

MODELAGEM DE REATORES UASB EM ESCALA REAL EM REGIÕES DE CLIMA SEMIÁRIDO

Monique da Silva Albuquerque¹; José Gabriel Mendes dos Santos²; José Lima de Oliveira Júnior³

*¹Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - campus Juazeiro do Norte.
E-mail: monique.albuquerque1996@gmail.com*

*²Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - campus Juazeiro do Norte.
E-mail: gabo.mendes97@gmail.com*

*³Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Ceará - campus Juazeiro do Norte.
E-mail: junior@ifce.edu.br*

Resumo

A disseminação do tratamento de efluentes domésticos é um ponto crucial no desenvolvimento dos municípios, auxiliando na melhoria da saúde pública e qualidade de vida (JORDÃO E PESSÔA, 2005). O reator UASB pode ser considerado uma tecnologia viável a ser inserida neste contexto, devido às suas características, desde que o sistema possua uma operação condizente com o recomendado em normas e na literatura específica. Além disso, o reator apresenta eficiência crescente quando implantado em regiões de clima quente (VON SPERLING, 2005; METCALF & EDDY, 2016), o que é mais um incentivo para a utilização da tecnologia em áreas com clima semiárido. Logo, este trabalho objetiva modelar o efeito da temperatura nesses reatores, em escala real, no tratamento de efluentes domésticos para estimativa da eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de DQO, comparando-se a confiabilidade do modelo gerado a partir de dados experimentais demonstrativos da falta de manejo adequado quanto à operação e aquela observada a partir do modelo gerado com base em dados em que a operação foi aparentemente condizente com o estabelecido nas normas e literatura específica, de forma a demonstrar a viabilidade da utilização da tecnologia em regiões de clima semiárido. A presente pesquisa foi conduzida em duas fases, quais sejam: (1) parametrização dos modelos, caracterizada pelo levantamento bibliográfico de modelos matemáticos já propostos, baseados na temperatura e revisão bibliográfica para geração do banco de dados, e a modelagem matemática e (2) modelagem matemática, caracterizada pela geração dos modelos matemáticos em termos de DQO em função da temperatura, tendo como cerne o trabalho computacional intenso. Foram gerados dois modelos. O primeiro abordou todos os pontos levantados, incluindo os com nítida interferência da falta de operação adequada. Para a elaboração do segundo modelo, considerou-se os dados em condições de operação adequadas. Observando os coeficientes de determinação (R^2), constatou-se a relação de influência da inadequada operação do sistema e a sua eficiência, gerando um melhor ajuste da curva no modelo sem tal interferência, fato comprovado pelo aumento considerável do R^2

entre as equações. Segundo Von Sperling (2005), a tecnologia apresenta elevada eficiência de remoção de matéria orgânica, asseverando a necessidade da adequada operação do sistema. Ressalta-se que os dados passaram por análise estatística. Os resultados do p-valor obtido para a Equação 02 foi de $1,74 \times 10^{-12}$, demonstrando a confiabilidade do modelo ao nível de significância de 5%. Assim, os valores de eficiência estimados com base no modelo proposto possuem baixíssima probabilidade de serem oriundos de outros fatores, se não da interferência da temperatura no sistema. Reatores UASB devem ser dimensionados a partir da estimativa da eficiência de remoção de material carbonáceo com base na temperatura do afluente. A operação inadequada e sua interferência negativa pôde ser demonstrado na eficiência do tratamento do efluente. O modelo gerado com influência de fatores operacionais, apresentando R^2 muito baixo, evidenciou problemas operacionais interferentes na eficiência de remoção de material carbonáceo, com valores da ordem de $R^2=0,11$, enquanto que o modelo gerado sem essa interferência apresentou $R^2=0,89$, e p-valor de $1,74 \times 10^{-12}$, demonstrando a confiabilidade do modelo ao nível de significância de 5%.

Palavras-chave: Reatores UASB. Temperatura. Esgoto doméstico. *Software* Excel ®. Operação adequada.

1. Introdução

A disseminação do tratamento de efluentes domésticos é um ponto crucial no desenvolvimento dos municípios, auxiliando na melhoria da saúde pública e qualidade de vida (JORDÃO E PESSÔA, 2005). Além disso, os problemas oriundos da falta desta etapa do saneamento básico se opõe ao que é garantido pela Constituição Federal de 1988, em seus artigos 196 e 225, os quais se referem ao direito de todos ao acesso à saúde e um meio ambiente ecologicamente equilibrado (BRASIL, 1988).

Para tanto, necessita-se selecionar uma tecnologia que possua atributos os quais facilitam a implantação da mesma em diversos ambientes. Baixo custo de implantação, elevada eficiência de tratamento e pouca área demandada para instalação são atributos imprescindíveis para que se torne possível tal feito.

O reator UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*) pode ser considerado uma tecnologia viável a ser inserida neste contexto, devido às suas características, desde que o sistema possua uma operação condizente com o recomendado em normas e na literatura

específica. Além disso, o reator apresenta eficiência crescente quando implantado em regiões de clima quente (VON SPERLING, 2005; METCALF & EDDY, 2016), o que é mais um incentivo para a utilização da tecnologia em áreas com clima semiárido. A Figura 01 retrata o esquema simplificado de um reator UASB.

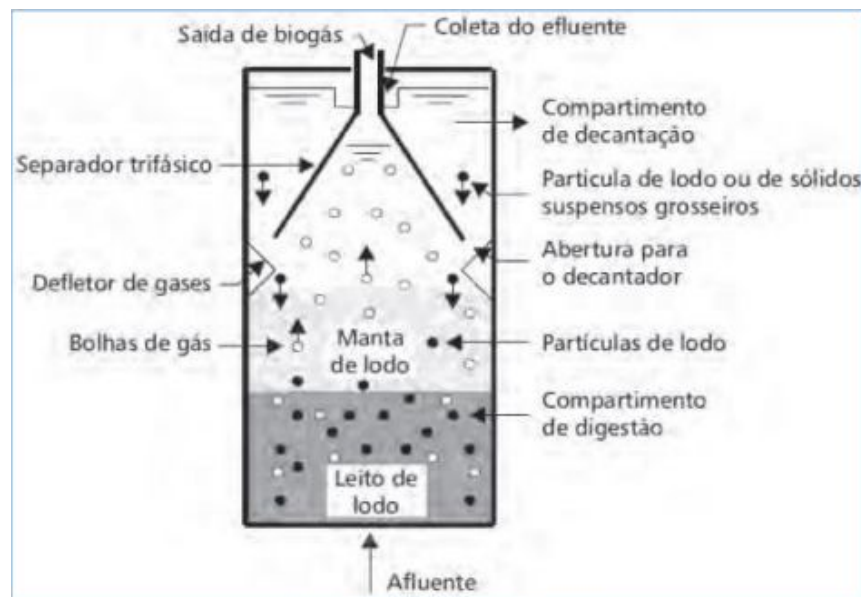


Figura 01 - Desenho esquemático do reator UASB
Fonte: Chernicharo, *et al.* (1999)

Sabendo da efetiva interferência da temperatura na eficiência de tratamento de esgotos pela tecnologia, faz-se necessário realizar estudos de tal fenômeno através da modelagem matemática envolvendo tal parâmetro, de forma a auxiliar projetistas e estudiosos no dimensionamento e projetos de reatores UASB a serem instalados em regiões de clima quente.

Devido à isto, este trabalho objetiva modelar o efeito da temperatura nesses reatores, em escala real, no tratamento de efluentes domésticos para estimativa da eficiência de remoção de matéria orgânica em termos de DQO, comparando-se a qualidade do modelo gerado a partir de dados experimentais demonstrativos da falta de manejo adequado quanto à operação e aquela observada a partir do modelo gerado com base em dados em que a

operação foi aparentemente condizente com o estabelecido nas normas e literatura específica, de forma a demonstrar a viabilidade da utilização da tecnologia em regiões de clima semiárido.

2. Metodologia

A presente pesquisa foi conduzida em duas fases, quais sejam: (1) parametrização dos modelos e (2) modelagem matemática.

A parametrização dos modelos foi caracterizada basicamente pelo levantamento bibliográfico, nacional e internacional, referente aos modelos já existentes, baseados na temperatura de funcionamento de reatores UASB, considerando as limitações e vantagens dos mesmos, a fim de contextualizar os modelos propostos de eficiência de remoção de matéria orgânica para UASB face aos modelos disponíveis na literatura.

Nesta fase ainda houve a revisão bibliográfica, necessária para a geração de um banco de dados de eficiência de remoção de matéria orgânica, em termos de DQO, em função da temperatura do efluente a ser tratado.

As observações existentes no banco de dados foram extraídos de trabalhos que utilizaram esgotos domésticos como efluente para tratamento em reatores UASB. Igualmente foi utilizado como parâmetro a temperatura no qual os reatores operam em escala real, funcionando em regiões de clima quente.

A segunda fase da metodologia, a modelagem matemática foi feita com base em 20 pontos ($n=20$). Os reatores operaram nas faixas de temperatura compreendidas entre 17 e 30°C, sendo enquadrados na faixa mesofílica. Para a obtenção dos modelos matemáticos foi utilizado o *software Excel 2010*®, devido ser uma plataforma simples e acessível que atende à geração de modelos com um único parâmetro de entrada para um parâmetro de saída.

No estágio de elaboração dos modelos estatísticos, necessitou-se de uso extensivo de ferramentas computacionais. Para tanto, foi empregado como plataforma um computador Notebook, na seguinte configuração: Samsung com processador Intel i3, memória RAM de 4 Gb, memória gráfica Intel® HD Graphics 5500 e memória HD de 500 Gb.

Para valores de eficiência indisponíveis nos artigos pesquisados, utilizou-se a Equação 01.

$$E (\%) = \left(\frac{M.O. entrada - M.O. saída}{M.O. entrada} \right) * 100$$

Equação 01

Na qual:

E (%) – Eficiência de remoção de matéria orgânica (em porcentagem);

M.O. – Matéria Orgânica (em mg/L).

Foram gerados dois modelos. O primeiro abordou todos os pontos levantados, incluindo os com nítida interferência da falta de operação adequada. Para a elaboração do segundo modelo, considerou-se os dados em condições de operação adequadas.

3. Resultados e Discussão

Após o processamento dos dados, os modelos de eficiência de remoção de DQO foram gerados em função da variação da temperatura do efluente. A escolha da temperatura do esgoto afluente ao sistema para a geração dos modelos se deu face ao nível de importância do parâmetro quanto à sua influência na eficiência do tratamento em reatores anaeróbios. Segundo Metcalf & Eddy (2016), a digestão anaeróbia se mostra com maior efetividade proporcionalmente à elevação da temperatura de operação do sistema com o desenvolvimento de uma microbiota mesófila desenvolvida na faixa de temperatura entre 25 e 40°C, comprovando a importância da temperatura no tratamento biológico anaeróbio.

Além disso, sabendo-se que a tecnologia UASB possui um menor custo de instalação e menor área demandada, se comparada com as demais tecnologias destinadas ao tratamento

secundário (CHERNICHARO, 2007; POLIDO, 2013), e que a digestão anaeróbia é intensificada com a elevação da temperatura do esgoto afluente, demonstra-se a importância de se estabelecer modelos para serem utilizados em projetos de reatores UASB com base na variação da temperatura.

Assim, os modelos matemáticos gerados, bem como seus coeficientes de determinação, são apresentados nas Equações 02 e 03, respectivamente evidenciando as falhas operacionais e em condições melhor controladas.

$$E (\%) = 33,326 \times T^{0,229} \quad R^2 = 0,1118 \quad (02)$$

$$E (\%) = 28,147 \times \ln (T) - 18,609 \quad R^2 = 0,8879 \quad (03)$$

Na qual:

E(%) - Eficiência do tratamento do esgoto doméstico pelo reator UASB (em porcentagem);

T - Temperatura do líquido afluente ao sistema (°C).

Conforme pode ser observado nas Equações 02 e 03, em ambos os modelos matemáticos obtidos, há uma relação diretamente proporcional entre a temperatura e a eficiência do tratamento de esgotos no reator UASB, o que infere o acréscimo da eficiência da tecnologia frente à elevação da temperatura. Tal fato corrobora com o que é exposto por Metcalf & Eddy (2016) e Souza (1984), que a temperatura é o fator ambiental primordial na interferência da digestão anaeróbia, auxiliando na maior geração de metano.

A partir da observação dos coeficientes de determinação (R^2) referentes a cada uma das equações, foi possível constatar a relação de influência existente entre inadequada operação do sistema e a sua eficiência. Quando não são considerados na geração do modelo os reatores operados em condições operacionais sofríveis os quais evidenciam a interferência direta da falta de operação adequada, um melhor ajuste da curva é promovido, fato este comprovado pelo aumento considerável do R^2 da Equação 03 em relação ao mesmo

parâmetro da Equação 02. As Figura 02 e 03 mostram o ajuste das curvas referentes às Equações 02 e 03, respectivamente.

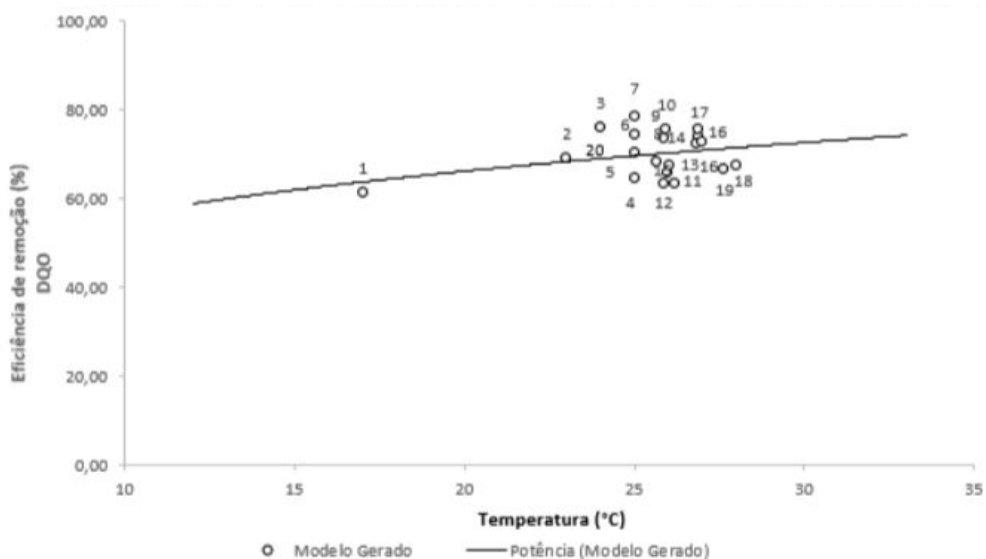


Figura 02 - Modelo da estimativa de remoção de DQO referente à Equação 02.
Fonte: Os autores (2018).

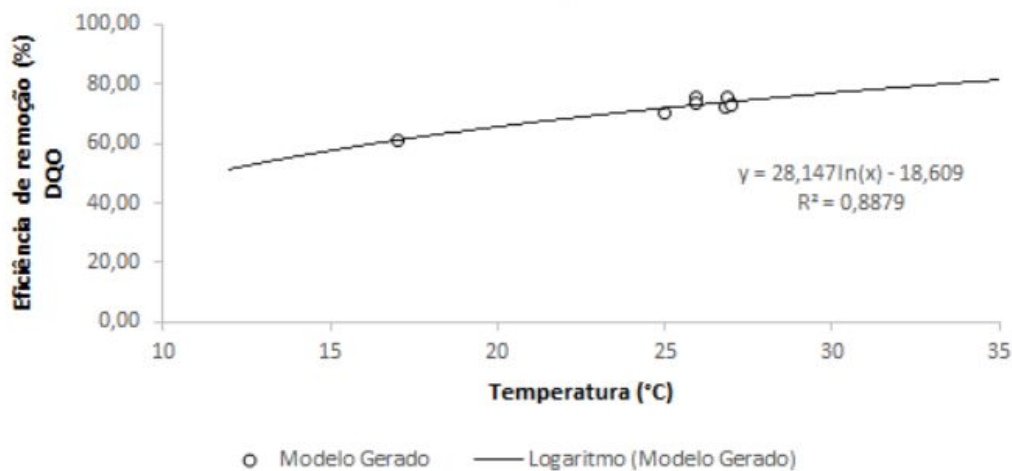


Figura 03 - Modelo da estimativa de remoção de DQO referente à Equação 03.
Fonte: Os autores (2018).

Segundo Von Sperling (2005), a faixa de eficiência de remoção de matéria orgânica do sistema varia entre 60 e 80%, valores considerados elevados na comparação com outras

tecnologias de tratamento que possuem o mesmo objetivo do UASB em face de suas vantagens operacionais. Porém, o autor assevera a necessidade de se garantir a adequada operação do sistema a fim de se obter tais eficiências. Chernicharo (2007) também expõe a importância do processo operacional satisfatório na garantia da eficiência do tratamento biológico de esgotos. Segundo ele, caso não seja realizada a operação adequada, poderá haver perda da biomassa do sistema, provocando a redução do tempo de retenção celular e conseqüente redução da eficiência do sistema, visto que a idade do lodo é um fator primordial neste quesito. Logo, sabendo-se que a operação e manutenção apropriados são parâmetros essenciais para o funcionamento adequado do sistema, pode-se constatar que o considerável aumento dos valores do coeficiente de determinação dos modelos gerados se deve ao fato da influência da falta de manejo correto da tecnologia UASB.

A Equação 03, reflete as condições operacionais mais favoráveis dos reatores operados para diferentes faixas de temperatura, podendo ser empregada para estimar a eficiência de remoção da matéria orgânica em função da temperatura para sistemas operacionalmente estáveis.

Ressalta-se que os pontos utilizados para a geração dos dois modelos passaram por análise estatística estabelecendo-se a análise de variância dos dados para constatação da validade do modelo. Os resultados do p-valor obtido para a Equação 03 foi de $1,74 \times 10^{-12}$, demonstrando a confiabilidade do modelo ao nível de significância de 5%. Pode-se então afirmar que os valores de eficiência estimados com base no modelo proposto possuem baixíssima probabilidade de serem oriundos de outros fatores, se não da interferência da temperatura no sistema.

Logo, ao se garantir, uma boa operação do sistema, é possível empregar o modelo apresentado na Equação 03 para o dimensionamento de reatores UASB, tendo como parâmetro principal a temperatura do líquido no mês mais frio auxiliando nos projetos de reatores deste tipo para regiões de clima quente. Porém, para que seja possível utilizar

confiavelmente tal modelo, o mesmo deve passar pelas importantes etapas da modelagem matemática: a calibração e a validação do modelo.

4. Conclusão

Reatores UASB devem ser dimensionados a partir da estimativa da eficiência de remoção de material carbonáceo com base na temperatura do afluente. A operação inadequada e sua interferência negativa pôde ser demonstrado na eficiência do tratamento do efluente.

O modelo gerado com influência de fatores operacionais, apresentando R^2 muito baixo, evidenciou problemas operacionais interferentes na eficiência de remoção de material carbonáceo, com valores da ordem de $R^2= 0,11$, enquanto que o modelo gerado sem essa interferência apresentou $R^2=0,89$, e *p-valor* de $1,74 \times 10^{-12}$, demonstrando a confiabilidade do modelo ao nível de significância de 5%.

6. Referências

BRASIL. **Constituição da República Federativa do Brasil de 1988**. Constituição Federal. Disponível em: <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/constituicao/constituicaocompilado.htm>. Acesso em: 06 de jun.2018.

CHERNICHARO, C.A.L. (2007). **Reatores anaeróbios**. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental, UFMG, Belo Horizonte, MG, Brasil, 246p.

JORDÃO, Eduardo Pacheco; PESSÔA, Constantino Arruda. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 4. ed. Rio de Janeiro: Universidade Federal do Rio de Janeiro, 2005. 932 p.

METCALF & EDDY, **Tratamento de efluentes e recuperação de recursos**. Tradução: Ivanildo Hespagnol, José Carlos Mierzwa. - 5. ed. - Porto Alegre: AMGH, 2016. XXVII, 1980 p. il.; 27,7 cm.

POLIDO, Lucas Henriques. **Proposta de projeto e estimativa de custos de uma estação de tratamento de esgoto para o campus Ecoville da UTFPR**. 2013. 88 f. TCC (Graduação) - Curso de Engenharia de Produção Civil, Departamento Acadêmico de Construção Civil, Universidade Tecnológica Federal do Paraná, Curitiba, 2013.

VON SPERLING, Marcos. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.**
3. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.