

Análise da eficiência do tratamento de efluentes em reatores UASB em Fortaleza/CE

Efficiency analysis of effluent treatment in UASB reactors in Fortaleza/CE

• **Data de entrada:**
18/09/2017

• **Data de aprovação:**
02/10/2017

Leonardo da Cunha Marques^{*} / Ana Bárbara de Araújo Nunes

DOI:10.4322/dae.2018.025

Resumo

O município de Fortaleza-CE é atendido por diversas estações de tratamento de esgotos. Essas estações apresentam problemas operacionais que representam riscos de poluição aos corpos hídricos, necessitando, assim, de uma fiscalização constante para avaliar o atendimento à legislação ambiental. Foram avaliados a eficiência e o atendimento à legislação de 19 estações que operam com a tecnologia UASB. Para tal, foram analisados 1.770 dados mensais de qualidade obtidos junto à concessionária responsável, referentes ao período de janeiro de 2013 a julho de 2015. Foram analisados os seguintes parâmetros: Demanda Química de Oxigênio (afluente e efluente), Sólidos Suspensos Totais (efluente), pH (efluente) e *E. coli* (efluente). Foi observado que o atendimento à legislação ambiental está deficitário, com as seguintes porcentagens de amostras dentro dos padrões: 21% para DQO, 11% para SST, 100% para pH e 52% para *E. coli*. Por fim, foram sugeridas melhorias a serem implantadas pela concessionária.

Palavras-chave: UASB. Eficiência. Estação de Tratamento de Esgotos.

Abstract

The city of Fortaleza-CE is serviced by many wastewater treatment plants. These plants present operational problems that represent pollution risks to water bodies, therefore, needing a constant inspection to evaluate compliance with environmental legislation. Efficiency and compliance with environmental legislation were evaluated of 19 plants that operate with UASB technology. For that, 1770 monthly quality data were analyzed, obtained from the responsible concessionaire, for the period from January 2013 to July 2015. The following parameters were analyzed: Chemical Oxygen Demand (affluent and effluent), Total Suspended Solids (effluent), pH (effluent) and *E. coli* (effluent). It was observed that compliance with environmental legislation is deficient, with the following percentages of samples within the standards: 21% for COD, 11% for SST, 100% for pH and 52% for *E. coli*. Finally, improvements were suggested to be implemented by the concessionaire.

Keywords: UASB. Efficiency. Wastewater Treatment Plant.

Leonardo da Cunha Marques – Engenheiro Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC). Mestrando em Engenharia Civil – Saneamento Ambiental pela Universidade Federal do Ceará (UFC).

Ana Bárbara de Araújo Nunes – Engenheira Sanitarista pela Universidade Federal do Pará (UFPA). Mestre em Engenharia Civil pela Universidade Federal da Paraíba (UFPB). Doutorado em Engenharia Civil – Recursos Hídricos pela Universidade do Ceará (UFC).

^{*}**Endereço para correspondência:** Rua Dr. Márlio Fernandes, 81, apto 1002 D – Guararapes – Fortaleza – CE – CEP: 60810-025. Telefone: (85) 98817-5221. E-mail: leo.marques@live.com.

1 INTRODUÇÃO

O despejo de esgoto não tratado em corpos d'água ocasiona aumento na concentração de nutrientes, tais como nitrogênio e fósforo, que levam ao crescimento excessivo das plantas aquáticas, causando um desequilíbrio no ecossistema aquático e uma degradação da qualidade da água, fenômeno conhecido como eutrofização (FIGUEIRÊDO et al., 2007). Segundo Von Sperling (2005), mortandade de peixes, redução da capacidade de recreação e altos custos para o tratamento da água estão entre algumas consequências diretas da eutrofização.

Uma das opções de tratamento para os efluentes é a tecnologia UASB (do inglês *Upflow Anaerobic Sludge Blanket*). Essa tecnologia de tratamento de efluentes emprega microrganismos anaeróbios que se encontram em suspensão formando flocos biológicos conhecidos como manta de lodo. O substrato presente no efluente se difunde no lodo em fluxo ascendente, onde é biodegradado pelo processo anaeróbio (MAHMOOD, 2004).

O sistema de esgotamento sanitário do município de Fortaleza possui 19 Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) do tipo reatores UASB sob a responsabilidade da Companhia de Água e Esgoto do Ceará (Cagece), concessionária responsável pelos sistemas de abastecimento de água e de esgotamento sanitário de Fortaleza.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

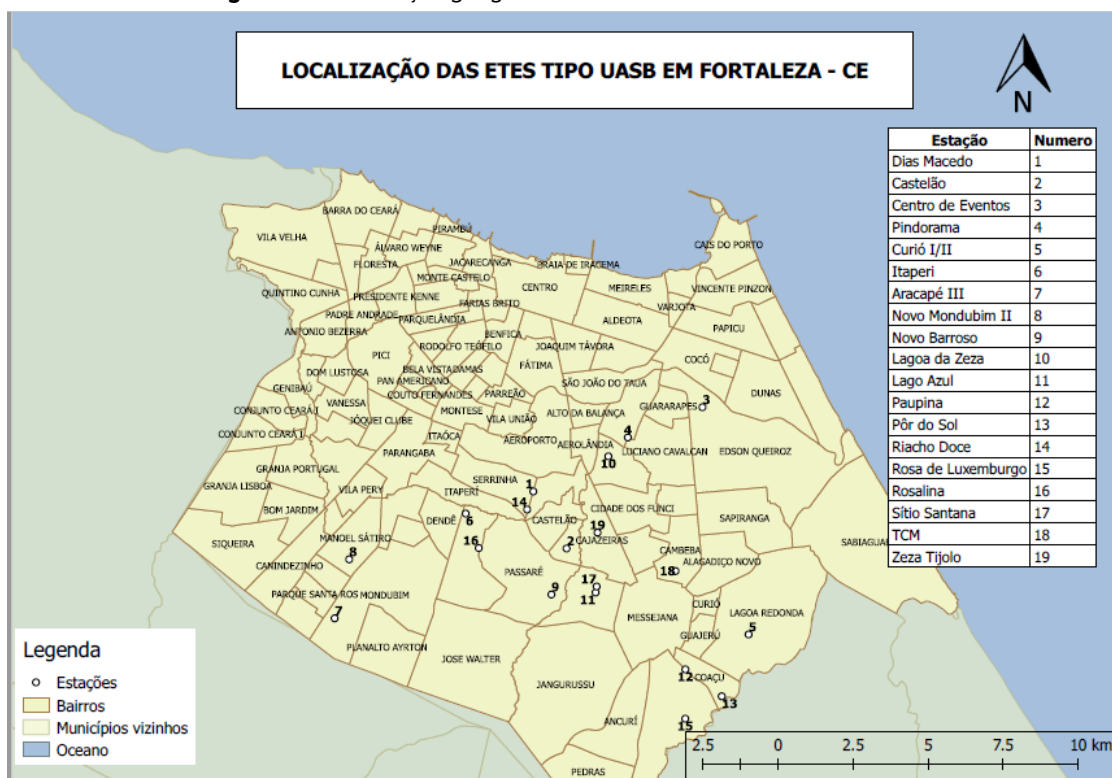
Avaliar a eficiência e o atendimento à legislação vigente das Estações de Tratamento de Esgoto que compõem o Sistema de Esgotamento Sanitário do município de Fortaleza-CE e que operam com a tecnologia UASB.

2.2 Objetivos específicos

- Apresentar as características dos sistemas de tratamento estudados;
- Analisar os dados de qualidade dos efluentes das estações de tratamento de efluentes estudadas;
- Identificar problemas operacionais que possam ocorrer nessas estações de tratamento de esgoto;
- Propor medidas operacionais para a melhoria na eficiência do tratamento anaeróbio destes efluentes.

3 METODOLOGIA

A área de estudo para esse trabalho resume-se a todas as estações de tratamento que utilizam reatores UASB em operação pela Cagece localizadas dentro dos limites do município de Fortaleza. Segundo o Plano Municipal de Saneamento Básico de Fortaleza (2014), existem 97 estações de tratamento de esgoto em operação, sendo 19 destas do tipo UASB, que podem ser identificadas na figura 1:

Figura 1 – Localização geográfica dos reatores UASB em Fortaleza.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

As ETes apresentadas na Figura 1, assim como a grande maioria dos sistemas isolados, estão sob a responsabilidade da Unidade de Negócio de Macrocoleta e Tratamento de Esgotos (UNMTE). Essa é uma das seis Unidades de Negócios (UN) que a Cagece possui em sua estrutura organizacional, e cada uma delas possui atribuições es-

pecíficas em relação ao saneamento básico da cidade de Fortaleza.

Todos os 19 reatores são operados pela Cagece e estão descritos na tabela 1, apresentando sua denominação, endereço e bacia hidrográfica de contribuição:

Tabela 1 - Descrição dos reatores UASB em operação pela Cagece.

Nome	Endereço	Bacia de Contribuição
Aracapé III	Rua Fernandes A. Sousa, 1001, Jardim Violeta	Siqueira
Castelão	Av. do Contorno, s/n, Castelão	Cocó
Centro de Eventos	Av. Paisagística, 2011, Edson Queiroz	Cocó
Curió I/II	Rua Lucimar de Oliveira, s/n, Curió	Miriú
Dias Macedo	Rua Marechal Bittencourt, 540, Dias Macedo	Cocó
Itaperi	Rua João de França, s/n, Itaperi	Cocó
Lago Azul	Rua Waldemar Lima, 700, Barroso	Cocó
Lagoa da Zeza	Rua 03, s/n, Tancredo Neves	Cocó
Novo Barroso	Rua Emiliano de Almeida Braga, 980, Novo Barroso	Cocó
Novo Mondubim II	Rua Melquides, 264	Siqueira
Paupina	Estrada Barão de Aquiraz, s/n, Paupina	Miriú
Pindorama	Rua Pindorama, 245, Luciano Cavalcante	Cocó
Pôr do Sol	Rua Nelson Mandela, s/n, Messejana	Miriú
Riacho Doce	Rua 15, 32, Passaré	Cocó
Rosa de Luxemburgo	Rua 14, 333, Paupina	Miriú
Rosalina	Rua Luciano de Queirós, s/n, Rosalina	Cocó
Sítio Santana	Rua Icaçaru, s/n, Barroso	Cocó
TCM	Av. Afonso Albuquerque Lima, s/n, Cambeba	Miriú
Zeza Tijolo	Rua Tainá Pires, s/n, Cajazeiras	Cocó

Fonte: ACFOR, 2015.

Para realizar a análise proposta neste trabalho, foram avaliados os dados de qualidade das estações do município de Fortaleza-CE com a tecnologia UASB. Esses dados foram obtidos junto à ACFOR (2015), órgão municipal responsável pela fiscalização dos serviços de Saneamento Ambiental de Fortaleza, e à Cagece.

Foram obtidos relatórios mensais de janeiro/2013 até junho/2015, totalizando 30 meses. Esses dados de qualidade do esgoto foram compilados em uma planilha eletrônica para melhor manuseio, análise e geração de gráficos. Os parâmetros pH, Demanda Química de Oxigênio (DQO), Sólidos Suspensos Totais (SST) e *E. coli* são analisados mensalmente pela Cagece, enquanto os outros parâmetros listados na Portaria nº 154/2002 da Semace são analisados com menor frequência. Portanto, devido ao grande número de dados dis-

poníveis, foram utilizados apenas os quatro parâmetros citados. Segue abaixo a tabela 2, estabelecendo os parâmetros analisados mensalmente:

Tabela 2 – Parâmetros estudados mensalmente e os métodos utilizados para sua

Poluentes do esgoto	Parâmetros	Métodos
Ácidos e álcalis	pH	Potenciométrico
Sólidos em suspensão	SST	Gravimétrico
Matéria orgânica	DQO total	Refluxo fechado
Microrganismos patogênicos	<i>E. coli</i>	Substrato cromogênico

Fonte: Cagece (Informação verbal), 2016.

Em relação à estatística dos dados, será feita uma análise descritiva simples dos dados, apresentando valores de médios, máximos e mínimos. A partir desses valores, foi feita uma comparação com os valores observados na literatura e também com os exigidos pela legislação estadual. Para os valores de DQO e SST, foram feitas médias aritméticas dos valores, enquanto para *E. coli* foram feitas média geométricas.

A eficiência representa o quanto de um determinado parâmetro (DQO, coliformes, nutrientes etc.) foi removido durante o processo de tratamento do efluente e é dada pela equação 1:

$$E = \frac{C_e - C_s}{C_e} * 100 \quad \text{Equação (1)}$$

Onde:

E: Eficiência de remoção (%);

C_e : Concentração do parâmetro na entrada do sistema;

C_s : Concentração do parâmetro na saída do sistema.

Por meio da eficiência de remoção e da análise qualitativa dos dados obtidos junto à Cagece, é possível estudar o atendimento aos padrões de lançamento de efluente segundo as legislações vigentes. Em relação aos padrões de lançamentos,

existem duas legislações aplicáveis: a resolução Conama nº 430, de 13 de maio de 2011, e a portaria da Semace nº 154, de 22 de julho de 2002. Por existir uma legislação no âmbito estadual, esta será a utilizada para analisar o atendimento dos padrões de lançamento.

Segundo a portaria 154/2002 da Semace, em seu Artigo 4º, os valores para lançamento devem se enquadrar segundo os limites abaixo:

Tabela 3 – Valores limites para lançamento de efluentes líquidos.

Parâmetros	Valores
pH	Entre 5,0 e 9,0
SST	50,0 mg/L
DQO total	200,0 mg/L
<i>E. coli</i>	5000 NMP/100 mL

Fonte: Portaria SEMACE nº 154/2002.

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Neste estudo foram analisados os dados de qualidade de 19 ETEs do município de Fortaleza, estações que utilizam a tecnologia UASB. Antes de ser iniciada a discussão de resultados, alguns pontos observados durante a análise de dados devem ser apresentados.

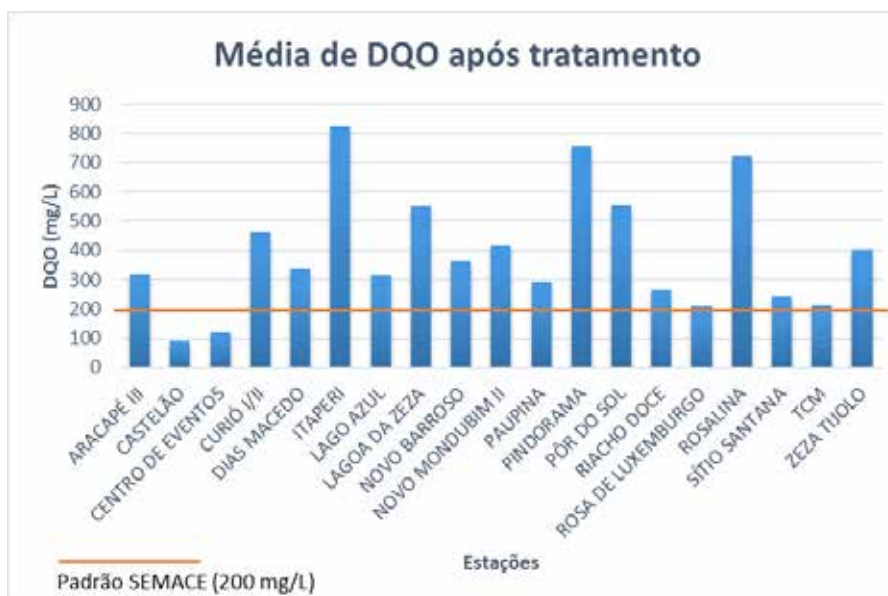
Primeiramente, os parâmetros analisados mensalmente em todas as estações (pH, DQO, SST e *E. coli*) não possuíam dados de qualidade em determinados meses para algumas estações. A pior situação foi na estação TCM, onde 11 dos 30 meses estudados não apresentavam dados de nenhum parâmetro.

Outro fato a ser destacado foi que o único parâmetro analisado no esgoto bruto foi a DQO, per-

mitindo fazer uma análise de eficiência somente desse parâmetro. Entretanto, foi feita uma estimativa para valores brutos de SST a partir dos valores brutos de DQO. Deve-se destacar que essa escassez de análises realizadas impede um melhor estudo da situação operacional das ETEs operadas pela Cagece.

Por fim, ainda sobre a DQO, algumas amostras apresentaram valores de entrada menores do que os valores de saída. Sobre este assunto, pode-se levantar duas hipóteses: erros durante a análise ou perda de biomassa no reator. Como os valores elevados de DQO de saída foram recorrentes durante vários meses somente em algumas estações, descartou-se a possibilidade de erro laboratorial durante as análises. Assumiu-se então que a hipótese mais provável é que o reator esteja perdendo biomassa por problemas operacionais.

Para a DQO, foram analisados os valores de entrada e saída do efluente na ETE, possibilitando analisar tanto a eficiência como o atendimento à legislação ambiental vigente. A figura 2 apresenta os valores médios de DQO para as 19 estações na forma de gráfico. Pode-se inferir a partir deste gráfico que somente as estações Castelão e Centro de Eventos apresentam média de DQO abaixo do padrão exigido pela Semace (200 mg/L) e que as estações Rosa de Luxemburgo e TCM apresentam valores médios de DQO muito próximos do exigido. Por outro lado, as estações Itaperi, Pindorama e Rosalina apresentaram valores médios de DQO acima de 700 mg/L, valores mais de três vezes que o permitido pela Semace. Observou-se um valor máximo de eficiência na estação Centro de Eventos, com 88%, e um valor mínimo na estação Lagoa da Zeza, com 2%.

Figura 2 – Média de DQO após tratamento.

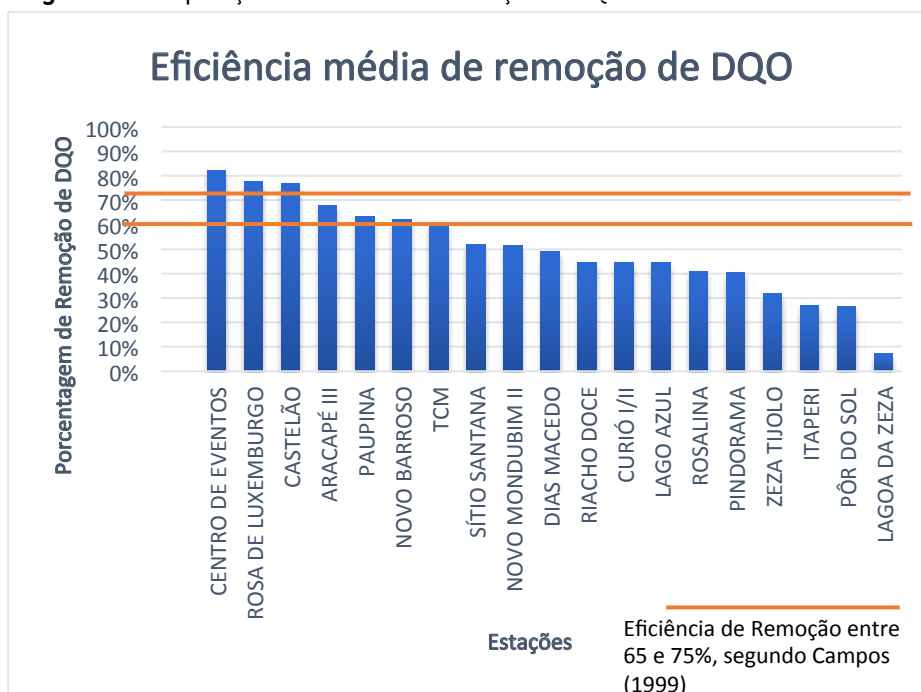
Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Ao analisar a porcentagem de amostras dentro dos padrões em relação ao parâmetro DQO, percebe-se que somente quatro estações possuem mais de 50% das amostras dentro dos padrões da legislação. Por outro lado, oito estações apresentaram menos de 5% de amostras dentro dos padrões exigidos. No panorama geral, de um total de 489 amostras analisadas das 19 estações durante os 30 meses referentes ao estudo, somente 104 apresentaram valores adequados, representando 21% do total.

Foi observado que em algumas situações a DQO de saída era maior que a DQO entrada. Esse fato pode indicar que o reator está perdendo biomassa devido a problemas operacionais. Esse fenômeno reduz a capacidade de estabilização de matéria

orgânica e pode ocorrer por valores de carga orgânica volumétrica muito elevados. A eficiência nesses casos foi considerada nula, tendo em vista que não existe eficiência negativa.

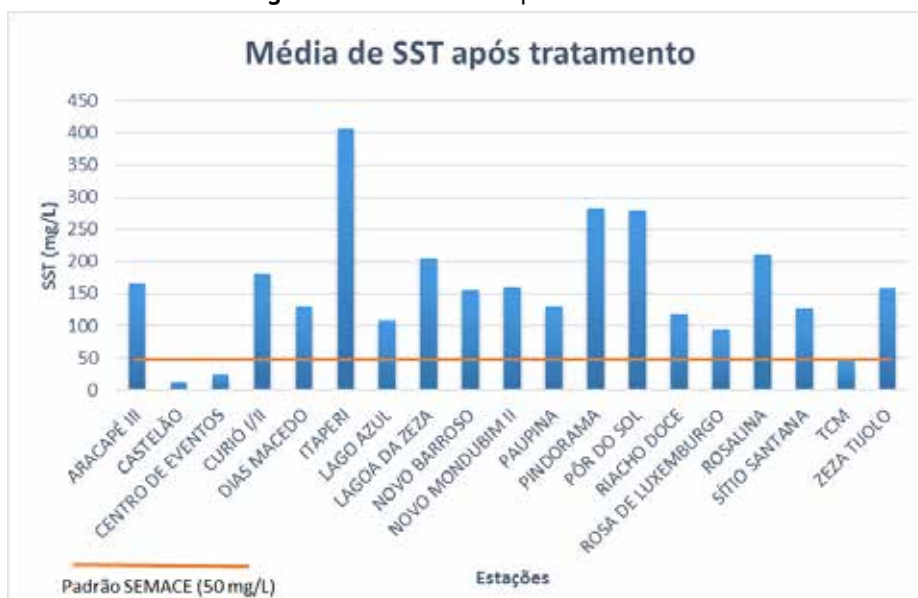
Segundo Campos (1999), reatores UASB apresentam remoção de DQO entre 65% a 75%. Foi observado que as estações Centro de Eventos, Rosa de Luxemburgo e Castelão apresentaram remoção de DQO maior que a esperada. As demais estações não atingiram a eficiência de remoção esperada, sendo a pior situação a da estação Lagoa da Zeza, com eficiência de remoção de menos de 5%. A figura 3 apresenta uma comparação da eficiência média de remoção de DQO com os valores citados por Campos (1999).

Figura 3 – Comparação da eficiência de remoção de DQO observada com a literatura.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Em relação aos sólidos suspensos totais, foi feita uma estimativa para valores de entrada de acordo com valores usuais encontrados na literatura a partir dos dados de entrada de DQO. Segundo Von Sperling (2005), estima-se que 35% da DQO total corresponda à DQO suspensa. Estima-se

também que essa DQO suspensa corresponda a 150% de sólidos suspensos voláteis, que por sua vez correspondem a 80% dos SST. Portanto, compilando todas essas estimativas em uma só, pode-se estimar que os SST correspondem a 29,1% da DQO total.

Figura 4 – Média de SST após tratamento.

Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

A figura 4 apresenta as médias de SST após o tratamento para cada estação e traça um comparativo com o padrão exigido pela Semace. Foi observado que somente as estações Castelhão, Centro de Eventos e TCM apresentaram valores médios de SST menores que o exigido pela legislação estadual. Por outro lado, a pior situação foi a da estação Itaperi, com valores maiores que 400 mg/L, oito vezes a mais do que o valor permitido. As estações Pindorama, Pôr do Sol, Rosalina e Lagoa da Zeza apresentaram valores médios quatro vezes acima do permitido. Esses valores elevados de SST podem ser explicados por falhas no descarte de lodo no reator para os leitos de secagem.

Em relação às amostras estudadas, somente 55 estavam dentro dos padrões, de um total de 487 amostras analisadas, representando somente 11% do total. Somente as estações Centro de Eventos, Castelhão e TCM apresentaram mais de 60% das amostras dentro dos padrões. Entretanto, 15 das 19 estações apresentaram menos de 10% das amostras dentro dos padrões, sendo que

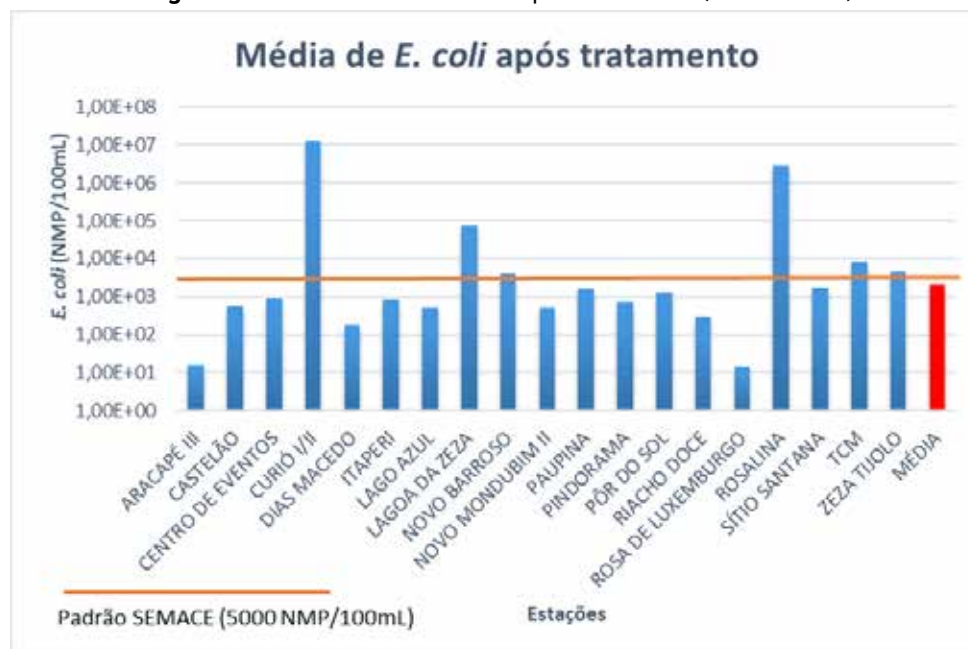
9 destas não apresentaram nenhuma amostra adequada nos 30 meses estudados.

Foi observado que, a partir das estimativas feitas, as estações Itaperi, Lagoa da Zeza e Pôr do Sol apresentaram eficiências de remoção nulas.

Para o parâmetro pH não foi observado nenhuma amostra fora dos padrões estabelecidos pela Semace (valores entre 5,0 e 9,0). O pH médio foi de 7,11. O valor mínimo de pH observado foi de 5,86, na estação Rosa de Luxemburgo e o valor máximo observado foi de 8,50 na estação Curió I/II.

Em relação ao parâmetro *E. coli*, a figura 5 apresenta os valores médios após tratamento. Percebe-se que, embora não se tenha dados de entrada, a remoção está adequada para a maioria das estações, com exceção das ETEs Curió I/II, Lagoa da Zeza, Rosalina e TCM que apresentaram valores acima do padrão da Semace de 5000 NMP/100 mL. As melhores situações se encontram nas estações Aracapé III e Rosa de Luxemburgo, onde a média de *E. coli* é de 158 e 151 NMP/100 mL, respectivamente.

Figura 5 – Valores médios de *E. coli* após tratamento (NMP/100 mL).



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

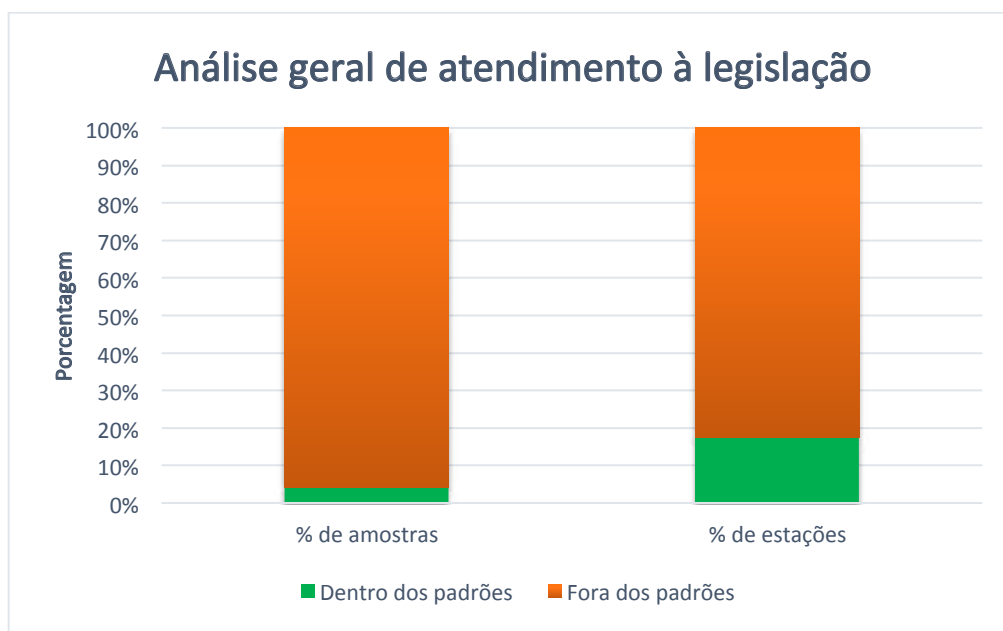
Foi observado que as estações Aracapé III, Castellão e Rosa de Luxemburgo apresentaram amostras adequadas em mais de 80% das vezes. Por outro lado, a estação Curió I/II não apresentou amostras dentro dos padrões no período de estudo. Segundo Chernicharo (2007), reatores anaeróbios apresentam baixas eficiências de remoção de coliformes fecais, usualmente na ordem de apenas uma unidade logarítmica. Entretanto, por não dispormos de dados de *E. coli* para o esgoto bruto, não foi possível fazer uma análise da eficiência destas estações.

Fazendo um panorama geral do tratamento realizados nas ETEs, foi contabilizado que somente em 24 meses uma estação conseguiu atingir os padrões exigidos dos quatro parâmetros estudados

(DQO, SST, pH e *E. coli*), de um total de 544 amostras estudadas. Isto significa que somente 4,4% das análises realizadas entre janeiro de 2013 a junho de 2015 estavam adequadas para todos esses quatro parâmetros.

Realizando uma distinção por estação, foi observado que somente quatro estações (Centro de Eventos, Lago Azul, Rosa de Luxemburgo e TCM) apresentaram amostras adequadas dos quatro parâmetros simultaneamente em um mês, indicando que 21% das estações apresentaram amostras adequadas dos quatro parâmetros simultaneamente dentro do período do estudo. A figura 6 apresenta este panorama geral para as estações de tratamento.

Figura 6 – Análise geral de atendimento à legislação.



Fonte: Elaborado pelo autor (2016).

Estes números indicam que o tratamento realizado não está sendo eficiente para atingir os níveis desejados.

Percebe-se, por exemplo, que a eficiência de remoção de DQO está coerente com a literatura na maioria das estações. Entretanto, os valores

de DQO no esgoto bruto são bastante elevados, fazendo com que mesmo com remoções da ordem de 70% não sejam suficientes para atingir o padrão exigido de 200 mg/L. Esse fato indica que o modelo reator UASB + cloração, utilizado na grande maioria das estações estudadas, não

é suficiente para atingir o nível desejado, sendo necessária a adição de unidades de tratamento.

É importante ressaltar que valores muito elevados de parâmetros como DQO e SST poderiam ser evitados com uma melhor operação da estação. Valores elevados de DQO e SST no esgoto tratado podem indicar problemas no descarte de lodo para os leitos de secagens ou de altas cargas hidráulicas aplicadas no reator.

5 CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Em relação ao tratamento de esgotos em ETEs com reatores UASB, este trabalho pôde mostrar algumas deficiências tanto na operação como na manutenção desses equipamentos. Observou-se que mais de 95% das amostras estudadas encontravam-se fora dos padrões de lançamento de efluentes exigidos pela legislação vigente. Esse é um número bastante elevado, o que evidencia que a qualidade ambiental dos corpos receptores destes efluentes está sendo comprometida.

Também pode-se destacar que algumas das estações analisadas não conseguiram apresentar nenhuma amostra dentro dos padrões, eventualmente até apresentando dados de saída para parâmetros como DQO maior que os de entrada, evidenciando que o tratamento não estaria sendo realizado de forma adequada.

Observou-se também que a grande maioria das amostras dentro dos níveis desejados pertenciam às estações Centro de Eventos, TCM e Castelão. Essas estações operam com baixas vazões de esgoto, já que atendem somente locais que realizam eventos periodicamente (sem contribuições de esgoto durante a maior parte do tempo) ou com uma pequena população contribuinte (somente funcionários, visitantes etc.). As demais estações, que atendem bairros de Fortaleza (recebendo contribuições de esgoto durante todo o dia), não apresentaram dados satisfatórios para praticamente nenhum parâmetro analisado.

A ausência de valores de vazão impossibilitou traçar um paralelo com problemas de tratamento decorrentes da vazão. Após a apresentação dos dados citados, espera-se que os mesmos possam ser úteis para os gestores como auxílio na tomada de decisões.

Por fim, segue as principais recomendações:

- Realizar testes para os principais parâmetros (SST, pH, *E. coli*) na entrada do efluente na estação, mesmo que em menor frequência;
- Criar uma equipe técnica para analisar e propor soluções caso a caso para cada estação com problemas crônicos no tratamento;
- Instalação de medidores de vazão digitais;
- Realizar cursos de reciclagem para os operadores;
- Analisar a possibilidade de instalação de unidades de pós-tratamento.

6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ACFOR – Autarquia de Regulação, Fiscalização e Controle de Serviços Públicos de Saneamento Ambiental de Fortaleza. **Lista de endereços de ETEs da Cagece**. Documento Eletrônico. Fortaleza, 2015.

CAMPOS, J. R. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: ABES, 1999.

CEARÁ, Superintendência Estadual do Meio Ambiente. **Portaria nº 154 de 22 de julho de 2002**. Dispõe sobre padrões e condições para lançamento de efluentes líquidos gerados por fontes poluidoras. Publicada no Diário Oficial do Estado em 1 de outubro de 2002.

CHERNICHARO, C. A. D. L. **Reatores Anaeróbios**. 2ª. ed. Belo Horizonte: Editora UFMG, 2007.

FIGUEIRÊDO, M. C. B. et al. Avaliação da Vulnerabilidade Ambiental de Reservatórios à Eutrofização. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, v. 12, p. 399-499, 2007.

FORTALEZA. **Plano Municipal de Saneamento Básico do Município de Fortaleza**. Fortaleza, 2014.

MAHMOOD, A. **CO₂ capture and bioconversion to biogas in an Anaerobic System using an UASB reator**. Montreal: Dissertação (Mestrado) – Concordia University, 2004.

VON SPERLING, M. **Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos**. 4ª. ed. Belo Horizonte: UFMG, 2005.