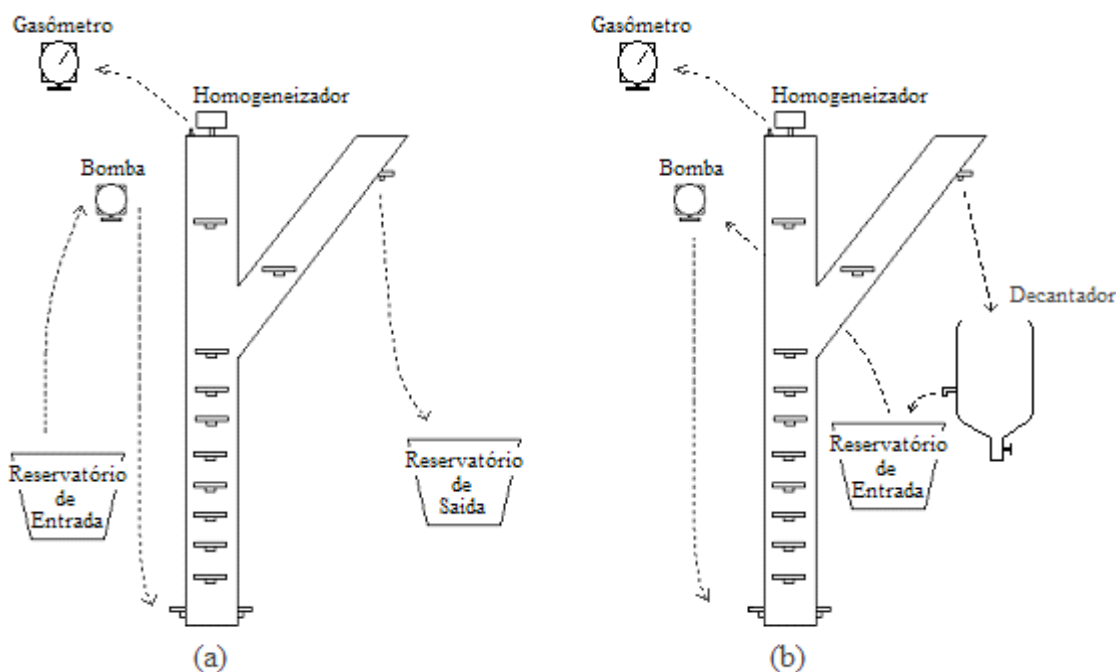


Figura 1 – (a) Reator UASB operado em fluxo contínuo do afluente, operação convencional; (b) UASB operado em semi-batelada.

2.3 Desempenho e Dinâmica do Reator UASB

O monitoramento da performance do reator UASB se deu em duas etapas. Na primeira etapa as determinações físico-químicas eram realizadas após o período de tratamento do afluente sintético, levando-se em conta apenas os parâmetros de entrada e saída, são eles: remoção de DQO, alcalinidade, sólidos totais, fixos e voláteis, pH e produção de biogás. A Tabela 2 mostra a frequência com que cada uma destas análises era realizada.

Na segunda etapa do estudo o UASB em escala de laboratório foi submetido a dois períodos de monitoramento de 24h cada (intercalados por 10 dias), visando obter um perfil da dinâmica diária do reator. As análises físico-químicas utilizadas para esta demanda foram as mesmas da etapa anterior com exceção das séries de sólidos, sendo, portanto realizadas com maior frequência como mostra a Tabela 1.

Tabela 1- Frequência de análises para o reator UASB na segunda etapa da pesquisa.

PARÂMETROS	FREQUÊNCIA
DQO Afluente e Efluente	10 a 12 x por dia
pH	10 a 12 x por dia
Alcalinidade	5 a 6 x por dia
Medição de Biogás	Horária

Tabela 2- Frequência de análises para o reator UASB na primeira etapa da pesquisa.

PARÂMETROS	FREQUÊNCIA
DQO Afluente e Efluente	2x por semana
pH	Diário
Alcalinidade	Semanal
Sólidos Totais (ST)	2x por semana
Sólidos Voláteis (SV)	2x por semana
Sólidos Fixos (SF)	2x por semana
Medição de Biogás	Diário

2.4 Determinações Físico-Químicas

As análises de demanda química de oxigênio (DQO) eram realizadas via método colorimétrico utilizando-se comprimento de onda de 600 nm em um espectrofotômetro da marca Femto modelo 700S. A metodologia empregada para quantificar a alcalinidade bem como os ácidos graxos voláteis foi o método Kapp sugerido por Buchauer, 1998. Mensuração do pH era realizada via potenciômetro modelo TEC-3p MP, versão 7.1, da Tecnal. O biogás era medido por meio de um gasômetro da marca Ritter modelo drum-type TG05 (vazão 1,0 a 60 L/h). Sólidos totais, fixos e voláteis eram determinados de acordo com os procedimentos descritos pelo “Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater”.

3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

3.1 – Etapa I

O reator mostrou-se apto para o tratamento do efluente sintético mostrando bom desempenho diante da alta carga orgânica empregada em sua alimentação. A Figura 1 apresenta a eficiência do reator UASB ao longo do período de operação. Verifica-se que a remoção média de DQO foi de 75,9%, chegando aos 93,1% e 66,2% de remoção máxima e mínima, respectivamente.

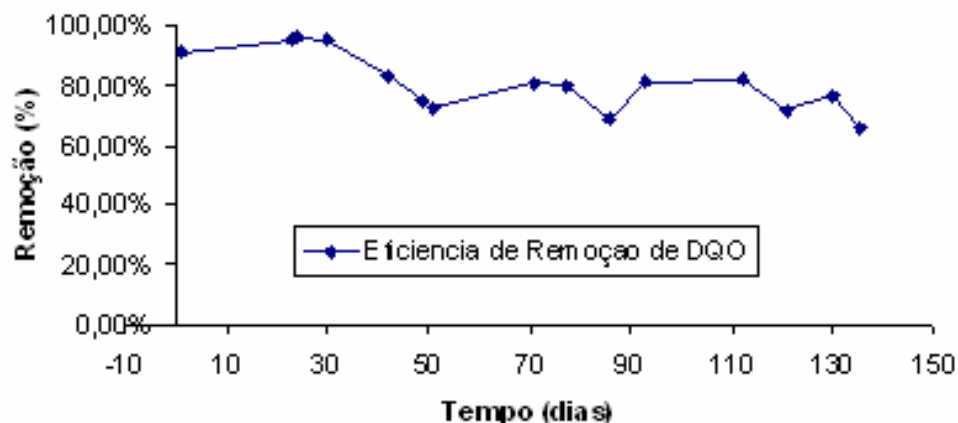


Figura 2 – Eficiência do reator em termos de remoção de DQO durante o período de operação.

Araújo (2008) estudou um reator UASB operado em regime permanente com carga orgânica volumétrica variando de 2 à 10 kgDQO/m³.dia utilizando efluente industrial de alta demanda química de oxigênio. Em sua pesquisa o autor conseguiu remoção média de DQO de 80%. Freitas Neto (2007) estudou um reator UASB operado da mesma forma, com iguais variações de COV e mesmo efluente industrial. Obteve remoção de DQO em torno de 80%.

Isso mostra que a forma de operação em semi-batelada pode substituir o sistema de fluxo contínuo sem acarretar mudanças significativas na performance dos reatores UASB em termos de remoção de DQO. Os resultados para a alcalinidade não foram conclusivos, porém o reator mostrou boa estabilização após algum tempo de operação (mais ou menos 20 dias) como pode ser observado na Figura 2.

A equação de balanço de massa de van HAANDEL e LETTINGA (1994) foi utilizada para o cálculo da produção diária de biogás.

$$Q_{Afl} \times DQO_{Afl} = (Q_{Efl} \times DQO_{Efl}) + (Y \times Q_{Afl} \times DQO_{Afl}) + \frac{Q_{Biogás} \times \%CH_4}{\left[\frac{DQO_{CH_4}^{CNTP} \times (273 + T)}{(273 \times \text{Atm})} \right]} \quad \text{Eq. 1}$$

onde: Q_{Afl} = vazão afluyente; DQO_{Afl} = concentração de DQO do afluyente; Q_{Efl} = vazão efluente; DQO_{Efl} = concentração de DQO do efluente; Y = taxa de crescimento celular (adotado em 0,21 kgDQO_{lodo}/kgDQO aplicada); $Q_{Biogás}$ = vazão de biogás; $\%CH_4$ = percentagem de metano no biogás; $DQO (CNTP/CH_4)$ = equivalente em DQO da produção de metano sob as condições normais de temperatura e pressão (0,35L de CH₄/gDQO); T = temperatura em graus Celsius.

Os parâmetros utilizados para este modelo foram: $Q_{Afl} = 0,001\text{m}^3$; $DQO_{Afl} = 67,5 \text{ g/L}$; $Q_{Efl} = 0,001\text{m}^3$; $Y = 0,21$; $DQO_{Efl} = 10\text{g/L}$; $\%CH_4 = 75\%$; $DQO (CNTP/CH_4) = 0,35$; $T = 30^\circ\text{C}$ e pressão igual a 1 atm. De acordo com os parâmetros citados a produção teórica de biogás seria de aproximadamente 23L por dia. O gráfico abaixo mostra a produção real de biogás durante os 140 dias de operação.

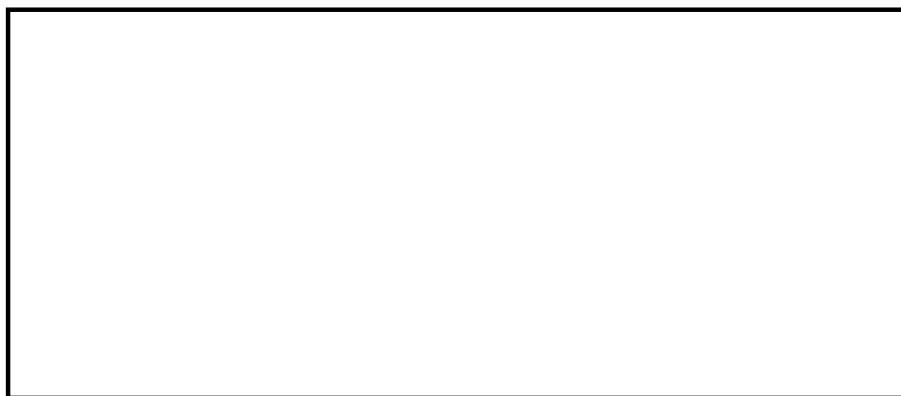


Figura 3 – Produções real e teórica de biogás por dia durante o período de operação.

O reator obteve média de produção de 18,3 L de biogás por dia, um pouco abaixo da esperada. Isso se deve ao fato de que alguns parâmetros utilizados no modelo (produção de lodo e porcentagem de metano no biogás, etc) foram estimados e podem ter causado uma super-estimativa da produção de gás..

3.2 – Etapa II

Os ensaios realizados para monitoramento do perfil e da dinâmica do reator UASB durante uma batelada levaram em conta os parâmetros: DQO afluente e efluente; pH; Produção de biogás.

3.2.1 – DQO

Através da Figura 4, pode-se perceber que há um aumento brusco na DQO_{Afl} com a alimentação (seta) e em seguida ocorre queda acentuada devido ao efeito da diluição causada pelo constante contato com o efluente no reservatório de alimentação. Após dez horas de processo a DQO_{Afl} atinge valores bem próximos a DQO_{Efl} permanecendo quase inalterada durante o restante da batelada, isto indica que a matéria orgânica remanescente após este período é de difícil degradação, provavelmente compostos fenólicos (taninos).

Não ocorre grandes variações na DQO efluente durante todo o processo. A remoção média de DQO obtida foi de 84%.

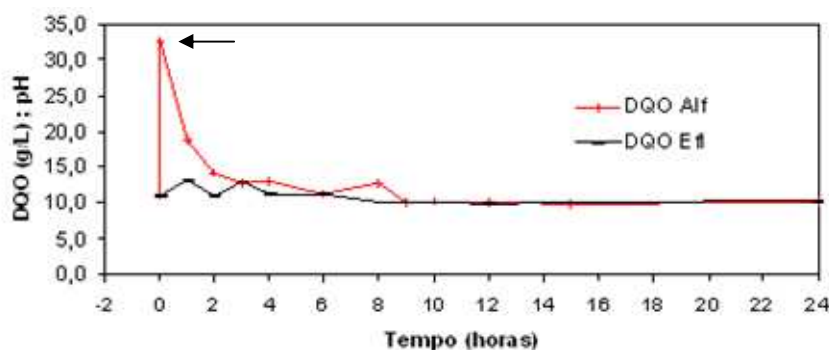


Figura 4 - Variações da DQO afluente e DQO efluente.

3.2.2– Controle do pH

O pH oscilou dentro da faixa considerada ótima para a atividade metanogênica, 6,5-7,5 (Lettinga, 1999), mostrando que o reator obteve boa estabilização durante todo o processo de digestão. Não ocorreram variações no pH que pudessem comprometer o processo, indicando que o sistema de aeração juntamente com o tamponamento, proporcionado pelo bicarbonato de sódio, foram eficazes, apesar de não haver evidências de que a aplicação isolada de apenas um destes seja suficiente para manter o pH já que este atingiu valores próximos aos limites (6,8) quando aplicados conjuntamente. A Figura 5 mostra a variação do pH ao longo de uma batelada.

Figura 5- Variação do pH durante a batelada.

3.2.3 – Produção de biogás

A Figura 6 mostra que, imediatamente após a alimentação, o reator reage consumindo a matéria orgânica e produzindo biogás.

Terminada a batelada, ainda há resquícios de biogás sendo produzidos, isso indica que nem toda matéria orgânica biodegradável foi digerida em 24 h, porém não é razoável economicamente atingir eficiências maiores, já que a obtida (84%) é considerada boa para o tipo de reator.

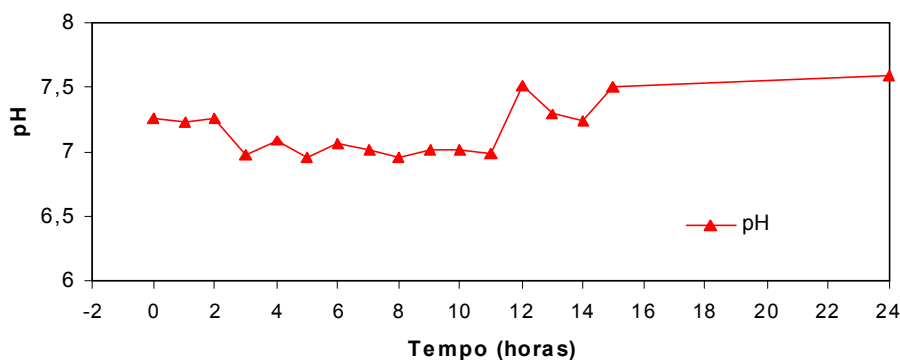


Figura 6 - Variação da produção de biogás e na DQO afluente durante a batelada.

4. CONCLUSÕES

- Os resultados da primeira etapa da pesquisa indicam que a mudança na operação de fluxo contínuo para semi-batelada em reatores tipo UASB não acarretam mudanças, sejam elas benéficas ou deletérias, significativas em sua performance. Faça uma conclusão positiva. A mudança pode ser realizada, usando-se as vantagens do reator uasb com as do reator AnSBR, melhorando a robustez e operacionalidade do sistema.

- O sistema de tamponamento empregado, bicarbonato de sódio e aeração do afluente, mostrou-se eficaz na manutenção do pH em níveis favoráveis para o processo, permitindo que o reator trabalhasse em boas condições.
- Nos reatores UASB comuns, operados em regime contínuo, os parâmetros de entrada são praticamente idênticos mesmo durante grandes períodos de operação, o que facilita na sua estabilidade. O mapa da dinâmica do reator em semi-batelada mostra que este atinge boa estabilização durante o todo o processo de digestão, mesmo diante da grande variação das quantidades de entrada durante uma batelada.

5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- APHA. **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21 ed. Washington American Public Health Association, 2005.
- AQUINO, S. F., L.CHERNICHARO, C. A., FORESTI, E., SANTOS, M. D. L. F. D. e MONTEGGIA, U. O. **Metodologias para determinação da Atividade Metanogênica Específica (AME) em Lodos Anaeróbios**. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.12, n.2, p.192-201. 2007.
- ARAÚJO, A. M., ROSA, M. F. e BRÍGIDA, A. I. S. **Potencial de aproveitamento da casca de coco verde**. 50a. Reunión de la sociedad Interamericana de Horticultura Tropical. Limón - Costa Rica: Universidad EARTH, 2004. p.
- ARAÚJO, A. M., **Tratamento anaeróbio do Líquido da Casca do Coco Verde** - (monografia de mestrado em Saneamento Ambiental)- Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – 2008 – no prelo.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias** - Belo Horizonte-Brasil: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental UFMG, v.5. 1997. 85-88 p. (Biomassa nos Sistemas Anaeróbios).
- FIELD, J. A. **Limits of anaerobic biodegradation**. Water science and technology, v.45, n.10, p.9-18. 2002.
- FIELD, J. A. e LETTINGA, G. **The methanogenic toxicity and anaerobic degradability of a hydrolyzable tannin**. Water research, v.21, n.3, p.367-374. 1986.
- FREITAS NETO, M. A. **Tratamento biológico do líquido da casca do coco verde**, Tese (Doutorado em Saneamento Ambiental) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental – Universidade Federal do Ceará, Fortaleza – p.15, 2007.
- LEITÃO, R. C. (2004). **Robustness of UASB reactors treating sewage under tropical conditions**. Tese de Doutorado. Wageningen University, Wageningen, Holanda. 168p.

LEITÃO, R. C., SANTAELLA, S. T., HAANDEL, A. C. V., ZEEMAN, G. E LETTINGA, G. **The effects of hydraulic and organic shock loads on the robustness of upflow anaerobic sludge blanket reactors treating sewage.** Water science and 93 technology, v.54, n.2, p.49-55. 2006.

LETTINGA, G. et al. **Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept for biological wastewater treatment especially anaerobic treatment.** Biotechnology and Bioengineering, v. 22, n. 4, p. 699-734, 1980.

LETTINGA, G. Lecture notes: **Biological Wastewater treatment - Part I Anaerobic Wastewater treatment. 1999.**

VAN HAANDEL, A. C. **Influence of the digested COD concentration on the alkalinity requirement in anaerobic digesters.** Water science and technology, v.30, n.8, p.23-34. 1994.

VAN HAANDEL, A. C. e LETTINGA, G. **Tratamento Anaeróbio de Esgotos: Um Manual para Regiões de Clima Quente.** Campina Grande: Epgraf. 1994. 240 p.