

II-040 – DESEMPENHO DE REATOR UASB SUBMETIDO À VARIAÇÃO CÍCLICA DA VAZÃO AFLUENTE

Regiane Cristina Ferreira⁽¹⁾

Acadêmica de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Jamy Oliveira Costa

Acadêmico de Engenharia Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão.

Cristiane Kreutz

Tecnóloga Ambiental pela Universidade Tecnológica Federal do Paraná (2001). Mestre e Doutora em Engenharia Agrícola pela Universidade Estadual do Oeste do Paraná (2006). Docente da Coordenação de Ambiental da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Campo Mourão (UTFPR).

Fernando Hermes Passig

Engenheiro Sanitarista pela Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Química e Biologia da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Karina Querne de Carvalho

Engenheiro Civil pela Universidade Estadual de Maringá (UEM). Mestre e Doutor em Engenharia pela Escola de Engenharia de São Carlos (EESC/USP). Docente do Departamento Acadêmico de Construção Civil da Universidade Tecnológica Federal do Paraná, câmpus Curitiba (UTFPR).

Endereço⁽¹⁾: BR-369, km 0,5, Caixa Postal 271 – Campo Mourão – Paraná - CEP: 87.301-006 – Brasil – Tel: +55 (44) 3518-1434 - e-mail: **regiane.cristina.1989@gmail.com**

RESUMO

O objetivo principal desse artigo foi avaliar o comportamento de um reator UASB, em escala piloto (160 L), submetido a variações cíclicas na carga hidráulica com valores inferiores e superiores a 40% em relação à vazão afluyente no tratamento de esgotos sanitários em um câmpus universitário. O reator em escala piloto, com capacidade de 160 L, foi submetido a variações cíclicas na carga hidráulica com valores inferiores e superiores a 40% em relação à vazão afluyente. O comportamento do reator foi avaliado através dos parâmetros temperatura, pH, alcalinidade à bicarbonatos, ácidos voláteis, DQO bruta e filtrada e sólidos suspensos voláteis. Os valores médios da eficiência de remoção de DQO bruta e filtrada e SSV para vazão constante foram de $65 \pm 13\%$, $63 \pm 7\%$ e $51 \pm 21\%$, respectivamente, e para a variação de vazão de $24 \pm 9\%$, $26 \pm 11\%$ e $31 \pm 15\%$, respectivamente. As variações senoidais ocasionaram redução na eficiência de remoção do material orgânico e particulado, provavelmente devido à formação de “bolsões de biogás” que carregam parte do lodo floculento no efluente do reator.

PALAVRAS-CHAVE: Comportamento, Eficiência, Digestão Anaeróbia, Carga Orgânica.

INTRODUÇÃO

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) é uma unidade de tratamento biológico baseada na biomassa dispersa com fluxo ascendente. O efluente deste reator atravessa o manto de lodo biológico, no qual diferentes processos físicos e bioquímicos acontecem pela retenção e assimilação do substrato orgânico biodegradável, que é acidificado e depois convertido em biogás. O manto de lodo age como um filtro dos sólidos e remove matéria orgânica pela etapa da hidrólise, acidificação e metanização em um tempo de detenção hidráulica relativamente curto cerca de 6 a 9 h em temperatura do esgoto de 20 a 26°C [1].

O UASB possui vantagens como simplicidade de construção, flexibilidade de instalação, baixa demanda de área, baixo custo de operação, menor consumo de energia elétrica, menor produção de lodo, boa desidratabilidade de lodo, possibilidade de reutilização do lodo em novos reatores e eficiência da remoção da matéria orgânica (65% a 75% de DQO) em relação ao processo de lodos ativados convencional [2] e [3]. Contudo, o reator está sujeito a limitações relacionadas a partida lenta do processo na ausência do lodo, necessidade de pós-tratamento, geração de maus odores, baixa remoção de nitrogênio, fósforo e patógenos [4] e variação na eficiência do reator quando submetido a cargas hidráulicas e orgânicas.

As variações de vazão são diretamente dependentes do número de habitantes e residências com ligação na rede de esgoto; tipo, material, comprimento, manutenção, infiltração da rede coletora, uso de estações elevatórias; clima, topografia e contribuições domésticas e industriais [5].

[6] avaliaram o comportamento de um reator UASB (416 L) seguido de Filtros Biológicos Aeróbios (88 L) submetidos a variações bruscas de carga hidráulica em 50% da vazão afluyente tratando esgotos sanitários da cidade de Belo Horizonte – MG. O estudo foi desenvolvido em quatro fases, sendo a fase 1 com vazões médias de 100 L/h e 20 L/h para o reator UASB e para o FB, respectivamente; fase 2 com o sistema submetido a variação das vazões em valores 50% superiores as vazões médias; fase 3 com o sistema submetido a variação das vazões em valores 50% inferiores as vazões médias; fase 4, vazão média e TDH de 4 h no reator UASB e mantidos a temperatura de 21,4 a 22,3°C.

Os autores concluíram que a aplicação de carga de choque hidráulica e as variações de concentração de matéria orgânica em termos de DQO total no afluyente do sistema UASB/FB resultaram em variações nas eficiências ao longo das 4 fases operacionais, sendo os valores obtidos de 91%, 84%, 69% e 74%, respectivamente, com DQO média no efluente de 70, 96, 107 e 108 mgDQO/L, respectivamente. Os efeitos da aplicação de carga de choque hidráulica foram menores na concentração de SST e resultaram em 30, 29, 21 e 23 mg/L no efluente do reator nas fases 1, 2, 3 e 4, respectivamente, demonstrando que o sistema pode suportar determinadas variações da vazão durante sua operação.

O objetivo principal desse artigo foi avaliar o comportamento de um reator UASB, em escala piloto (160 L), submetido a variações cíclicas na carga hidráulica com valores inferiores e superiores a 40% em relação à vazão afluyente no tratamento de esgotos sanitários em um câmpus universitário.

METODOLOGIA

O reator UASB, em escala piloto, confeccionado em PVC com 2,16 m de altura, 300 mm de diâmetro e volume total de 160 L (Figura 1).

A alimentação do reator foi feita com esgotos sanitários com concentração de matéria orgânica variando de 116 mg.L⁻¹ a 852 mg.L⁻¹ (em termos de DQO). Os esgotos sanitários coletados para alimentar o reator são armazenado em um tanque de homogeneização com capacidade de 500 L. Partindo do tanque de armazenamento, o substrato é introduzido no reator por meio de bomba dosadora eletromagnética automatizada.

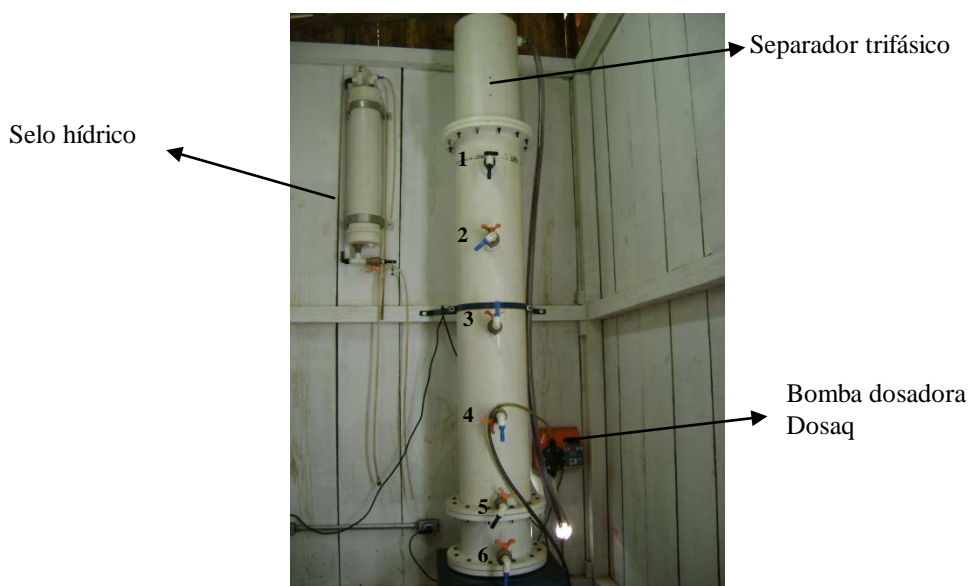


Figura 1. Reator anaeróbico de manta de lodo e fluxo ascendente (UASB).

O reator foi inoculado com aproximadamente 55 L de lodo anaeróbio floculento de um reator anaeróbio de manta de lodo e fluxo ascendente, que trata parte dos esgotos sanitários do município de Campo Mourão, Paraná, por apresentar diversidade microbiana com presença de cocos, bacilos, vibrios e filamentos.

O estudo foi realizado em duas etapas, sendo que na primeira etapa o reator foi operado com TDH de 15 h e vazão afluente de $10,65 \text{ L.h}^{-1}$ e na segunda etapa, as variações cíclicas na carga hidráulica foram introduzidas através da mudança na variação da vazão afluente em valores inferiores e superiores a 40%, realizadas por um programa computacional que altera percentualmente a vazão afluente da bomba dosadora em intervalos de 15 min.

Para avaliar a eficiência e a estabilidade do reator UASB, dois perfis de amostragem temporal foram realizados em períodos de 24 h com coleta de amostras nos intervalos de 3 h nas duas etapas. Os parâmetros físico-químicos analisados foram temperatura, pH, DQO bruta e SSV de acordo com metodologias reportadas por [7]. Os parâmetros alcalinidade a bicarbonato e ácidos voláteis foram determinados de acordo com metodologias reportadas por [8] e [9], respectivamente.

Foram realizados perfis de amostragem temporal em períodos de 24 h, com coleta de amostras do afluente e efluente em intervalos de 3 h, totalizando 3 perfis.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 2 podem ser observadas as variações nos valores da alcalinidade a bicarbonato, ácidos voláteis, DQO bruta e SSV na etapa 1.

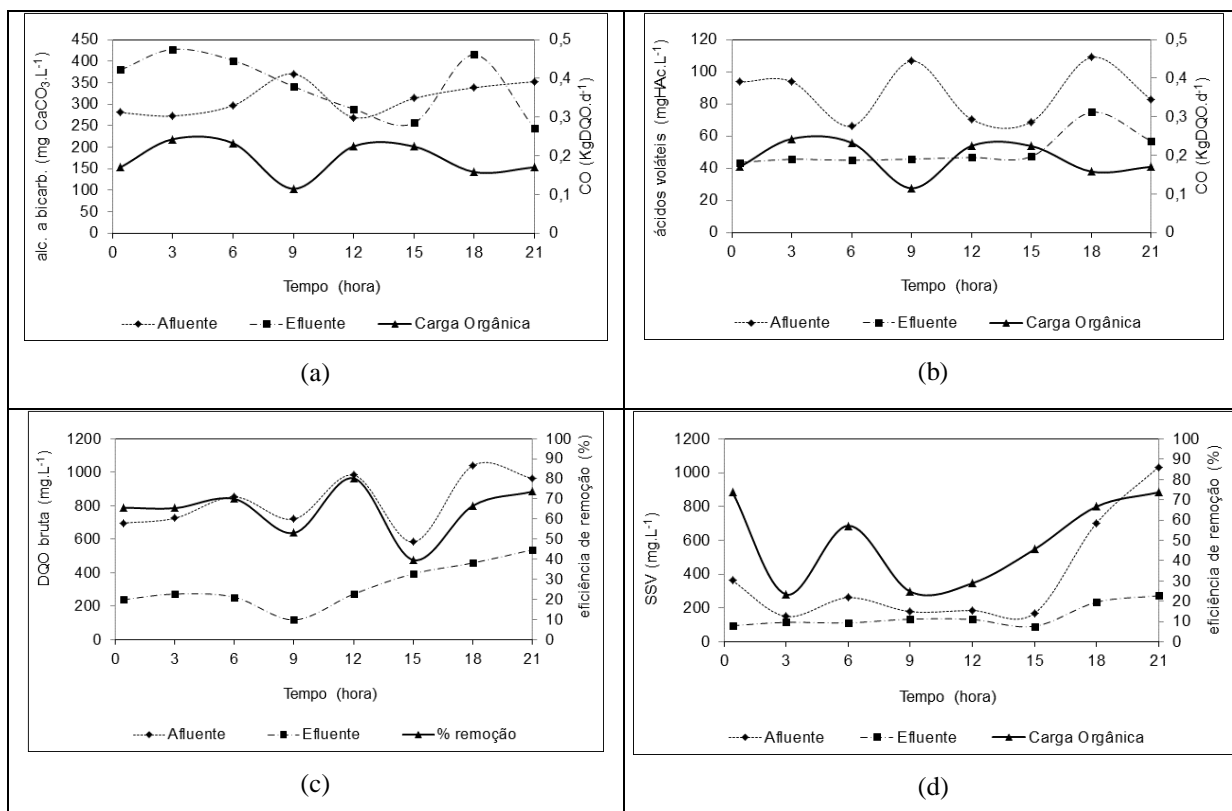


Figura 2. Resultados dos perfis temporais de 24 h do reator: a) alcalinidade a bicarbonato ($\text{mgCaCO}_3 \cdot \text{L}^{-1}$); b) ácidos voláteis ($\text{mgHAc} \cdot \text{L}^{-1}$); c) DQO bruta ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$); d) SSV ($\text{mg} \cdot \text{L}^{-1}$). *O tempo 0 dos gráficos corresponde às 9:00 h.

Foi verificada variação da temperatura de 20,5 a 26,7 °C no ambiente e de 22,0 a 25,0 °C no efluente do reator, ou seja, esta última na faixa mesofílica que favorece a digestão anaeróbia; e pH de 6,8 a 7,0 no afluente e de 7,2 a 7,4 no efluente do reator, indicado como favorável por [10] para o processo de digestão anaeróbia.

A alcalinidade a bicarbonato (Figura 2.a) variou de 269 a 370 $\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ e de 24 a 427 $\text{mgCaCO}_3\cdot\text{L}^{-1}$ nas amostras do afluente e efluente do reator, respectivamente, o que indica a capacidade de tamponamento do reator, evidenciando o equilíbrio entre as bactérias acidogênicas e as arqueias metanogênicas. [13] reportou alcalinidade média afluente e efluente de 188 mgCaCO_3/L e de 206 mgCaCO_3/L , inferior ao reportado neste trabalho, em amostras de esgotos sanitários provenientes de atividade comercial e zona residencial da cidade de Itajubá (BA). O autor observou o tamponamento do sistema e capacidade de suportar variações nos valores de pH no esgoto bruto.

A concentração média de ácidos voláteis (Figura 2.b) variou de 66 a 109 $\text{mgHAc}\cdot\text{L}^{-1}$ e de 44 a 75 $\text{mgHAc}\cdot\text{L}^{-1}$ nas amostras do afluente e efluente do reator, similar ao encontrado por [11] com concentração de ácidos voláteis de $83 \pm 25 \text{ mgHAc/L}$ em esgotos sanitários do câmpus I da EESC/USP.

As concentrações de matéria orgânica (DQO bruta) (Figura 2.c) variaram de 583 a 1039 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no afluente e de 119 a 537 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no efluente. A eficiência de remoção de DQO bruta do reator variou de 40% a 80%, com média de $65 \pm 13\%$ similar a reportada por [2] para temperatura ambiente superior a 20°C e TDH na faixa de 6 a 10 h. Esses autores obtiveram eficiências de remoção de DQO variando de 65 a 80%. A variação da DQO no efluente se deve ao arraste de sólidos no reator causado pela formação de “bolsões de biogás” no manto de lodo. Este fenômeno também foi verificado [12].

A DQO filtrada variou de 107 a 1228 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no afluente e de 100 a 353 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no efluente do reator, com eficiência de remoção variável de 51% a 76% (média de $63 \pm 7\%$). [14] avaliaram um reator UASB para tratamento de esgotos sanitários na cidade de Jaboatão dos Guararapes - PE e verificaram valores de DQO bruta inferiores a 700 mg/L de O_2 e de DQO filtrada inferior a 400 mg/L de O_2 e a eficiência em relação a DQO bruta e filtrada foi de 87%.

O reator apresentou capacidade de amortecimento das cargas orgânicas impostas com valores na faixa de 0,15 a 0,27 $\text{kgDQO}\cdot\text{d}^{-1}$ no afluente e faixa de 0,03 a 0,14 $\text{kgDQO}\cdot\text{d}^{-1}$ no efluente. A taxa de carregamento orgânico resultou na faixa variável de 0,93 a 1,66 $\text{kgDQO}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ para o afluente e para o efluente valores na faixa de 0,19 a 0,86 $\text{kgDQO}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$ com valor médio de aproximadamente 1,31 e 0,51 $\text{kgDQO}\cdot\text{m}^{-3}\cdot\text{d}^{-1}$, respectivamente para afluente e efluente.

As concentrações de SSV variaram de 150 a 1033 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no afluente e de 95 a 272 $\text{mg}\cdot\text{L}^{-1}$ no efluente, com eficiência média de remoção de $51 \pm 21\%$. Na Figura 2.d observa-se arraste de SSV no efluente do reator após às 15:00 h, devido a formação de “bolsões de biogás” que carregam parte do lodo floculento que possui grãos não esféricos, leves, pequenos e de baixa sedimentabilidade [15], contribuindo para redução da eficiência do reator.

Na segunda fase, os valores médios obtidos para temperatura ambiente e para o efluente do reator foram iguais a $20,9 \pm 0,6^\circ\text{C}$ e $20,9 \pm 0,5^\circ\text{C}$, respectivamente. Os valores de pH do afluente variaram de 7,0 a 8,2 e efluente na faixa de 7,2 a 8,0 do reator.

Na Figura 3 podem ser observadas as variações nos valores da alcalinidade a bicarbonato, ácidos voláteis, DQO bruta e SSV na etapa 2.

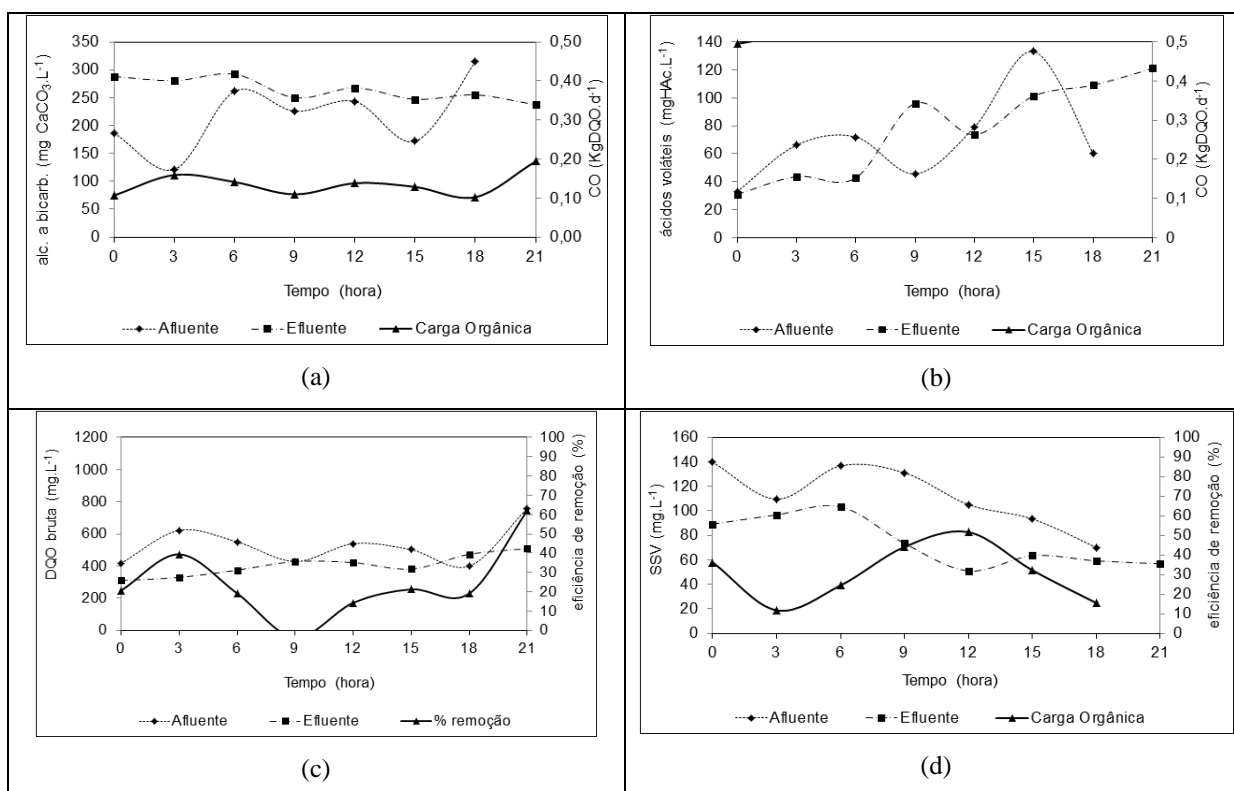


Figura 3. Resultados dos perfis temporais de 24 h do reator: a) alcalinidade a bicarbonato ($\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$); b) ácidos voláteis (mgHAc.L^{-1}); c) DQO bruta (mg.L^{-1}); d) SSV (mg.L^{-1}). *O tempo 0 dos gráficos corresponde às 9:00 h.

A alcalinidade a bicarbonato (Figura 3.a) variou na faixa de 121 a 315 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$ e de 237 a 292 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$ no afluente e efluente do reator, respectivamente. É possível observar na Figura 3.b que os valores de alcalinidade a bicarbonato para o efluente resultaram superiores àqueles obtidos para o afluente, o que indicou capacidade de tamponamento. [12] também observou valores efluentes superiores ao afluente indicando a capacidade de tamponamento do sistema mesmo quando submetido às variações cíclicas de vazão afluente.

As concentrações de ácidos voláteis variaram de 33 a 133 mg.L^{-1} e de 31 a 121 mg.L^{-1} no afluente e efluente do reator, respectivamente. Na Figura 3.b é possível observar o aumento da concentração de ácidos voláteis no efluente a partir das 12 hs com 74 mgHAc.L^{-1} até às 21 hs com 121 mgHAc.L^{-1} , o que acarretou no consumo da alcalinidade a bicarbonato (Figura 3.c) de 267 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$ para 237 $\text{mgCaCO}_3\text{L}^{-1}$ no mesmo período. [16] verificou o consumo de alcalinidade que foi provavelmente provocada pelo aumento da concentração de ácidos voláteis no reator, produto da instabilidade causada pela aplicação dos choques hidráulicos.

As concentrações de matéria orgânica em termos de DQO bruta (Figura 3.c) variaram de 400 mg.L^{-1} a 759 mg.L^{-1} no afluente e de 310 mg.L^{-1} a 509 mg.L^{-1} no efluente. A variação na vazão pode ter acarretado arraste de sólidos no efluente ocasionando diminuição da eficiência de remoção. A eficiência de remoção de matéria orgânica variou de 0% a 62% em termos de DQO bruta, obtendo-se valor médio de aproximadamente $24 \pm 19\%$. [17] avaliou a estabilidade de três reatores operados com DQO afluente de 800 mg/L e TDHs de 6, 4 e 2 horas com volume de 120 L (cada), alimentados com esgotos sanitários doméstica pré-peneirado da cidade de Campina Grande – PB e mantidos a temperatura aproximada de 27°C. O autor obteve valores negativos para eficiência e atribuiu tal fato a lavagem do lodo durante a aplicação dos choques de carga hidráulica, confirmando a necessidade de uma unidade secundária para mitigar esses efeitos.

O reator apresentou capacidade de amortecimento das cargas orgânicas impostas com valores na faixa de 0,10 a 0,19 kgDQO.d^{-1} no afluente e faixa de 0,08 a 0,13 kgDQO.d^{-1} no efluente. A taxa de carregamento orgânico resultou na faixa variável de 0,64 a 1,21 $\text{kgDQO.m}^{-3}\text{.d}^{-1}$ para o afluente e para o efluente valores na faixa de 0,49 a 0,81 $\text{kgDQO.m}^{-3}\text{.d}^{-1}$ com valor médio de aproximadamente 0,84 e 0,64 $\text{kgDQO.m}^{-3}\text{.d}^{-1}$, respectivamente para afluente e efluente.

As concentrações de matéria orgânica em termos de DQO filtrada variaram de 136 mg.L⁻¹ a 537 mg.L⁻¹ para o afluente e de 115 mg.L⁻¹ a 369 mg.L⁻¹ para o efluente do reator. A eficiência de remoção de DQO filtrada variou de 10% a 41%, obtendo-se valor médio de 26±11%. [18] também observou variações na eficiência de remoção de DQO filtrada sendo que quando o reator 1 foi operado com vazão constante e TDH médio de 8 h a eficiência de remoção de matéria orgânica foi de 51%, na segunda etapa o reator 2 e reator 3 foram operados aplicando-se vazões até 1,8 e 3 vezes maiores que vazão média e TDH de 8 horas, através de hidrogramas de vazão estruturados para estes reatores, obtendo resultados de eficiência de remoção de DQO filtrada de 43 % e 39%, respectivamente.

As concentrações de sólidos suspensos voláteis (Figura 3.d) variaram de 70 a 140 mg.L⁻¹ e de 51 a 103 mg.L⁻¹ no afluente e efluente do reator, respectivamente, com eficiência média de remoção de 31±15%. [19] utilizou em sua pesquisa 3 reatores de 17 litros, alimentados com esgoto sintético simulando a concentração de DQO de esgoto domésticos a uma temperatura de 30±2 °C. Dois reatores receberam cargas de choques hidráulicas e diluição da matéria orgânica, simultaneamente, e o terceiro serviu de controle. A autora verificou pequeno aumento na concentração do SS e SSV no efluente dos dois reatores após o choque hidráulico e após cessar o choque observou-se que não houve redução na concentração de SS e SSV.

A eficiência de remoção de matéria orgânica foi prejudicada nessa fase de operação, devido ao arraste de sólidos resultante da variação de vazão.

As variações de vazão aplicados na fase 2 de operação do reator não alterou os valores de pH e temperatura comparados aos obtidos na fase 1.

Na alcalinidade a bicarbonato em ambas as fases foi possível observar a capacidade de tamponamento do reator. Em relação às concentrações de ácidos voláteis observou-se que na fase 2 houve acúmulo de ácidos causados pelas variações cíclicas de vazão.

A carga orgânica imposta ao reator variou de 0,15 a 0,27 kgDQO.d⁻¹ na fase 1 e na fase 2 variou de 0,10 a 0,19 kgDQO.d⁻¹, apesar da alta concentração de DQO bruta afluente na fase 1 os valores efluentes foram próximos em ambas as fases com valores na faixa de 0,03 a 0,14 kgDQO.d⁻¹ para fase 1 e valores na faixa de 0,08 a 0,13 kgDQO.d⁻¹ para fase 2, resultante talvez da variação de vazão cíclica acarretando no carregamento de lodo do reator ou mesmo da produção de biogás, cujo movimento ascensional das bolhas provocava perda de sólidos.

As eficiências de remoção de DQO bruta, filtrada e SSV foram prejudicadas na fase 2 pelo arraste de sólidos no efluente ocasionado pela aplicação das variações senoidais e pelo lodo floculento que em altas velocidades superficiais pode ter suas partículas de baixa sedimentabilidade arrastadas pelo fluxo [20].

CONCLUSÕES

A variação de vazão cíclica diária afluente não afetou a estabilidade operacional do reator UASB com relação aos valores de pH e manteve valores de alcalinidade a bicarbonato para o efluente superiores àqueles obtidos para o afluente, apresentando capacidade de tamponamento do reator.

As variações senoidais afetaram negativamente o desempenho do reator, apresentando eficiências de remoção de 24±19% para DQO bruta, 26±11% para DQO filtrada e 31±15% para SSV em comparação aos valores obtidos para o reator operado com vazão constante de 65±13% para DQO bruta, 63±7% para DQO filtrada e 51±21% para SSV.

A variação da vazão cíclica de 40% ocasionou redução na eficiência de remoção do material orgânico e particulado provavelmente devido à formação dos “bolsões de biogás” que carregam parte do lodo floculento no efluente do reator.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao CNPq pela concessão da bolsa de iniciação científica de Regiane Cristina Ferreira e do graduando Jamy Oliveira Costa.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. LETTINGA; VAN NELSEN; ZELW, W. Use of the upflow sludge blanket (USB) reactor concept, for biological wastewater treatment, especially for anaerobic treatment. **Biotechnology & Bioengineering**. v. XXII, n.º 4, 1980, p.699-734.
2. FORESTI, E. (2002). Anaerobic treatment of domestic sewage: established technologies and perspectives. **Water Science and Technology**, v.45, n.10, p.181-186.
3. SEGHEZZO, L. (2004). **Anaerobic treatment of domestic wastewater in subtropical regions**. Wageningen. 172p. Ph.D. Thesis. – sub-department of environmental technology, Wageningen University, The Netherlands.
4. CHERNICHARO, C. A. L. **Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 246p. 1997.
5. LEITAO R. C. **Robustness of UASB reactors treating sewage under tropical conditions**. 2004. Thesis Wageningen University.
6. NASCIMENTO, M. C. P.; CHERNICHARO, C. A. DE L.; MOURA, J. C. R. DE; CASTRO, L. DE. (2000). **Comportamento de um sistema UASB/Filtro biológico aeróbico quando exposto a choques de carga hidráulica**. IN: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, Porto Alegre – RS , **Anais...** Porto Alegre: Abes, 2000.
7. EATON, A.D.; CLESCERI, L. S.; RICE, E. W.; GREENBERG, A. E. (Ed.). **Standard methods for the examination of water and wastewater**. 21th ed. Washington: American Public Health Association; American Water Works Association; Water Pollution Control Federation, 2005.
8. 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.
9. RIPLEY, L.E.; BOYLE, W.C.; CONVERSE, J.C. **Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high-strength wastes**. **Journal Water Pollution Control Federation**, New York, v. 58, n. 5, p. 406-411, 1986.
10. SPEECE, R.E. (1995). **Anaerobic biotechnology for industrial wastewaters**. Nashville, Tennessee. Archae Press.
11. NETTO, A. P. O. **Reator Anaeróbio-Aeróbio de Leito Fixo, com Recirculação da Fase Líquida, Aplicado ao Tratamento de Esgoto Sanitário**. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.
12. CARVALHO, K. Q. **Resposta Dinâmica de Reator UASB em Escala Piloto Submetido a Cargas Orgânicas e Hidráulicas Cíclicas: Modelos Matemáticos e Resultados Experimentais**. Tese (doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2006.
13. MEYSTRE, J.A. (2007). **Partida de um reator UASB, em escala piloto, para tratamento de efluente doméstico: estudo de caso para a região da Serra da Mantiqueira**. Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia da Energia como parte dos requisitos para obtenção do Título de Mestre em Ciências em Engenharia da Energia. 128f. 2007. Itajubá/MG.
14. MORAIS, J.C.de; KATO, M.T.; FLORENCIO, L.T. Avaliação de um sistema UASB para tratamento de esgotos domésticos em Jaboatão dos Guararapes, Pernambuco. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, 21., 2001, João Pessoa. **Anais...** Associação Brasileira de Engenharia Sanitária e Ambiental, 2001. p.1-5
15. SINGH, K.S.; VIRARAGHAVAN, T. (1998). Start-up and operation of UASB reactors at 20 °C for municipal wastewater treatment. **Journal of Fermentation and Bioengineering**, v.85, n 6, p. 609-614.
16. PELÁEZ, S. L. S. **Desempenho de reatores UASB expostos a choques de carga hidráulica e diluição de matéria orgânica devidos a eventos de chuva**. Dissertação (mestrado) – Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Instituto de Pesquisa Hidráulica. Porto Alegre, 2007.
17. LEITÃO, R.C.; SANTAELLA, S. T.; VAN HAANDEL, A. C.; ZEEMAN, G.; LETTINGA, G. The effects of hydraulic and organic shock loads on the robustness of upflow anaerobic sludge blanket reactors treating sewage. **Water Science and Technology**, v. 54, n. 2, p. 49-55, 2006.
18. FRANCISQUETO, L. de O. S. **Comportamento de Reatores UASB Frente Variações Horárias de Vazão de Esgoto Sanitário**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) - Universidade Federal do Espírito Santo, Espírito Santo, 178p. 2007.
19. LETTINGA, G.; HULSHOFFPOL L.W. UASB process design for various types of wastewaters. **Water Science Technology**. 1991. Vol. 24, n. 8, p. 87-107.