



III-299 – MONITORAMENTO AVANÇADO E SISTEMA DE DIAGNÓSTICO PARA APOIO OPERACIONAL DE FILTROS ANAERÓBIOS TRATANDO ÁGUAS CINZAS PARA REÚSO EM EDIFICAÇÕES

Leandro Anderson Carvalho Sales⁽¹⁾

Técnico em Química pelo Colégio Salesiano Nossa Senhora da Vitória. Graduando do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (IFES).

Analine Silva de Souza

Técnica em Química pelo Colégio Salesiano Nossa Senhora da Vitória. Graduanda do Curso Superior de Tecnologia em Saneamento Ambiental pelo Instituto Federal de Educação Tecnológica do Espírito Santo (IFES).

Samantha Avance Pereira Ramos

Química pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Raquel Machado Borges⁽²⁾

Engenheira Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Mestre em Engenharia Química pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU). Doutora em Engenharia Elétrica pela Universidade Federal do Espírito Santo (UFES). Professora da Coordenadoria de Saneamento Ambiental do Instituto Federal do Espírito Santo (IFES).

Ricardo Franci Gonçalves

Engenheiro Civil e Sanitarista pela Universidade do Estado do Rio de Janeiro (UERJ). Pós-graduado em Saúde Pública pela ENSP/RJ, DEA – Ciências do Meio Ambiente – Univ. Paris XII, ENGREF, ENC, Paris. Doutor em Engenharia do Tratamento e Depuração de Água – INSA de Toulouse, França. Professor Adjunto do Departamento de Hidráulica e Saneamento da Universidade Federal do Espírito Santo (UFES).

Endereço⁽²⁾: IFES. Av. Vitória, 1729 – Bairro Jucutuquara – Vitória – ES – CEP:29040-780 – Brasil – Tel: (027)3331-2237- e-mail: raquelmb@ifes.edu.br

RESUMO

A utilização dos processos anaeróbios para o tratamento de águas cinzas tem se mostrado uma opção bastante atrativa como pré-tratamento ao biológico aeróbio, por reduzir significativamente a carga orgânica aplicada. No entanto, a despeito da simplicidade operacional do processo de tratamento, diversos problemas operacionais oriundos de falhas no processo podem ser difíceis de serem diagnosticados pela ausência de laboratórios *in loco* devidamente equipados para a realização de determinações analíticas da entrada e da saída da planta. Por outro lado, entende-se que a aquisição de sensores para medições *on-line* ainda é considerada restritiva no que se refere ao custo dos equipamentos ora disponíveis no mercado. Neste trabalho é proposto um Sistema de Diagnóstico em Módulos (SDM), baseado em lógica *fuzzy* para filtros anaeróbios tratando águas cinzas. A partir de informações coletadas diretamente na planta ao longo de 121 dias de experimento, foram elaborados 3 módulos integrados que permitem, respectivamente, a estimativa da concentração de DQO da água cinza afluente, a estimativa da produção de biogás na planta, e um conjunto de oito diagnósticos operacionais possíveis para o filtro, de forma a auxiliar a operação na planta, norteados a tomada de decisões pelo operador. Para a elaboração da proposta, foram realizados estudos relativos aos efeitos das variações de carga orgânica aplicada e da temperatura sobre a produção de biogás, bem como a alteração do comportamento do processo na presença de cargas tóxicas oriundas de íons cloreto e na ausência de quantidades suficientes de nutrientes no meio. A elaboração do SDM foi realizada a partir de um sistema de inferência estruturado em lógica *fuzzy*, uma ferramenta capaz de lidar com incertezas de medições e de traduzir o conhecimento de especialistas humanos em regras linguísticas processadas computacionalmente.

PALAVRAS-CHAVE: Águas Cinzas, Tratamento Anaeróbio, Biogás, Sistema de Diagnóstico.

INTRODUÇÃO

A aplicação de processos anaeróbios no tratamento de águas residuárias é notadamente vantajosa quando se considera sua reduzida demanda energética, baixos requisitos de área e por equipamentos sofisticados, aliados a sua flexibilidade de aplicação em pequena e grande escala, bem como a baixa produção de lodo.



Experiências relatadas na literatura apontam também a viabilidade de preservação da biomassa por vários meses, mesmo sem alimentação do reator, o que reforça as vantagens de sua utilização. O biogás produzido no processo, quando canalizado, pode ser utilizado como fonte de energia, devido ao alto poder calorífico do gás metano. Adicionalmente, pelo fato de ser um subproduto da degradação da matéria orgânica, o biogás também pode ser um importante indicador da eficiência do processo de digestão anaeróbia. Cabe ressaltar, neste contexto, o importante papel da temperatura sobre a velocidade das reações químicas e bioquímicas, o que pode influenciar significativamente a produção de biogás dos sistemas de tratamento anaeróbios.

As águas residuárias denominadas águas cinzas são aquelas geradas principalmente pelo uso de chuveiros, pias, lavatórios, tanques e máquinas de lavar roupas, exceto as provenientes de bacias sanitárias. Estudos indicam que, após tratamento, estas podem ser reutilizadas em descargas dos vasos sanitários, lavagens de pisos ou irrigação dos jardins. Neste sentido, a escolha da tecnologia a ser empregada no tratamento de águas cinzas deve considerar não somente as vantagens operacionais do tratamento, mas sobretudo a qualidade sanitária do efluente final, principalmente se este for destinado ao reúso para fins não potáveis.

A utilização dos processos anaeróbios para o tratamento de águas cinzas tem se mostrado uma opção bastante atrativa como pré-tratamento ao biológico aeróbio, por reduzir significativamente a carga orgânica aplicada. Segundo Elmitwalli e Otterpohl (2007), cerca de 41% do teor de carbono orgânico presente nas águas residuárias domésticas são provenientes das águas cinzas. Os resultados do tratamento de águas cinzas em reatores UASB, apresentados pelos autores indicaram condições de biodegradabilidade anaeróbia máxima da ordem de 74%, e cerca de 84% de eficiência de remoção de DQO a 30°C. Adicionalmente, os resultados indicaram que a DQO afluente contribuiu para a fase metanogênica da digestão anaeróbia em 51, 40 e 38%, para os tempos de detenção hidráulica de 16, 10 e 6 horas, respectivamente. Quanto à DQO filtrada, sua parcela de contribuição é de 80, 77 e 76% para os tempos de detenção hidráulica de 16, 10 e 6 horas, respectivamente. Ainda segundo os autores, o biogás produzido no tratamento de água cinza pode ser viável para aquecimento e produção de eletricidade, se combinado com o biogás produzido no tratamento anaeróbio da água negra de esgoto convencional.

Os reatores biológicos anaeróbios preenchidos com meio suporte, ou filtros anaeróbios, possuem a vantagem de proporcionar maior retenção da biomassa quando comparados ao reator UASB, visto que nesta configuração ocorre a fixação e o desenvolvimento de microrganismos na superfície do meio suporte, na forma de biofilme. Esta característica torna-se importante à medida que, restando-se melhor a biomassa no sistema, maior flexibilidade operacional é garantida, um fator importante quando o sistema é operado sob variações de carga hidráulica volumétrica.

Os problemas operacionais que envolvem a operação de filtros anaeróbios tratando águas cinzas podem ser, via de regra, diagnosticados por meio da realização periódica de análises físico-químicas ou a partir do monitoramento da planta por meio de sensores automatizados atualmente disponíveis no mercado. Embora o processo de tomada de decisões sobre a operação da planta possa ser realizado com base nas análises de dados do monitoramento, muitas vezes são encontradas dificuldades pela ausência de laboratórios *in loco* dotados de equipamentos necessários às análises físico-químicas requeridas. Os equipamentos para medições *on line* que apresentam boa confiabilidade, precisão e robustez, por sua vez, ainda apresentam custo demasiado elevado, o que frequentemente inviabiliza sua aquisição para instalação em estações mais modestas.

Neste contexto, sistemas de diagnóstico baseados em modelos e que apoiem eficientemente a operação da planta tendem a ser uma solução viável para contornar problemas dessa natureza (Puñal *et. al.* 2001). Para tanto, é importante que o sistema seja simples o bastante para que possam ser facilmente manuseados e interpretados por operadores, mas que forneçam informações ricas a respeito do andamento do processo, tal que auxiliem a tomada de decisões.

Este trabalho propõe o desenvolvimento de um Sistema de Diagnóstico operacional em Módulos (SDM) para filtros anaeróbios tratando água cinza, concebido a partir da aplicação da ferramenta de lógica *fuzzy*, cuja base de regras permite a tradução do conhecimento operacional da planta para uma estrutura de modelos. Para tanto, em um estudo prévio, avaliou-se a relação existente entre a determinação analítica de DQO e a medição de turbidez do afluente, bem como as variáveis de influência na produção de biogás da planta, tais como carga orgânica aplicada, temperatura ambiente, presença de cloretos e nutrientes.



MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos foram desenvolvidos em um sistema de tratamento de água cinza piloto, composto por uma elevatória de água cinza bruta (EACB) e um filtro anaeróbio (FA) construído de tubulação de PVC de 3m de altura, 25 cm de diâmetro e altura efetiva de filtro de 2 m. A figura 1 abaixo ilustra o aparato experimental.

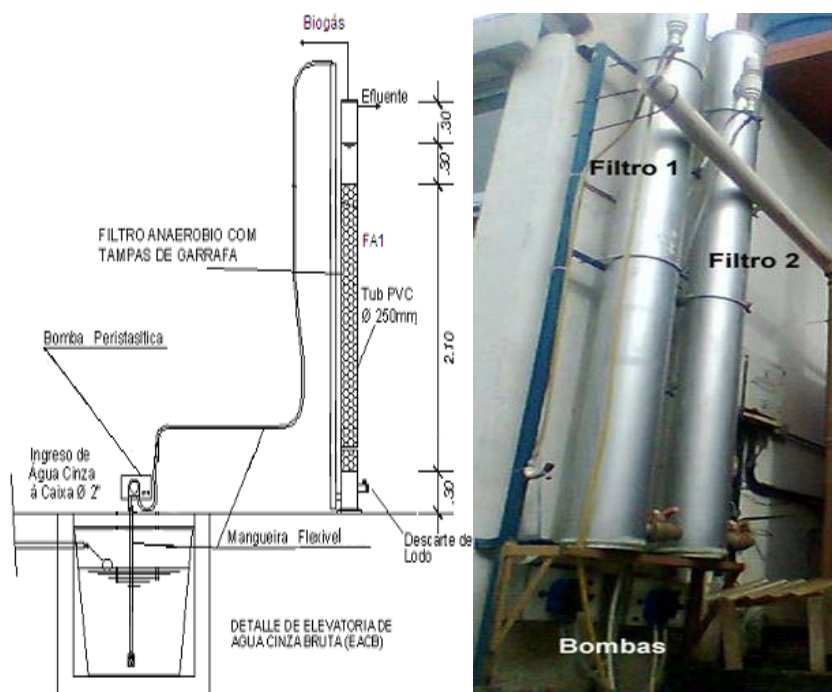


Figura 1: Aparato experimental para tratamento de águas cinzas por filtro anaeróbio.

O FA possui meio de suporte de tampas plásticas de garrafa e foi inoculado, previamente, com lodo anaeróbio proveniente de uma estação de tratamento de esgoto sanitário. As águas cinzas tratadas no FA eram provenientes de uma edificação cujo projeto hidrosanitário foi desenvolvido com a segregação das águas residuárias (Bazzarella, 2005). A composição das águas cinzas geradas durante o experimento foi de aproximadamente 70% água de lavanderia, 12% água de pias e 18% água de chuveiro e sua alimentação no FA foi realizada por meio de uma bomba peristáltica de vazão controlável. A carga hidráulica volumétrica média aplicada foi de $2,2 \text{ m}^3/\text{m}^3.\text{d}$, resultando no tempo de detenção hidráulico de aproximadamente 8 horas. A carga orgânica volumétrica média aplicada foi de aproximadamente $0,60 \text{ KgDQO}/\text{m}^3.\text{d}$.

Para a avaliação da produção de biogás no FA, foi instalado um medidor de biogás do tipo caçamba. O medidor é composto por um recipiente de acrílico hermeticamente fechado, dentro do qual é presa uma caçamba basculante invertida, também de acrílico, imersa em água, conforme ilustra a Figura 2.

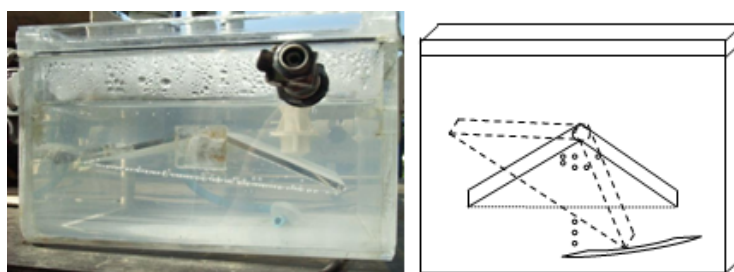


Figura 2: Medidor de biogás confeccionado em acrílico.

O acúmulo de biogás na caçamba gera instabilidade na báscula, fazendo com que a caçamba movimente e libere o biogás acumulado. Para a medição da produção de biogás, o movimento da caçamba é captado por um interruptor de lâminas, que conduz o sinal a um contador automatizado que, por sua vez, indica que

quantidade de movimentos foi realizado pela caçamba em determinado período de tempo. A figura 3 mostra detalhes do contador automático.



Figura 3: Contador digital do medidor de biogás.

Para que a medida de biogás seja confiável, o medidor deve ser previamente calibrado com o auxílio de uma seringa. Neste caso, o volume necessário para a caçamba bascular é de 40mL de gás. Estas informações são suficientes para se determinar o volume de gás produzido diariamente, conforme mostra a equação (1).

$$Q_B = N \cdot V \quad (1)$$

em que:

Q_B é a produção de biogás (mL/d)

N é a quantidade de movimentos diários da caçamba (d^{-1})

V é o volume de gás requerido para a instabilidade da caçamba (mL)

A temperatura ambiente foi medida por meio de um termômetro convencional. Ao longo dos 121 dias do experimento também foram realizadas análises físico-químicas das águas cinzas na entrada e na saída da planta, de acordo com as metodologias estabelecidas no Standard Methods (APHA, 1995) e apresentadas na tabela 1. As determinações analíticas são importantes à medida que estimam, paralelamente às medidas de biogás, se o filtro anaeróbio encontra-se operando com eficiência.

Tabela 1: Contador digital do medidor de biogás.

Parâmetros	Metodologia	Referência
DBO	Método Manométrico – Sistema Oxitop	Manual do fabricante
DQO	Método Colorimétrico	APHA (2005)
Nitrogênio Orgânico	Método Colorimétrico	APHA (2005)
Nitrogênio Amoniacal	Método Colorimétrico	APHA (2005)
Fósforo Total	Método Colorimétrico	APHA (2005)
Alcalinidade	Método Titulométrico	APHA (2005)
pH	Método Potenciométrico	APHA (2005)
Sólidos Totais	Método Gravimétrico	APHA (2005)
Sólidos Suspensos Totais	Secagem em Mufla	APHA (2005)
Sólidos Suspensos Voláteis	Método Gravimétrico	APHA (2005)
Sólidos Sedimentáveis	Método do Cone de Imhoff	APHA (2005)
Condutividade	Método Eletrométrico	Manual do fabricante
Turbidez	Método Nefelométrico	APHA (2005)

Para a concepção do sistema de diagnóstico proposto, avaliou-se inicialmente as variáveis que exerciam influência sobre a produção de biogás do processo. Seguidamente, avaliou-se as condições para a estruturação do sistema de diagnóstico, tendo-se como referência o sistema proposto para aplicação em reatores UASB tratando esgoto sanitário (Borges, 2005). O sistema de diagnóstico utilizado como referência foi desenvolvido a partir de uma estrutura de lógica *fuzzy*, uma ferramenta capaz de lidar com incertezas de medições e de



traduzir o conhecimento de especialistas humanos em modelos na forma de regras linguísticas processadas computacionalmente. Para tanto, utilizou-se o sistema de inferência *fuzzy* pertencente ao toolbox do software Matlab®. A estrutura do sistema de diagnóstico é composta por três módulos do tipo FIS (do inglês Fuzzy Inference System), sendo os dois primeiros módulos desenvolvidos com a função de se estimar determinadas variáveis da planta e o terceiro módulo desenvolvido para fornecer os diagnósticos operacionais do processo.

RESULTADOS

Avaliação do Processo de Tratamento

Os resultados do monitoramento da planta ao longo do experimento indicaram as seguintes eficiências médias de redução de poluentes: 69% de sólidos suspensos totais (SST), 81% de sólidos sedimentáveis, 43% de DQO total, 40% de DQO filtrada, 22% de DBO₅, 53% de turbidez e 51% de cloretos. Tais resultados indicam claramente a predominância da operação unitária de sedimentação dos sólidos no interior do filtro, em detrimento da degradação biológica anaeróbica. Neste sentido, considerando que o filtro anaeróbico havia sido devidamente inoculado com lodo anaeróbico proveniente de uma estação de tratamento de esgoto e ainda que sua partida foi realizada em condições operacionais extremamente conservadoras (TDH de 16 horas), considerou-se a hipótese de que a presença de cloretos na água cinza afluyente pudesse estar atuando negativamente na atividade biológica.

Avaliação do Efeito das Variáveis na Produção de Biogás

As figuras 4 e 5 apresentam os efeitos da variação de carga orgânica aplicada e da temperatura, respectivamente, na produção de biogás.

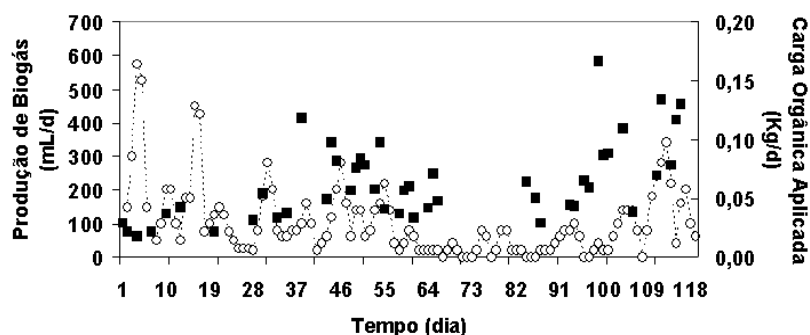


Figura 4: Efeito da variação da Carga Orgânica Aplicada (■) na Produção de Biogás (○).

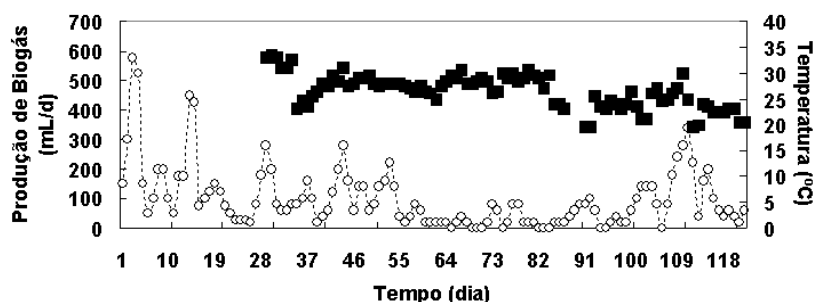


Figura 5: Efeito da variação da Temperatura (■) na Produção de Biogás (○).

Quando analisados em conjunto, entende-se que tanto a carga orgânica aplicada quanto a temperatura ambiente tenham tido grande influência sobre a dinâmica da produção do biogás no processo. Embora a temperatura ambiente não tenha sofrido variações bruscas ao longo do experimento, observa-se na figura 5 uma tendência de queda da produção de biogás durante ou imediatamente após os períodos de quedas de temperatura, ainda que a carga orgânica aplicada permanecesse dentro da faixa esperada, como ocorreu nos últimos dias do experimento, conforme observado na figura 4. Entre o 40º e 50º dias, por outro lado, houve incremento de ambas as variáveis, resultando no incremento da produção de biogás.

Comportamentos não esperados do FA no que se refere à produção de biogás mais uma vez conduziram à hipótese de ocorrência de toxicidade por cloreto. Uma análise mais atenta no que diz respeito à relação da presença de íons cloreto e a produção de biogás sugere certa inibição da atividade metanogênica em períodos de maior concentração do íon nas amostras (Figura 6), indicando toxicidade no meio. Considerando-se que as águas cinzas provenientes da edificação tinham contribuição das águas utilizadas na lavagem de vasilhames de refeições, supõe-se que os íons cloretos presentes nas amostras sejam advindos do cloreto de sódio utilizado no preparo dos alimentos.

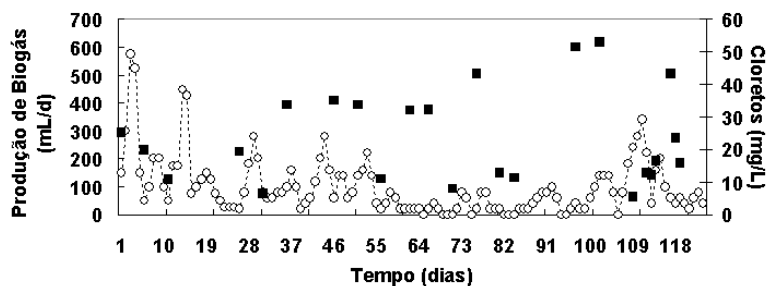


Figura 6: Efeito dos íons cloreto (■) na Produção de Biogás (○).

Adicionalmente, uma avaliação da relação C:N:P das águas cinzas afluentes ao FA indicou um teor de nitrogênio cerca de 10 vezes menor que aquele sugerido para um bom equilíbrio de nutrientes no processo de tratamento. De acordo com Piveli e Kato (2006), os processos anaeróbios de tratamento requerem uma relação mínima de DQO:N:P de 350:7:1. Os resultados sugeriram certa limitação de nutrientes, principalmente nitrogênio, na água cinza, o que de certa forma pode impactar negativamente na produção de biogás do processo.

Concepção do Sistema de Diagnóstico em Módulos

A partir dos estudos prévios sobre a operação do processo de tratamento, bem como a compreensão da influência das variáveis estudadas sobre a produção de biogás no filtro anaeróbio tratando água cinza, foi desenvolvida a proposta do Sistema de Diagnóstico em Módulos (SDM), conforme ilustra a figura 7.

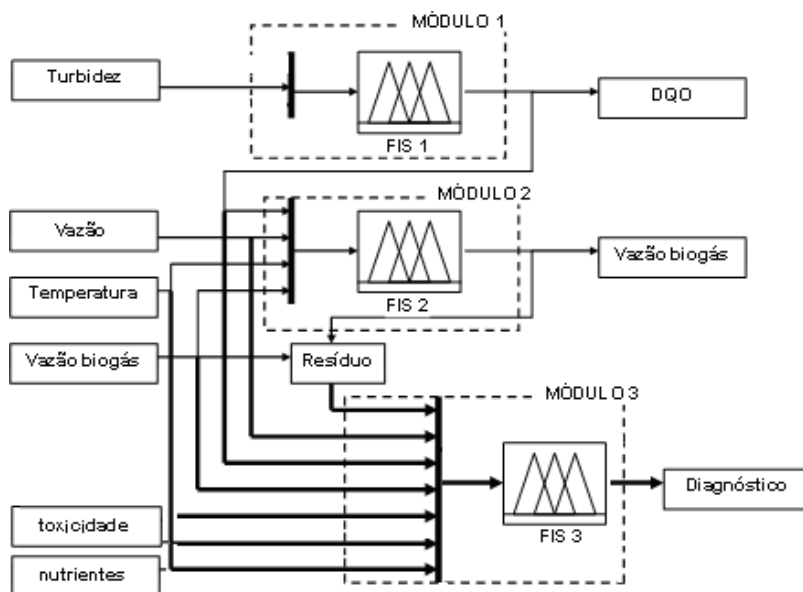


Figura 7: Concepção do Sistema de Diagnóstico em Módulos (SDM).

O Sistema de Diagnóstico em Módulos (SDM) consiste em uma estrutura de lógica *fuzzy* composta de 3 módulos distintos. O primeiro módulo é concebido para, a partir de um modelo *fuzzy* previamente desenvolvido, estimar a concentração de DQO afluente a partir de dados de turbidez medidos diretamente na planta. A figuras 8 abaixo mostra a existência de uma relação diretamente proporcional entre turbidez e DQO



para a água cinza utilizada no experimento. Vale ressaltar que um refinamento para a relação entre as variáveis pode ser realizado, considerando-se, por exemplo, a composição da água cinza tratada.

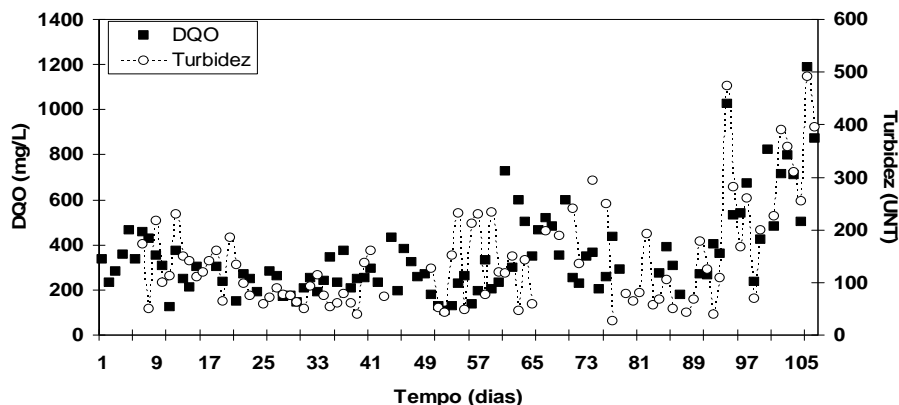


Figura 8: Demanda Química de Oxigênio (■) e Turbidez (○) na água cinza afluyente.

Ressalta-se ainda que na possibilidade de se medir o teor de matéria orgânica por meio de sensores de carbono orgânico total (COT), não haverá necessidade da existência do primeiro módulo, devendo ser o SDM adaptado para trabalhar com apenas 2 módulos.

O segundo módulo é concebido para, a partir de um modelo *fuzzy*, se estimar a produção de biogás no filtro anaeróbio. Para tanto, são utilizados dos dados de DQO da água cinza afluyente, estimados no módulo 1, ou de COT diretamente medidos na planta, além de dados medidos de vazão de água cinza, temperatura ambiente e a produção de biogás do dia anterior. Para o desenvolvimento do modelo, os conhecimentos da operação do processo e da influência das variáveis estudadas na produção de biogás são traduzidos para funções de pertinência que irão compor uma base de regras do tipo “Se, então”, que representam o conhecimento já adquirido do processo.

Estudos indicam que a medida da produção de biogás do dia anterior torna-se relevante para a estimativa da produção de biogás atual, visto que trata-se de um processo biológico, cuja dinâmica está atrelada não apenas à carga orgânica afluyente e à temperatura, mas sobretudo às condições da biomassa no interior do filtro. Adicionalmente, considerando-se que a fase metanogênica do processo de digestão anaeróbia depende das demais fases (hidrólise, acidogênese e acetogênese), entende-se que ainda deverá haver produção de biogás no filtro por algum tempo após cessada sua alimentação.

Considerando-se que o modelo *fuzzy* proposto para o módulo 2 deve representar as condições normais de operação, a produção de biogás estimada pelo modelo é comparada à produção de biogás medida na planta, de forma que a diferença entre os valores é denominada Resíduo. Neste sentido, um valor de Resíduo “alto” indica que o comportamento do filtro anaeróbio no que se refere à produção de biogás não foi o esperado, sugerindo a existência de falha no processo. Um valor de Resíduos considerado “baixo”, por sua vez, indica que o filtro está operando conforme esperado para as condições operacionais do dia.

O terceiro módulo utiliza todas as informações provenientes da planta e dos módulos anteriores (ou do módulo anterior, no caso da medição direta de COT), além do valor de Resíduo entre planta/modelo para fornecer diagnósticos do estado operacional da planta. Para tanto, deverão ser consideradas as informações sobre a presença de íons cloreto, estimada pela alta condutividade da água cinza afluyente, ou mesmo sobre o teor de nitrogênio, medida por meio de sensores. Embora a presença de fósforo seja imprescindível para o sucesso do processo biológico, a caracterização da água cinza indica que não há necessidade de aporte extra do nutriente, visto que a contribuição de detergentes na produção de água cinza já é significativa. A presença de nitrogênio, entretanto, pode não ser suficiente, visto que geralmente não há (ou há pouca) contribuição de urina na composição da água cinza.

Com a aplicação do Sistema de Diagnóstico em Módulos no filtro anaeróbio, pretende-se disponibilizar uma ferramenta que forneça aos operadores os seguintes possíveis diagnósticos:



- 1) Normalidade: quando os valores de DQO (ou COT), vazão de água cinza, temperatura e produção de biogás estiverem na faixa de pertinência considerada normal, ou seja, próximo aos valores médios encontrados ao longo do experimento. Além disso, o Resíduo for considerado baixo e houver baixa toxicidade e aporte normal de nutrientes.
- 2) Falha no Sensor: quando independente dos valores dos demais parâmetros, a produção de biogás for zero e o Resíduo for considerado alto.
- 3) Baixa Atividade Metanogênica: para valores de DQO (ou COT) e vazão afluente normais, houver medida de temperatura e produção de biogás baixas.
- 4) Aumento/redução de carga orgânica aplicada: quando as demais variáveis permanecerem normais, houver alta/baixa concentração de DQO afluente, ocasionando alta/baixa produção de biogás. Resíduo baixo.
- 5) Aumento/redução de carga hidráulica aplicada: quando as demais variáveis permanecerem normais e houver alta/baixa vazão afluente, ocasionando alta/baixa produção de biogás. Resíduo baixo.
- 6) Toxicidade: quando as demais variáveis permanecerem normais e houver presença de cloreto, ocasionando baixa produção de biogás. Resíduo alto.
- 7) Falta de nutrientes: quando as demais variáveis permanecerem normais e houver baixa concentração de nitrogênio, ocasionando baixa produção de biogás. Resíduo alto.
- 8) Perturbação não modelada: quando todas as variáveis permanecerem normais e ainda assim houver baixa produção de biogás. Resíduo alto.

CONCLUSÕES

Neste trabalho, foi proposto um Sistema de Diagnóstico em Módulos (SDM), baseado em lógica *fuzzy* para filtros anaeróbios tratando águas cinzas. A partir de informações coletadas diretamente na planta ao longo de 121 dias de experimento, foram realizados diversos estudos que deram subsídio à elaboração dos módulos do SDM. Para a concepção do primeiro módulo, foi avaliada a relação existente entre a determinação analítica da DQO e a medida de turbidez do afluente. Os resultados indicaram que as variáveis são diretamente proporcionais para água cinza, sendo viável a estimativa da DQO afluente à planta a partir da medição de turbidez. A partir da avaliação dos efeitos das variações de carga orgânica aplicada e da temperatura sobre a produção de biogás, foi concebido o segundo módulo do SDM. Neste caso, embora em condições normais de operação as duas variáveis possam ser entendidas como suficientes para representar as condições operacionais da planta, foi observado que a presença de toxicidade por íons cloreto e a ausência de quantidades suficientes de nutrientes no meio (nitrogênio, neste caso) podem alterar significativamente o comportamento esperado no filtro anaeróbio, reduzindo, neste caso, a produção diária de biogás. A sistematização das informações acima em agrupamentos de dados que representassem comportamentos similares do processo subsidiou a elaboração do terceiro módulo do SDM, composto de uma base de regras do tipo “Se, então” para o fornecimento de oito possibilidades de diagnósticos operacionais da planta. Neste sentido, entende-se que o SDM proposto pode ser considerado uma ferramenta simplificada e de grande valia para auxiliar a operação de filtros anaeróbios tratando água cinza, norteando a tomada de decisões pelo operador.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao Núcleo de Bioengenharia Aplicada em Saneamento da UFES (Núcleo Água), por viabilizar a realização do trabalho e ao CNPq pelas bolsas de pesquisa concedidas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. APHA; AWWA; WEF. Standard methods for the examination of water and wastewater. USA: APHA, 1995. 19 th Edition.
2. BAZZARELLA, B. B. Caracterização e aproveitamento de água cinza para uso não potável em edificações. 2005. Dissertação de mestrado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.
3. BORGES, R. M. Desenvolvimento e aplicação de um sistema de diagnóstico fuzzy baseado em modelos para reatores UASB tratando esgoto sanitário. 2005. Tese de doutorado. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Elétrica. Universidade Federal do Espírito Santo, Vitória, 2005.



4. Elmitwalli, T.A.; Otterpohl, R. (2007) Anaerobic Biodegradability and treatment of grey water in upflow anaerobic sludge blanket (UASB) reactor. Department of Civil Engineering, Benha High Institute of Technology, Benha University, P.O. Box 13512, Benha El-Gedida, Benha, Egypt. In: Elsevier.
5. Puñal, A., Roca, E. and Lema, J.M. (2001). Advanced Monitoring and Control of Anaerobic Wastewater Treatment Plants: Diagnosis and Supervision by a Fuzzy-based Expert System. *Water Science Technology*, 43(7), 191-198.