

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA

**Tratamento Descentralizado de Efluente Sanitário utilizando
Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio**

ALUNA: BARBARA PERINI

ORIENTADOR: PROF. Dr. GUSTAVO HENRIQUE RIBEIRO DA SILVA

**Bauru
2017**

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA JÚLIO DE MESQUITA FILHO
DEPARTAMENTO DE QUÍMICA
CURSO LICENCIATURA EM QUÍMICA

BARBARA PERINI

Tratamento Descentralizado de Efluente Sanitário utilizando Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de graduação em Licenciatura em Química da Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho de Bauru como requisito das exigências para a obtenção do título de Licenciado em Química.

Orientador: Prof. Dr. Gustavo Henrique Ribeiro da Silva.

**Bauru
2017**

Perini, Barbara.

Tratamento descentralizado de efluente
sanitário utilizando reator compartimentado
anaeróbico/aeróbico / Barbara Perini, 2017
44 f. : il.

Orientador: Gustavo Henrique Ribeiro da Silva

Monografia (Graduação)-Universidade Estadual
Paulista. Faculdade de Ciências, Bauru, 2017

1. Reator compartimentado. 2. Desempenho. 3.
Tratamento descentralizado. I. Universidade
Estadual Paulista. Faculdade de Ciências. II.
Título.

PERINI, Barbara. *Tratamento descentralizado de efluente sanitário utilizando reator compartimentado anaeróbio/aeróbio*. 2017. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Licenciatura em Química). Faculdade de Ciências de Bauru. Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2017.

RESUMO

O mau uso, a poluição e o desperdício dos recursos hídricos no mundo são aspectos importantes a serem avaliados. A carência de condições apropriadas de saneamento básico e de tratamento de esgoto, podem causar degradação de corpos d'água e colaborar para a proliferação de várias doenças. Para a proteção da saúde pública, é importante o tratamento de esgoto adequado. Assim para sistemas de tratamento de esgoto doméstico, uma alternativa viável e econômica são os reatores compartimentados anaeróbio/aeróbio, que removem a matéria orgânica, além de que a menor necessidade de oxigênio na câmara aeróbia, reduz o gasto com energia elétrica. Desse modo, o presente trabalho teve como objetivo avaliar o desempenho e o comportamento do reator compartimentado anaeróbio/aeróbio, para tratar esgoto sanitário de baixa carga orgânica, operando em diferentes TDHs (16,5 e 8,25 horas). O desempenho do reator foi avaliado por meio de análises físico-químicas das amostras coletadas. Foram monitorados os parâmetros pH, temperatura, ácidos voláteis, alcalinidade, oxigênio dissolvido, DQO, DBO, sólidos em suspensão, turbidez, cor verdadeira, coliformes totais e fecais.

Os resultados demonstraram uma eficiência média de remoção de Demanda Química de Oxigênio de 78%, Demanda Bioquímica de Oxigênio de 71% e Sólidos em Suspensão Totais de 81%.

Palavras - chave: Reator compartimentado, desempenho, tratamento descentralizado.

PERINI, Barbara. Decentralized treatment of sanitary effluent using anaerobic / aerobic compartmentalized reactor. 2017. Undergraduate thesis (Undergraduate Degree in Chemistry). Faculty of Sciences of Bauru. Paulista State University "Júlio de Mesquita Filho". 2017.

ABSTRACT

Pollution, waste and misuse of water resources in the world are important aspects to be evaluated. The lack of adequate sewage treatment and sanitation conditions may contribute to the proliferation of numerous diseases and cause degradation of water bodies. The proper disposal of sewage and its treatment, is essential for the protection of public health. An economically and technically feasible alternative to treatment of domestic sewage systems is the use of baffled reactors anaerobic/aerobic, because it promotes the removal of organic matter, the reduced need for oxygen in the aerobic chamber, reduces spending on electricity. According to exposed scenario, the present study aimed to evaluate of anaerobic baffled reactor / aerobic to treat of sanitary sewage of low organic load, operating in different TDHs (16.5 and 8.25 hours). The performance of the reactor was evaluated by physical-chemical analysis of the collected samples. The parameters pH, temperature, volatile acids, alkalinity, dissolved oxygen, COD, BOD, suspended solids, turbidity, true color, total and fecal coliforms were monitored.

The results showed an average efficiency of removal of Chemical Oxygen Demand of 78%, Biochemical Oxygen Demand of 71% and Total Suspended Solids of 81%.

Key words: Compartmentalized reactor, performance, decentralized treatment.

Dedico este trabalho aos meus queridos pais Antônio (in memoriam) e Vânia, ao meu irmão Bruno, ao meu noivo Guilherme e aos meus amigos Martin, Julliana, Mônica e Patrícia.

“Para Deus nada é impossível” (Lucas 1:37)

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	07
2 OBJETIVOS.....	08
2.1 Objetivo Geral.....	08
2.2 Objetivos específicos.....	08
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	08
3.1 Esgoto de baixa carga orgânica.....	08
3.2 Processo de tratamento: anaeróbio.....	09
3.3 Processo de tratamento: aeróbio.....	10
3.4 Processo de tratamento combinado: anaeróbio e aeróbio.....	11
4 MATERIAIS E MÉTODOS.....	12
4.1 Estação de tratamento de esgoto da UNESP-Bauru.....	12
4.2 Funcionamento do Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio.....	23
4.3 Descrição do Método de coleta para as análises.....	24
4.4 Análises físico-químicas.....	25
5 RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	26
5.1 Monitoramento: Análises físico-químicas.....	26
5.1.1 <i>Fatores ambientais que acabam influenciando a atividade microbiana: Temperatura, pH, Ácidos voláteis, Alcalinidade e Oxigênio dissolvido.....</i>	26
5.1.2 <i>Demanda química de oxigênio: DQO.....</i>	30
5.1.3 <i>Demanda bioquímica de oxigênio: DBO.....</i>	32
5.1.4 <i>Sólidos em suspensão (SS).....</i>	33
5.1.5 <i>Variáveis relacionadas ao aspecto visual do efluente: Cor verdadeira e Turbidez.....</i>	36
5.2 Coliformes Totais e Fecais.....	37
5.3 Reúso.....	39
6 CONCLUSÃO.....	40
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	41

1 INTRODUÇÃO

Devido a problemas pela falta de água e por existir ainda regiões que não tem acesso à água de qualidade, essa se torna cada vez mais um preciosíssimo bem (LEGNER, 2015). Assim o Brasil tem que adotar medidas para continuar disponível a sua água doce. (RUBIM, 2017).

Segundo a Fundação SOS Mata Atlântica (2017) que avaliou 240 pontos através do Índice de Qualidade da Água (IQA) que utiliza parâmetros químicos, físicos e biológicos para saber a qualidade da água de lagos, córregos e rios; 6 pontos (2,5%) tiveram qualidade boa; 168 pontos (70%) encontram-se em situação regular e 66 pontos (27,5%) tiveram qualidade ruim ou péssima (inadequados para o uso humano). Onde nenhum ponto teve resultado ótimo.

Segundo Raikes (2017), a carência de acesso a água de qualidade e de saneamento básico, pode prejudicar a estatura, o desenvolvimento cognitivo e a absorção de nutrientes no ser humano.

Devido à falta de área e pelas estações convencionais ocuparem grande espaço, é vantajoso usar sistemas com dimensões menores, como os descentralizados. Estão dentro desses sistemas descentralizados de tratamento de águas residuárias, os sistemas instalados em órgãos privados ou públicos e em pequenos bairros ou comunidades, segundo a Agência de Proteção Ambiental dos Estados Unidos (USEPA) (2005).

Desse modo, propõe-se utilizar um reator compartimentado para o tratamento de efluente sanitário, para tratar esgoto em pequenas unidades, devido ao seu baixo custo operacional e construtivo, além de não precisar de áreas grandes, para a sua construção.

Como também, devido a junção dos processos anaeróbio e aeróbio, tem-se como resultado, um efluente de melhor qualidade.

Na presente pesquisa, utilizando um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio, avaliou-se o tratamento de efluente sanitário de baixa carga orgânica.

2 OBJETIVOS

2.1 Objetivo geral

O objetivo dessa pesquisa foi analisar o tratamento de esgoto sanitário de baixa carga orgânica utilizando um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio (RCAA).

2.2 Objetivos específicos

1. Avaliar a operação do reator através de análises físico-químicas dos efluentes coletados ao longo da pesquisa.
2. Avaliar o funcionamento do reator que atuou em TDHs diferentes.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A revisão tem o objetivo de enfatizar conceitos, características importantes para o entendimento do trabalho realizado. Abordando os processos de tratamento anaeróbios e aeróbios.

3.1 Esgoto de baixa carga orgânica

O esgoto é dividido em categorias, conforme sua fonte geradora, composição e concentrações de diferentes poluentes.

O esgoto proveniente de lavatórios e banheiros é normalmente bem diluído, por conta da quantidade de água utilizada nos banhos, na pia e descargas. Esse esgoto doméstico pode conter produtos de lavagem dos pisos e sanitários, como matéria orgânica e coliformes fecais. É importante salientar que há bastante variação na concentração de sólidos e de matéria orgânica, por causa do cotidiano das pessoas, da quantidade de produtos que utilizam para lavar o banheiro, como da quantidade de uso desses banheiros e sanitários.

Sendo assim é importante saber a caracterização do esgoto para escolher o sistema de tratamento mais adequado ao efluente, como também para analisar o funcionamento desse sistema e para adotar outro sistema de tratamento caso precise.

Segundo Metcalf & Eddy (2003), conforme a concentração dos constituintes físico-químicos do esgoto sanitário, esse pode ser classificado como esgoto de concentração alta, média e baixa (Tabela 3.1).

Tabela 3.1 Características do esgoto sanitário

Variáveis	Forte	Médio	Fraco
DBO (mg.L ⁻¹)	350	190	110
DQO (mg.L ⁻¹)	1000	500	250
Sólidos em suspensão totais (SST) (mg.L ⁻¹)	350	220	100
Sólidos em suspensão fixos (SSF) (mg.L ⁻¹)	75	55	20
Sólidos em suspensão voláteis (SSV) (mg.L ⁻¹)	275	165	80

Fonte: Adaptada de Metcalf & Eddy (2003).

O esgoto utilizado na alimentação do reator na pesquisa é considerado fraco, (Tabela 4.4) portanto precisa de tratamento antes de seu despejo.

3.2 Processo de tratamento: anaeróbio

O processo de digestão anaeróbia é realizado pela ação de microrganismos, onde ocorre a transformação da matéria orgânica, na ausência de oxigênio livre, eliminando no final compostos inorgânicos: dióxido de carbono, fosfatos, amônia e sulfetos.

As bactérias realizam várias reações bioquímicas nesse processo, onde determinadas delas atuam em específicas etapas subsequentes, como a hidrólise, acidogênese, acetogênese e metanogênese (VAN HAANDEL & LETTINGA, 1994).

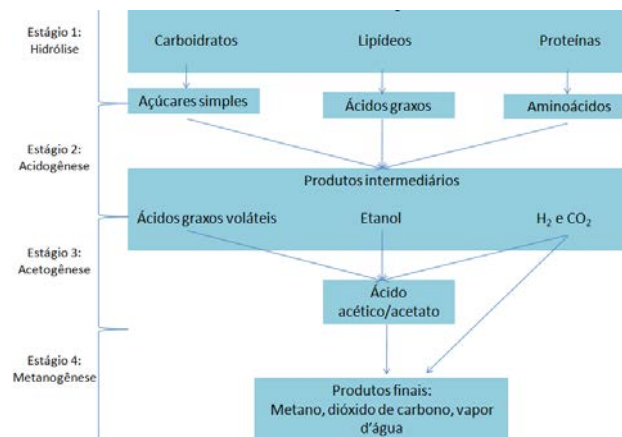
Na fase da hidrólise, as bactérias hidrolisam carboidratos, proteínas e lipídeos, em moléculas menores: açúcares solúveis, aminoácidos e ácidos graxos de cadeia longa, respectivamente. Assim na acidogênese, os produtos da hidrólise são transformados em compostos simples como hidrogênio e gás carbônico, como também em alcoóis e ácidos graxos voláteis, como por exemplo o butírico, o propiônico e o acético, realizado pelas bactérias anaeróbias limitadas a substâncias mais simples. Posteriormente, na fase da acetogênese, os ácidos graxos voláteis são convertidos a compostos formadores de metano, como acetato e ácido acético.

Por último ocorre a última fase, a metanogênese, quando há a formação de metano a partir da redução do dióxido de carbono e do ácido acético (Figura 3.1).

Segundo Van Haandel & Lettinga (1994) é importante que vários parâmetros, condições estejam em equilíbrio, como a temperatura, toxicidade, o pH, nutrientes, alcalinidade e concentração de ácidos voláteis, onde esta última interfere na seleção dos microrganismos e nas suas taxas de crescimento e morte.

Quando as condições ambientais encontram-se estabilizadas, é favorável, a população é suficiente, há harmonia no trabalho dos microrganismos e não há acúmulos de ácidos, onde-se mantém o pH em “níveis” favoráveis.

Figura 3.1 Digestão anaeróbia na degradação de matéria orgânica em esgoto doméstico.



Fonte: Adaptada de Khanal (2008).

A digestão da matéria orgânica pelo processo anaeróbio tem muitas vantagens, como: menor consumo de energia, estabilidade, economia na utilização de área, redução de custos por conta do tratamento e baixa produção de lodo. No entanto, a partida desse processo é lenta.

3.3 Processo de tratamento: aeróbio

Na presença de oxigênio dissolvido, várias bactérias estabilizam a matéria orgânica biodegradável, classificando-se como processo aeróbio. Os produtos finais são lodo (biomassa) e dióxido de carbono.

É necessário nesse processo, o oxigênio dissolvido para que aconteça a digestão. Sendo assim pode-se utilizar aeração na forma artificial ou natural. A aeração natural exige grandes extensões de área.

Na aeração artificial necessita da injeção de oxigênio puro ou de ar diretamente na massa líquida, utilizando compressores ou injetores de ar. Sendo assim, consegue-se utilizar sistemas de tratamento compactos, devido à aeração artificial não depender da superfície de contato do ar com o líquido, o que é uma grande vantagem, não necessitando de grandes áreas. Contudo pode-se considerar desvantajoso o custo com a energia elétrica.

Como na pesquisa a câmara aeróbia do RCAA operou com um sistema similar ao de lodos ativados, a seguir descreve-se os processos envolvidos no tratamento de esgoto sanitário através de lodos ativados.

Em lodos ativados, a degradação da matéria orgânica é realizada pelos microrganismos aeróbios, que utilizam como alimento os compostos complexos presentes no esgoto que se convertem em compostos mais simples.

Por conta da grande produção de lodo que ocorre no sistema de lodos ativados, é importante a presença de um decantador secundário, onde ocorre a sedimentação da biomassa, tendo assim como resultado um efluente clarificado. Uma fração desse lodo sedimentado também pode ser recirculado para o tanque de aeração, por no lodo ter na sua maior parte, microrganismos ainda ativos.

3.4 Processo de tratamento combinado: anaeróbio e aeróbio

Existe pouca disponibilidade de solo e de área nas cidades grandes, para estações de tratamento que suportam grandes volumes. Por isso, novas tecnologias descentralizadas estão sendo empregadas em projetos de tratamento de esgoto doméstico, como em pequenos empreendimentos, comunidades rurais e urbanas, condomínios, escolas. Uma opção, para o tratamento descentralizado, que não precisa de grandes áreas e tem um custo baixo é o reator compartimentado.

O reator compartimentado possui algumas vantagens, apresentando: menores custos de implantação e consumo de energia, construção fácil e simples, boa estabilidade por conta da divisão em câmaras e separação das fases da digestão anaeróbia por câmaras e facilidade operacional (SPONZA & DEMIRDEN, 2010; QI et al. 2013).

Um estudo que analisou os gastos de energia do compressor de ar utilizado nessa pesquisa, revelou que este aparelho gera por mês, menos consumo de

energia do que um chuveiro elétrico utilizado por quatro pessoas (SILVA, J. A. et al., 2017).

De modo a otimizar as vantagens e diminuir as desvantagens, emprega-se o sistema combinado anaeróbio-aeróbio. Permitindo uma redução com relação aos custos de operação, menor produção de lodo, uma produção de efluente com uma qualidade melhor, devido à alta remoção de matéria orgânica (CASTILHO et al., 1997; BUSTILLO-LECOMPTE, MEHRVAR & QUINONES-BOLAÑOS, 2013).

Utilizando configurações descentralizadas e compactas e sabendo-se das vantagens de empregar sistemas combinados (anaeróbio/aeróbio), sugere-se o acréscimo de um compartimento aeróbio subsequente aos reatores compartimentados anaeróbios, dando origem ao reator compartimentado anaeróbio/aeróbio (RCAA). Onde cada câmara trabalha como sendo um único reator, mesmo que as condições hidráulicas sejam diferentes em cada câmara, por causa de suas dimensões diferentes e volumes, os TDHs são somados.

Segundo Silva (2001) e Silva & Nour (2005), com relação ao tratamento de esgoto, o RCAA mostrou-se eficaz devido a sua eficácia na remoção de sólidos em suspensão e de matéria orgânica.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

4.1 Estação de tratamento de esgoto da UNESP-Bauru

Foi utilizada nessa pesquisa a Estação de Tratamento de Esgoto (ETE) (Figura 4.6) construída na cidade de Bauru/SP, na Universidade Estadual Paulista (UNESP), localizada no Departamento de Educação Física (DEF); visando o tratamento de efluente proveniente desse departamento, da Associação dos Servidores de Bauru (ASSUNEB) e da Moradia estudantil (Figura 4.1). Foi gerado por essas fontes, uma vazão de aproximadamente 10.000 L.d^{-1} , de modo que foi direcionado para a pesquisa, efluentes com vazão específica para cada fase experimental (Tabela 4.3). O remanescente da vazão foi dirigido para um tratamento por sistema de Alagados Construídos, que se encontra no mesmo local.

Figura 4.1 (A) representa a moradia estudantil; (B) a ASSUNEB; (C) o local da ETE e (D) o DEF.



Fonte: Autor.

As etapas de tratamento da ETE são:

- Tratamento preliminar: Composto por um gradeamento que possui 9 barras de ferro, para reter o material grosseiro. O objetivo dessa etapa é proteger as próximas unidades de tratamento. A limpeza da grade era realizada semanalmente, por meio de um rastelo.
- Tratamento primário: Composto por um decantador primário, seguido de um tanque de equalização, onde os dois estão enterrados no solo com as tampas expostas. A finalidade desse sistema é reter sólidos sedimentáveis. O Departamento de Água e Esgoto de Bauru (DAE), realizou a limpeza dos tanques periodicamente, através de bombeamento do lodo. Já o sobrenadante do tanque de equalização era encaminhado para o tratamento secundário, por uma bomba submersível.

Figura 4.2 Visão aérea da ETE da UNESP-Bauru.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Figura 4.3 (A): Gradeamento; (B): Decantador primário e (C) Tanque de equalização.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

- Tratamento secundário possui duas etapas:
 - *Tanque de controle de vazão*: Esse tanque (Figura 4.4) foi instalado para o controle da vazão, onde em seu interior possui um sensor de nível de reservatórios que tem como função acionar a bomba que se encontra dentro do tanque de equalização, bombeando o efluente ao tanque de controle de vazão, onde sua finalidade é evitar que falte o fornecimento ou vazamentos de efluente para o sistema.

Foi realizado manualmente o controle de vazão de alimentação do reator, quatro vezes por semana, na parte da manhã, por um registro e uma tubulação que saem do meio do tanque de controle de vazão (Figura 4.4).

- *Reator Compartimentado Anaeróbio/Aeróbio (RCAA)*: o reator que se encontra na ETE, possui quatro câmaras feitas com tubos de PVC. Onde quatro registros de gaveta foram instalados em cada câmara, ao longo de sua altura, para se coletar amostras (Figura 4.5 e 4.7).

Figura 4.4 Tanque de controle de vazão.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Tabela 4.1 Especificações das câmaras do RCAA

Câmara	Altura (m)	Diâmetro (mm)	Volume (L)	Processo de tratamento
C1	0,90	600	405	Anaeróbio
C2	0,90	300	96	Anaeróbio
C3	0,90	300	96	Anaeróbio
CA	1,70	400	200	Aeróbio

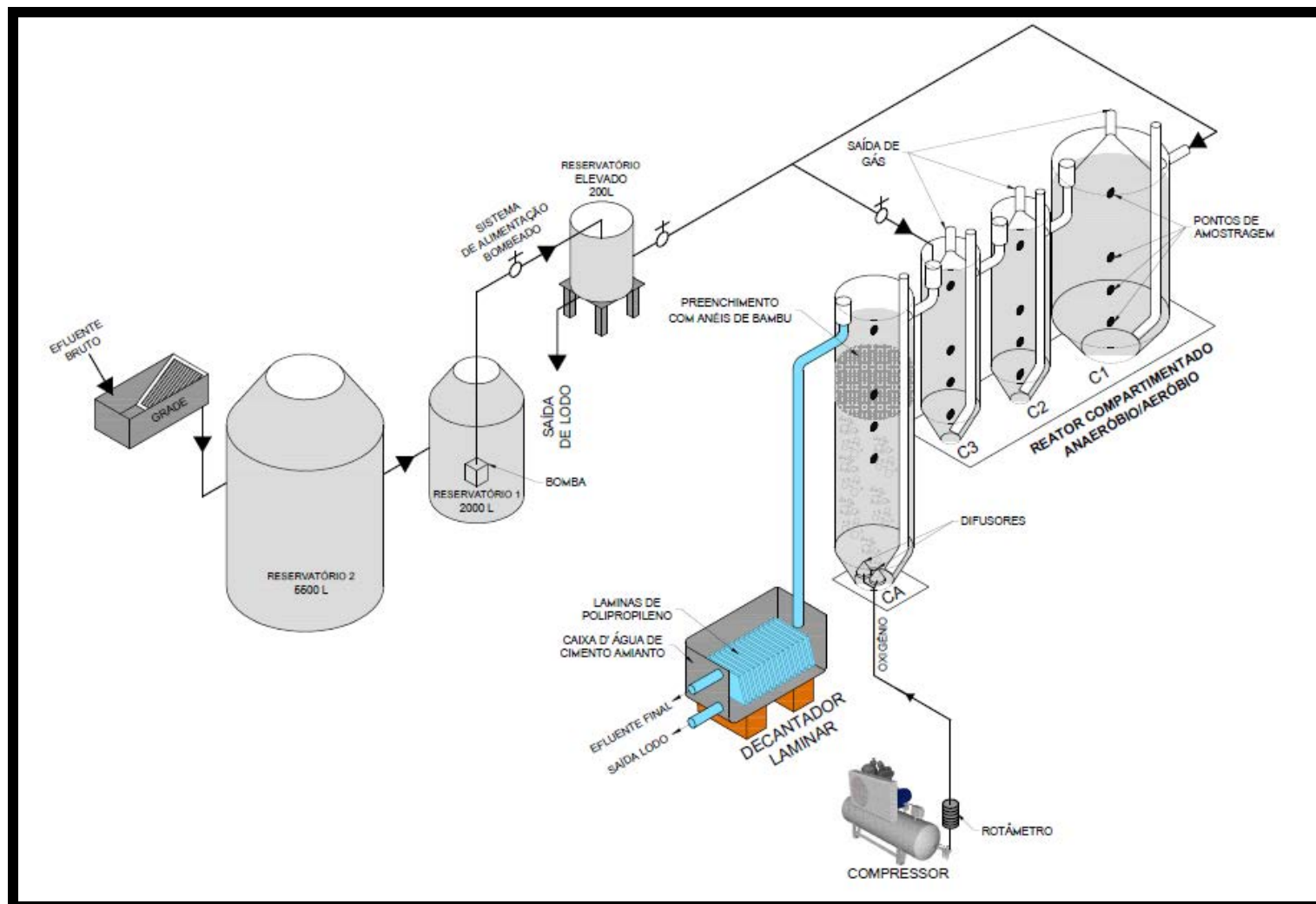
Fonte: Elaborado pelo autor.

Figura 4.5 Vista geral do RCAA.



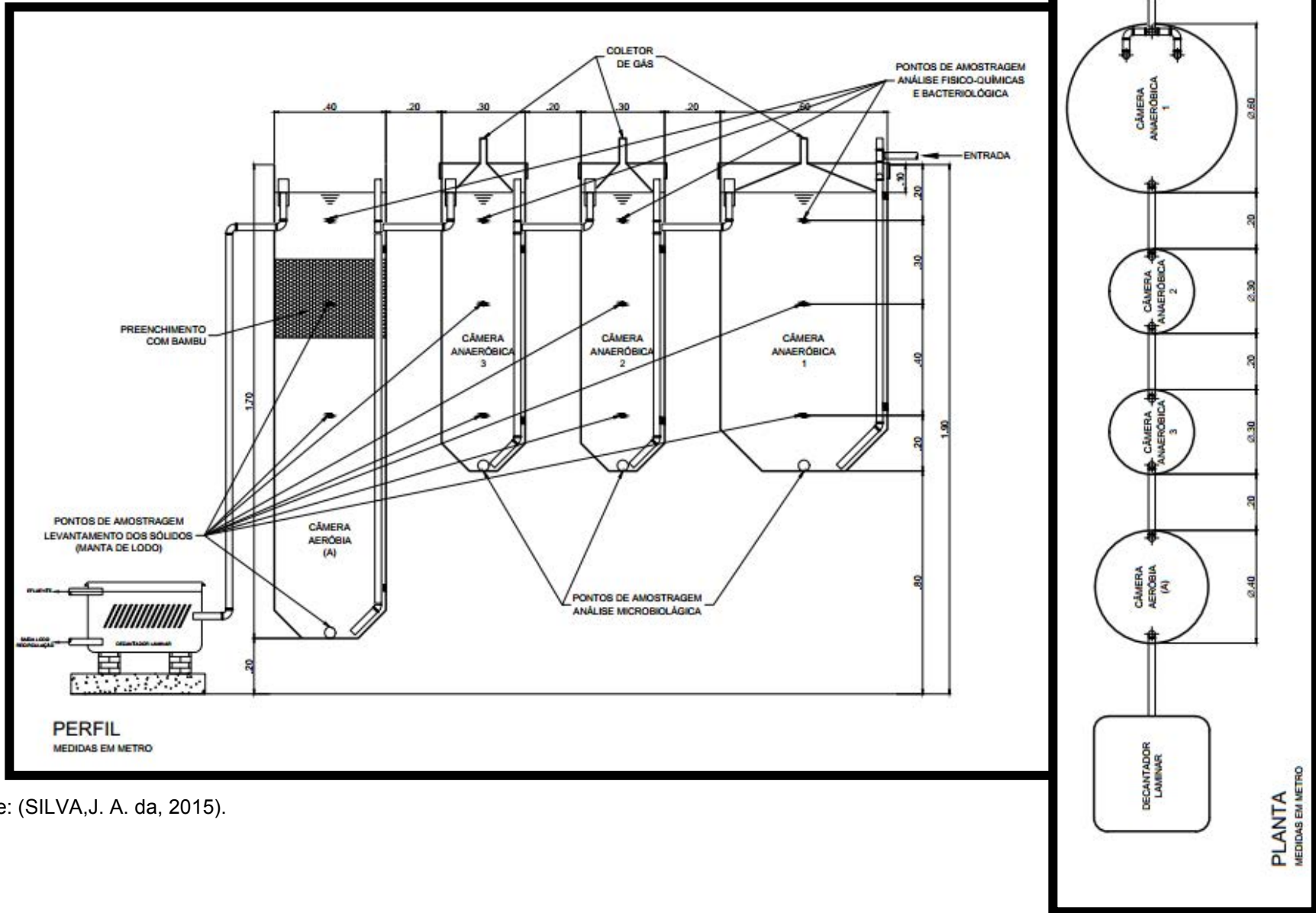
Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Figura 4.6 Esquema isométrico da ETE.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Figura 4.7 Perfil e planta do RCAA.



Fonte: (SILVA,J. A. da, 2015).

Através de um compressor de ar da marca Schulz (Twister bravo, modelo CSL 10/100), realizou-se o provimento de ar para a quarta câmara, sendo distribuído por dois difusores (compostos por plástico microporoso) que estão fixados no fundo da câmara, formando bolhas ascensionais (Figura 4.8).

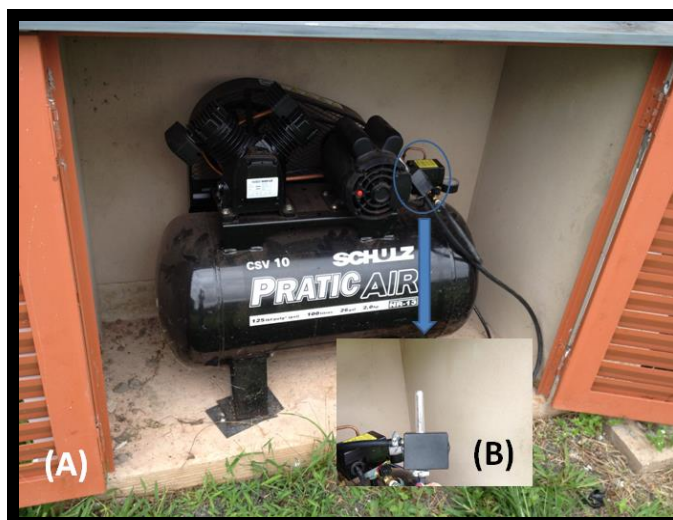
Afim de se regular a vazão, colocou-se um rotâmetro à linha de ar. Onde regulou-se a vazão em $3 \text{ L}\cdot\text{min}^{-1}$ para evitar que as bactérias se desprendessem do biofilme (Figura 4.9).

Figura 4.8 Local dos difusores de ar.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Figura 4.9 (A) Compressor de ar. (B) Rotâmetro.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Para servir como material suporte de crescimento de bactérias, adicionou-se dentro da câmara aeróbia uma camada de anéis de bambu, sustentadas por duas grades de metal fixadas à câmara (Figura 4.8). Utilizou-se o bambu da espécie *Bambusa vulgaris*, que com a ajuda do Prof. Dr. Marco Antônio Pereira, do Departamento de Engenharia Mecânica, da UNESP- Bauru, os bambus foram colhidos, serrados, lavados, seco e lixados no Laboratório de Experimentação com Bambu. Os anéis de bambu dentro da quarta câmara se encontram na Figura 4.10.

Adicionou-se um decantador secundário laminar depois da quarta câmara (câmara aeróbia). Dentro desse decantador, existe 9 lâminas de polipropileno (Figura 4.11). E colocou-se três registros ao final do decantador, um inferior para poder coletar e remover o lodo e dois superiores para a coleta de efluente.

Figura 4.10 Anéis de bambu e suporte de metal que estão dentro da câmara aeróbia.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

Figura 4.11 Lâminas do decantador secundário laminar.



Fonte: (SILVA, J. A. da, 2015).

A seguir, na Tabela 4.2 estão as especificações dos componentes e das unidades da ETE.

Tabela 4.2 Especificações dos componentes e das unidades que compõem a ETE.

Unidades da ETE	Especificações						
	N. de Barras/ Espaçamento/ Inclinação	Largura (cm)	Altura	Diâmetro(m)	Volume (L)	Material	Processo de tratamento
Gradeamento	9/1 cm/60°	18	100 cm	-----	-----	Ferro	Físico/Retenção
Decantador Primário	-----	-----	-----	-----	5.500	Polietileno	Físico/Decantação
Tanque de Equalização	-----	-----	-----	-----	2.000	Polietileno	-----
Tanque para controle de vazão	-----	-----	-----	-----	200	Polietileno	-----
RCAA	C1	-----	0,90 m	0,6	405	PVC	Biológico anaeróbio
	C2	-----	0,90 m	0,3	96	PVC	Biológico anaeróbio
	C3	-----	0,90 m	0,3	96	PVC	Biológico anaeróbio
	CA	-----	1,70 m	0,4	220	PVC	Biológico aeróbio
Decantador secundário Laminar	-----	-----	-----	-----	80	Fibrocimento	Físico/Decantação
Lâminas do decantador	9/5 cm/ 60°	20	30 cm	-----	-----	Polipropileno	Físico/Decantação

Fonte: (SILVA,J. A. da, 2015).

4.2 Funcionamento do Reator Compartimentado anaeróbio/aeróbio

O início da operação do reator foi realizado pela mestrandia Julliana Alves da Silva, (que participou da Fase 1 (8 semanas) e Fase 2 (7 semanas), totalizando 15 semanas de monitoramento do reator), em seu mestrado intitulado “Nova configuração de um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio para o tratamento de esgoto sanitário de baixa carga”, avaliando a atividade microbiana, tendo início em 2013 e término em 2015. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) - Universidade Estadual Paulista Júlio de Mesquita Filho. Com auxílio do orientador Gustavo Henrique Ribeiro da Silva, em seu Projeto Auxílio Pesquisa FAPESP 2011/10816-2 - Desinfecção de Efluentes Utilizando Cloro, Ozônio, Ozônio/Cloro e Ozônio/Peróxido de Hidrogênio.

O acompanhamento do reator na presente pesquisa foi dividido em 2 Fases (Fase 3 e Fase 4) durante as 14 semanas de estudos (que teve início na 16ª semana e término na 29ª semana), tendo diferentes TDHs e vazões (Tabela 4.3). Controlou-se a vazão manualmente, 4 vezes por semana, com o auxílio de um cronômetro e um béquer ($\text{ml}\cdot\text{min}^{-1}$).

Tabela 4.3 Fases do acompanhamento do RCAA.

Fases	Vazão ($\text{L}\cdot\text{h}^{-1}$)	Duração (semanas)	TDH em cada câmara (horas)				Total
			C1	C2	C3	CA	
F1 (53 dias)	24	8	12	6	6	9	33
F2 (44 dias)	36	7	8	4	4	6	22
F3 (46 dias)	48	7	6	3	3	4,5	16,5
F4 (46 dias)	96	7	3	1,5	1,5	2,25	8,25

Fonte: Elaborado pelo autor.

Devido ao esgoto utilizado na presente pesquisa para a alimentação do RCAA (Tabela 4.4) vir de lavatórios e banheiros públicos, ele apresenta uma baixa carga orgânica (de 0,06 a 0,61 $\text{KgDQO}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$), onde por volta de 2,8 $\text{KgDQO}\cdot\text{m}^3\cdot\text{d}^{-1}$ representa a carga orgânica de esgoto doméstico (Van Haandel & Lettinga 1994).

Tinha-se a idéia de realizar a recirculação de lodo do decantador laminar para a quarta câmara (aeróbia), como acontece em sistemas de lodos ativados convencionais, mas como houve baixa concentração de sólidos acumulados no decantador durante a pesquisa (aproximadamente $6 \text{ mg}\cdot\text{L}^{-1}$), não realizou-se a recirculação.

Existiu dois períodos diferentes durante o funcionamento da ETE; caracterizando-se um pelo período de aulas (Fase 3) e o outro pelo período de greve escolares e férias (Fase 4), assim, houve concentrações variáveis na composição do esgoto nesses dois períodos.

Tabela 4.4 Valores médios e desvios-padrão das principais variáveis físico-químicas do esgoto utilizado na alimentação do RCAA, durante as 14 semanas de acompanhamento.

Variáveis	Fase 3		Fase 4		Esgoto Fraco*
	M ± dp		M ± dp		
Temperatura (°C)	22	2	24	2	----
pH	7,2	0,2	7,3	0,1	----
Alcalinidade (mg.L ⁻¹)	362	29	411	94	----
Ácidos Voláteis (mg.L ⁻¹)	44	13	32	5	---
DQO (mg.L ⁻¹)	306	106	220	41	250
DBO (mg.L ⁻¹)	114	25	69	22	110
SST (mg.L ⁻¹)	71	35	27	14	100
SSV (mg.L ⁻¹)	46	33	24	14	80

Fonte: *Metcalf & Eddy (2003). Obs: M (valor médio) e dp(desvio padrão).

4.3 Descrição do método de coleta para as análises

Para as análises físico-químicas, pela parte da manhã, coletou-se as amostras de forma composta, para uma maior homogeneidade do esgoto, desse modo era coletado 500mL de amostra por hora (como foram 2L, 4 horas de coleta), todas as terças-feiras às sete horas da manhã. A seguir estão os pontos de coleta: Entrada (E); Câmaras 1, 2 e 3 (C1, C2, C3); Câmara aeróbia (CA) e Saída do decantador (SD).

Para os pontos de coleta, utilizou-se os registros superiores de forma a garantir um efluente sem manta de lodo e mais homogêneo. Durante as coletas, se fez o uso de frascos de plástico de 2 L, gelo e isopor, afim de evitar alterações na composição do esgoto. As amostras foram levadas ao Laboratório de Águas Residuárias (LAR), do Departamento de Engenharia Civil e Ambiental (DECA) do DAE e UNESP, de Bauru-SP.

Parte das amostras coletadas semanalmente, foram armazenados em frascos de vidro âmbar, 30 mL, para serem enviados ao Laboratório de Processos Biológicos (LPB), do Departamento de Hidráulica e Saneamento (DHS), da Universidade de São Paulo, Campus de São Carlos, onde se realizou a análise de ácidos voláteis.

4.4 Análises físico-químicas

Submeteu-se a análises físico-químicas, as amostras coletadas semanalmente, seguindo a metodologia descrita por Rice et al. (2012), para pH, DQO, DBO, Turbidez, Cor verdadeira e Série de Sólidos. A metodologia descrita por Ripley et al. (1986), foi utilizada para a análise de Alcalinidade e a metodologia descrita por Adorno et al. (2014) para a determinação de Ácidos Voláteis. Em relação às análises bacteriológicas, utilizou-se a metodologia descrita por Rice et al. (2012), para Coliformes totais e fecais (*E. coli*). Com relação ao Oxigênio Dissolvido, realizou-se análises das amostras recolhidas nos pontos CA e SD. Em relação à DBO, as análises foram feitas nos pontos E, C3 e SD, e por último com relação aos ácidos voláteis, realizou-se análises das amostras dos pontos E, C1, C2, C3 e CA.

Tabela 4.5 Metodologia, equipamentos e referências utilizados nas análises das variáveis avaliadas no acompanhamento do RCAA.

Variáveis	Metodologia/Equipamentos/Referências	Local (**)
Ácidos voláteis (mg.L ⁻¹)	Cromatografia gasosa, com ionização de chama (FID).Adorno et al. (2014)	LPB
Alcalinidade (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)	Titulação potenciométrica com ácido sulfúrico. Ripley et al. (1986)	LAR
(*) Cor verdadeira (Pt.L ⁻¹)	Método 2120 C e espectrofotômetro HACH-DR 2000	LAR
(*) Coliformes totais e fecais (NMP.100.mL ⁻¹)	Método 9221- Sistema Enzimático <i>Colitag</i> ; Estufa de cultura Fanem ORION 502	LAR
(*) Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Método 5210 D – Respiratório	LAR
(*) Demanda Química de Oxigênio (mg.L ⁻¹)	Método 5220 D - Colorimétrico – DR 2500 Hach (Refluxo fechado)	LAR
Oxigênio dissolvido (mg.L ⁻¹)	Medidor de Oxigênio dissolvido portátil SX751-AKSO (0.00 a 40.00 mg L ⁻¹)	LAR
(*) pH	Método 4500-H ⁺ B e pHmetro Orion-210 ^a	LAR
(*) Série de Sólidos em suspensão (mg.L ⁻¹)	Método 2540 D - Gravimétrica-Filtração em membrana (1,2µm)	LAR
Sólidos totais dissolvidos (mg.L ⁻¹)	Filtração em membrana (1,2µm) Eletrodo seletivo Condutivímetro Thermo ORION STAR	LAR
Temperatura (°C)	Leitura direta com termômetro de mercúrio	LAR
(*) Turbidez (NTU)	Método 2130 B - Turbidímetro HACH 2100N	LAR

(*) Metodologias contidas em Rice et al. (2012). (**) LAR=Laboratório de Águas Residuárias-DECA/UNESP; LPB=Laboratório de Processos Biológicos-DHS/USP.

5 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Para facilitar a leitura e o entendimento dos resultados, esses estão nesse capítulo na forma de Tabelas, indicando as fases de operação para as variáveis estudadas e com os valores médios e desvios-padrão.

5.1 Monitoramento: Análises físico-químicas

5.1.1 Fatores ambientais que acabam influenciando a atividade microbiana: Temperatura, pH, Ácidos voláteis, Alcalinidade e Oxigênio dissolvido

Temperatura

Devido ao fato dos microrganismos não terem uma maneira de controlar a própria temperatura, eles dependem da temperatura do meio. Sendo assim, esse fator interfere nas taxas de crescimento e na seleção de espécies nos processos anaeróbios. Dessa forma, a maioria dos reatores anaeróbios são operados na faixa entre 20°C a 45°C (temperaturas mesofílicas) (CHERNICHARO, 2007).

Na presente pesquisa, verificou-se a temperatura do esgoto nos dias em que foram feitas as coletas, com a ajuda de um termômetro de mercúrio (Tabela 5.1).

A partir dos resultados obtidos durante as 14 semanas acompanhando-se o RCAA, registrou-se nos pontos de E, C1, C2, C3 e CA um valor médio de 23°C e no ponto S um valor médio de 24°C. A variação de todos os pontos foi de 20 a 25 °C. Dessa forma, durante as semanas de monitoramento, não teve alterações bruscas na temperatura e essa permaneceu na faixa mesófila, ou seja, uniforme, não comprometendo o desempenho do reator.

Verificou-se a temperatura ambiente, com o auxílio de um termômetro de mercúrio instalado na ETE (Tabela 5.2).

Tabela 5.1 Valores médios e desvios-padrão da Temperatura do efluente.

Temperatura do efluente (°C)						
Pontos de análise	Total (14 semanas)		Fase 3		Fase 4	
	M	± dp	M	± dp	M	± dp
Entrada	23	3	22	2	24	2
Câmara 1	23	3	22	2	24	1
Câmara 2	23	3	22	2	24	2
Câmara 3	23	3	22	1	23	1
Câmara A	23	3	22	2	23	1
Saída	24	3	23	2	24	2

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs.: M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Tabela 5.2 Valores de Temperatura ambiente durante as 14 semanas acompanhando-se o RCAA.

Temperatura ambiente (°C)			
Fase 3		Fase 4	
Semanas	Valor	Semanas	Valor
16	22	23	21
17	23	24	19
18	22	25	25
19	19	26	23
20	20	27	23
21	21	28	22
22	21	29	23

Fonte: Elaborado pelo autor.

pH

O valor do pH (concentração de íons H^+ presentes em uma solução) é importante, porque influencia na atividade microbiana.

Tabela 5.3 Valores médios de pH durante as 14 semanas de acompanhamento.

pH			
Pontos de análise	Total (14 semanas) Média	Fase 3 Média	Fase 4 Média
Entrada	7,3	7,2	7,3
Câmara 1	7,2	7,2	7,2
Câmara 2	7,2	7,1	7,2
Câmara 3	7,2	7,1	7,2
Câmara A	7,4	7,2	7,5
Saída	7,4	7,3	7,5

Fonte: Elaborado pelo autor.

Para o crescimento de bactérias anaeróbias e aeróbias, os valores ideais de pH se encontram na faixa da neutralidade, por serem sensíveis às mudanças de pH. Para o crescimento delas, o pH ideal, ótimo está entre 6,5 e 7,5 segundo Metcalf &

Eddy (2003) .

Durante as 14 semanas de monitoramento, os valores encontrados de pH estiveram: no ponto E entre 6,8 e 7,5; no ponto C1 entre 6,7 e 7,4; no ponto C2 entre 6,8 e 7,4; no ponto C3 entre 7,0 e 7,4 e nos pontos CA e SD entre 7,0 e 7,7. A partir desses resultados, pode-se notar que não atingiu valores considerados prejudiciais em nenhum momento, pois os valores obtidos de pH estiveram aproximadamente dentro da faixa ótima segundo Metcalf & Eddy (2003) para a atividade microbiana. Durante a pesquisa, notou-se que não houve mudanças bruscas de pH, permanecendo estáveis os valores.

É importante salientar, que pelos valores médios de pH nos diferentes pontos de análise, verifica-se uma queda desses valores entre os pontos E, C1 e C2, havendo um aumento depois entre os pontos C3, CA e SD. Devido à separação das fases da digestão anaeróbia nos reatores compartimentados anaeróbios (explicado no item 3.3), na acidogênese ocorrerá a produção de ácidos, no processo de conversão dos compostos e conseqüentemente, é reduzido o valor de pH, e os ácidos posteriormente serão consumidos na metanogênese, aumentando o valor de pH.

Ácidos voláteis (AV)

A concentração de ácidos voláteis é importante para o acompanhamento das atividades bacterianas. E se esses valores estão em equilíbrio, significa um bom funcionamento de um reator anaeróbio (Tabela 5.4).

Segundo a descrição de Sponza & Demirden (2010) e Qi et al. (2013), sobre a separação de fases no decorrer das câmaras anaeróbias, na Tabela 5.4, pode-se observar a produção de ácidos nos pontos C1 e C2 e o consumo dos mesmos no ponto C3.

Tabela 5.4 Valores médios e desvios-padrão de ácidos voláteis durante as 14 semanas de acompanhamento.

Ácidos voláteis (mg HAc.L ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp	
Entrada	44	13	32	5
Câmara 1	76	24	37	2
Câmara 2	57	13	46	8
Câmara 3	40	8	21	3
Câmara A	39	19	20	1

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão)..

A partir dos resultados obtidos, pode se dizer que houve apropriada produção e metabolização dos ácidos, concluindo-se que o sistema estava em equilíbrio. E com relação as concentrações médias de AV, estas encontraram-se baixas, nunca maior que 150 mg.L⁻¹.

Nessa pesquisa, por se utilizar esgoto de baixa carga orgânica, e por ter se mantido estáveis as condições ambientais, sem a possível presença de compostos tóxicos, observou-se assim o equilíbrio entre a produção e o metabolismo, consumo dos ácidos.

Alcalinidade

Segundo CHERNICHARO (2007), com relação a digestão anaeróbia, a alcalinidade é a capacidade de neutralizar os ácidos que foram produzidos durante o processo, e caso ocorra acúmulo de ácidos, agirá como agente tampão do pH. Os resultados apresentados Na Tabela 5.5, os resultados mostram que a Alcalinidade Total está em equilíbrio ao longo das câmaras anaeróbias do reator, não tendo assim acúmulo de ácidos durante todo o monitoramento.

Tabela 5.5 Valores médios e desvios-padrão de Alcalinidade Total durante todo o acompanhamento.

Alcalinidade Total (mgCaCO ₃ .L ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp	
Entrada	362	29	411	94
Câmara 1	365	34	400	50
Câmara 2	360	36	408	43
Câmara 3	373	34	407	47
Câmara A	300	64	383	42
Saída	233	75	372	50

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Oxigênio dissolvido (OD)

Uma das funções do oxigênio dissolvido no tratamento de esgoto é fornecer oxigênio para os microrganismos aeróbios, sendo assim, ele é um fator importantíssimo no processo de digestão aeróbia da matéria orgânica. Nessa pesquisa, as concentrações médias com os desvios-padrão de oxigênio dissolvido no ponto CA, foram na Fase 3: de $4 \pm 1 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$ e na Fase 4: de $3 \pm 0 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$.

Com relação à aeração do efluente, dependendo da concentração de OD, pode-se realizar o seu descarte em um corpo d'água após o tratamento. Na presente pesquisa, a concentração média de OD no ponto SD ficou abaixo de $2,5 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, o que significa que o efluente não pode ser lançado em corpos d'água Classe 1 e Classe 2, por conta dessas classes exigirem que a concentração de OD esteja acima de $4 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$. Agora em relação aos corpos d'água Classe 3, que é exigido que a concentração de OD esteja acima de $2 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, o efluente poderia ser descartado (CONAMA 357, 2005).

Na 22ª semana, onde no ponto SD a concentração de OD foi de $4,7 \text{ mgO}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, o efluente poderia até melhorar a concentração de OD do corpo d'água receptor.

5.1.2 Demanda química de oxigênio: DQO

A quantidade necessária de oxigênio para oxidar a matéria orgânica de uma amostra, utilizando um agente químico, é considerado como Demanda Química de Oxigênio (DQO).

É observado o uso da DQO como prioridade para o controle das eficiências obtidas e das cargas aplicadas, pela possibilidade de ocorrer desvios nos resultados de DBO, por causa de sólidos que podem ser carregados em reatores anaeróbios pela ascensão de bolhas de biogás produzidas. Utiliza-se a DBO nesses casos, como parâmetro secundário, para poder verificar principalmente o atendimento à legislação, pois a do Estado de São Paulo e a legislação federal não contém a DQO (CETESB, 2015).

Pode-se observar que teve variação nas concentrações de DQO, entre as duas fases, pelo fato do afluente vir de lavatórios e de banheiros, onde há variações na concentração de matéria orgânica por conta da diluição do afluente, e também pelo fato da frequência de professores e alunos no local, por causa do período de aulas (Fase 3) e outro de férias (Fase 4), mas o fato não comprometeu o desempenho do reator (Tabela 5.6).

Tabela 5.6 Valores médios e desvios-padrão de DQO durante as 14 semanas de acompanhamento.

DQO (mg.L ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp
Entrada	306	106	220	41
Câmara 1	180	76	181	45
Câmara 2	141	34	144	43
Câmara 3	130	64	114	30
Câmara A	76	31	66	18
Saída	64	40	48	14

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Calculou-se as eficiências de remoção de DQO entre os pontos E e SD, definindo-se como remoção anaeróbia/aeróbia. Também foi definido dessa forma as eficiências de remoções de outras variáveis (Tabela 5.7).

Tabela 5.7 Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de DQO durante as 14 semanas de acompanhamento.

Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de DQO(%)			
Fase 3		Fase 4	
Semanas	Remoção	Semanas	Remoção
16	92	23	82
17	75	24	85
18	83	25	72
19	69	26	71
20	49	27	84
21	91	28	76
22	80	29	77
M±dp	77±15	M±dp	78±6

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

O RCAA mostrou bom desempenho na remoção de DQO anaeróbia/aeróbia, onde atingiu altos valores, tendo uma média na Fase 3 de 77% e na Fase 4 de 78%.

Registrou-se, na vigésima semana, 49% de remoção anaeróbia/aeróbia, mas não teve nenhuma alteração visível nas demais variáveis, de modo que a Temperatura estava por volta de 25°C, o pH por volta de 7,1, a remoção de SST em 87% e a Alcalinidade Total de 360 mg.L⁻¹, não existindo assim relação com a baixa remoção anaeróbia/aeróbia de DQO no período acima. Assim, problemas operacionais, como o controle de vazão que era efetuado manualmente, pode ter relação com tal efeito.

É importante evidenciar também que houve uma melhora na eficiência de remoção anaeróbia/aeróbia de DQO de 92% na 16ª semana e de 91% na 21ª semana, indicando que o reator se encontrava estável.

O RCAA mostrou boa eficiência para a remoção de matéria orgânica (DQO), mesmo utilizando um efluente com baixa carga orgânica para o tratamento.

5.1.3 Demanda bioquímica de oxigênio: DBO

Foram realizadas análises de DBO quinzenalmente nos pontos E, C3 e SD, por motivo de disponibilidade do laboratório.

Tabela 5.8 Valores médios e desvios-padrão de DBO durante as 14 semanas de acompanhamento.

DBO (mg.L ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp
Entrada	114	25	69	22
Câmara 3	44	5	36	5
Saída	24	14	23	6

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

O RCAA mostrou eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de DBO parecido com às eficiências de remoção de DQO, apresentando valores médios de 71% nas 14 semanas de monitoramento.

Notou-se também menor remoção média de DBO na Fase 4, por ser período de férias e ter menos fonte orgânica contribuindo para o esgoto ser tratado (Tabela 5.9).

Tabela 5.9 Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de DBO durante as 14 semanas de acompanhamento.

Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de DBO (%)			
Fase 3		Fase 4	
Semanas	Remoção	Semanas	Remoção
16	---	23	---
17	88	24	---
18	---	25	79
19	72	26	---
20	---	27	72
21	65	28	---
22	92	29	36
M±dp	79±13	M±dp	62±23

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Para a Legislação Federal vigente é permitido o lançamento em corpo d'água de modo geral de efluentes derivados de estações de tratamento de esgoto sanitário, tendo em termos de DBO concentração máxima de 120 mg.L^{-1} , com remoção mínima de 60% (CONAMA 430/2011). Tendo em vista os resultados no ponto de SD de DBO, obteve-se uma concentração média de 24 mg.L^{-1} nas 2 fases, e ainda uma remoção média de 71%. Desse modo, o efluente está dentro da Legislação Federal, podendo estar sendo lançado em corpos d'água. Como também o efluente pode ser lançado em corpos d'água dentro do Estado de São Paulo, pois segundo a Legislação Estadual (Decreto Estadual CETESB n.8468/76), que diz respeito ao lançamento de efluentes tratados em águas costeiras, interiores, subterrâneas ou superficiais dentro do Estado de SP, exige-se um limite máximo de 60 mg.L^{-1} de DBO.

5.1.4 Sólidos em Suspensão (SS)

Nos processos de decantação (decantadores primários e secundários), de digestão da matéria orgânica e de retenção da biomassa (partículas) que se juntam umas as outras gerando flocos sedimentáveis; são removidos os sólidos em suspensão (partículas orgânicas e inorgânicas) em sistemas de tratamento de esgoto (Tabela 5.10).

Tabela 5.10 Valores médios e desvios-padrão de SST durante todo o acompanhamento.

SST (mg.L ⁻¹)						
Pontos de análise	Total (14 semanas)		Fase 3		Fase 4	
	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp	M ± dp
Entrada	49	25	71	35	27	14
Câmara 1	18	9	20	9	16	9
Câmara 2	15	9	16	14	13	4
Câmara 3	10	4	9	2	10	6
Câmara A	6	3	3	1	8	5
Saída	5	4	3	1	6	6

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs.: M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Analisando-se a Tabela 5.11 que contém as eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de SST, pode-se notar a alta remoção na terceira Fase da pesquisa, no entanto na Fase 4 houve queda nas eficiências de remoção nas 25^a, 26^a e 27^a semanas. Sendo que na semana seguinte (28^a) a eficiência de remoção foi retomada com 72%. Sendo que a vazão alta (96 L.h⁻¹) e o menor TDH operado na Fase 4 (8,25 horas), pode ter ocasionado a queda da eficiência de remoção, tendo a possibilidade assim de acarretar arraste de sólidos, já que o sistema não possui mecanismos para ajudar a reter a biomassa (Campos 1994). Contudo, o RCAA estava sendo operado com a mesma vazão e o mesmo TDH nas duas semanas anteriores e não ocorreu nenhuma baixa na eficiência de remoção e ainda apresentaram um valor acima de 80%.

Tabela 5.11 Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de SST durante todo o acompanhamento.

Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de SST (%)			
Fase 3		Fase 4	
Semanas	Remoção	Semanas	Remoção
16	95	23	94
17	96	24	96
18	94	25	59
19	96	26	33
20	97	27	35
21	96	28	72
22	79	29	91
M±dp	93±6	M±dp	69±27

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs.: M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Na Tabela 5.12 encontra-se os valores médios e desvios-padrão de SSF no decorrer das 14 semanas de monitoramento.

Tabela 5.12 Valores médios e desvios-padrão de SSF durante todo o acompanhamento.

SSF (mg.L ⁻¹)						
Pontos de análise	Total (14 semanas)		Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp		M ± dp	
Entrada	14	13	25	25	3	1
Câmara 1	3	3	3	2	3	4
Câmara 2	3	2	2	2	3	2
Câmara 3	2	2	1	1	3	2
Câmara A	2	1	1	1	2	1
Saída	1	2	1	1	2	2

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Na Tabela 5.13 estão os valores médios e desvios-padrão de SSV ao longo das 14 semanas de monitoramento.

Tabela 5.13 Valores médios e desvios-padrão de SSV durante todo o acompanhamento.

SSV (mg.L ⁻¹)						
Pontos de análise	Total (14 semanas)		Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp		M ± dp	
Entrada	34	24	46	33	24	14
Câmara 1	14	8	17	8	12	8
Câmara 2	12	10	13	15	10	5
Câmara 3	8	4	8	3	7	5
Câmara A	5	3	2	2	7	4
Saída	3	3	2	1	4	5

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Com relação às eficiências de remoções anaeróbicas/aeróbicas de SSV e SSF, essas obtiveram um comportamento semelhante ao alcançado nas remoções de SST. Apenas na Fase 4, ocorreu uma queda na eficiência de remoção de SSF e SSV durante as semanas 25, 26 e 27, devido às baixas eficiências de remoção de SST (Tabelas 5.14 e 5.15).

Tabela 5.14 Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de SSF durante todo o acompanhamento.

Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de SSF (%)			
Fase 3		Fase 4	
Semanas	Remoção	Semanas	Remoção
16	99	23	53
17	95	24	59
18	90	25	69
19	70	26	0
20	98	27	0
21	94	28	69
22	78	29	97
M±dp	89±11	M±dp	50±37

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Tabela 5.15 Eficiências de remoção anaeróbia/aeróbia de SSV durante todo o acompanhamento.

Eficiência de remoção anaeróbia/aeróbia de SSV (%)			
Fase 3		Fase 4	
Semanas	Remoção	Semanas	Remoção
16	66	23	97
17	98	24	98
18	95	25	57
19	98	26	55
20	96	27	92
21	97	28	72
22	80	29	90
M±dp	90±12	M±dp	80±19

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. : M (valor médio) e dp (desvio padrão).

5.1.5 Variáveis relacionadas ao aspecto visual do efluente: Cor Verdadeira e Turbidez

A Turbidez e a Cor verdadeira, estão relacionadas à “aparência” da água, não retratando notadamente a qualidade do efluente. E as duas variáveis relacionam-se com a qualidade e à presença dos sólidos e compostos orgânicos no esgoto, tendo alto valores nesse.

Tabela 5.16 Valores médios e desvios-padrão de Cor verdadeira durante as 14 semanas de acompanhamento.

Cor verdadeira (Pt.L ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp	
Entrada	322	99	462	121
Câmara 1	289	109	393	106
Câmara 2	277	123	321	78
Câmara 3	247	101	316	79
Câmara A	94	17	155	28
Saída	89	26	142	34

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs. M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Tabela 5.17 Valores médios e desvios-padrão de Turbidez durante as 14 semanas de acompanhamento.

Turbidez (NTU)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp	
Entrada	61	22	70	32
Câmara 1	44	22	65	16
Câmara 2	40	23	62	18
Câmara 3	34	18	61	18
Câmara A	3	1	13	7
Saída	2	1	7	4

Fonte: Elaborado pelo autor. Obs.: M (valor médio) e dp (desvio padrão).

Através dos cálculos de eficiência de remoção, teve-se uma de eficiência de remoção de Cor Verdadeira: na Fase 3 de 72% e na Fase 4 de 69%.

Com relação à Turbidez, através dos cálculos de eficiência de remoção, na Fase 3 obteve um valor de 97% e na Fase 4 de 90%, valores esses considerados altos.

Desse modo, as eficiências de remoção alta de Turbidez e Cor verdadeira, pode estar relacionado com os Sólidos em Suspensão e compostos orgânicos.

5.2 Coliformes Totais e Fecais.

As análises de Coliformes Totais e Fecais foram realizadas nos pontos E e SD, tendo-se como objetivo saber os valores de saída e de entrada (Tabelas 5.18 e 5.19).

Tabela 5.18 Valores médios e desvios-padrão de Coliformes Totais durante as 14 semanas de acompanhamento.

Coliformes Totais (NMP.100 ml ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp	
Entrada	2,5 x10 ⁶	3,2 x10 ⁶	3,2 x10 ⁶	3,5 x10 ⁶
Saída	1,1 x10 ⁵	1,2 x10 ⁵	3,2 x10 ⁵	3,5 x10 ⁵

Fonte: Elaborado pelo autor.

Tabela 5.19 Valores médios e desvios-padrão de Coliformes Fecais durante as 14 semanas de acompanhamento.

Coliformes Fecais (NMP.100 ml ⁻¹)				
Pontos de análise	Fase 3		Fase 4	
	M ± dp		M ± dp	
Entrada	6,5 x10 ⁵	6,2 x10 ³	3,5 x10 ⁵	2,1 x10 ⁴
Saída	1,3 x10 ⁵	8,3 x10 ³	2,1 x10 ⁵	1,6 x10 ⁴

Fonte: Elaborado pelo autor.

A concentração de Coliformes Fecais situada no esgoto sanitário, apresenta uma variação de 10⁶ a 10⁷ e uma variação de Coliformes Totais de 10⁷ a 10⁸ NMP.100ml⁻¹ (Metcalf & Eddy, 2003). No ponto E obteve-se concentrações médias de Coliformes Totais e Fecais próximo dessa faixa, com ordem de grandeza de 10⁵ e 10⁶ NMP.100ml⁻¹, respectivamente. Agora as concentrações médias de Coliformes Totais e Fecais no ponto SD, apresentou ordem de grandeza de 10⁵ NMP.100ml⁻¹.

Durante as duas Fases de acompanhamento do RCAA, verificou-se que os valores de Coliformes Totais e Fecais entre os pontos E e SD, teve pouca redução, com ordem de uma casa logarítmica, estando quase que constantes. Relaciona-se esse comportamento com a questão de que os RCAs e a maioria dos processos biológicos de tratamento, não conseguem realizar desinfecção, inativando ou retendo os microrganismos.

Os reatores anaeróbios costumam apresentar baixa eficiência de remoção de coliformes, normalmente na ordem de 1 unidade logarítmica (Chernicharo, 2001).

As concentrações máximas de Coliformes Fecais presentes em um efluente tratado, segundo a Resolução CONAMA n.357/2005, em NMP.100ml⁻¹, para lançamento em rios: Classe 1 é de 2,0x10², Classe 2 é de 2,0x10³ e Classe 3 é de 2,5x10³. Através dos resultados apresentados no ponto SD do RCAA durante toda a pesquisa, nota-se que o efluente precisa de uma desinfecção, não estando dentro da Legislação Brasileira.

O efluente do RCAA, foi deslocado para o tratamento paralelo de alagados construídos que existe na ETE, próximo ao reator, pelo fato do efluente não entrar nos padrões de descarte em corpos d'água exigidos pela Legislação Brasileira. Assim posteriormente aos alagados construídos, existe um tanque de armazenamento onde é aplicado pastilhas de cloro, que segundo Miranda et al. (2014), remove cerca de 3 logs de Coliformes Totais e 2,5 logs de Coliformes Fecais.

5.3 Reúso

Nosso país, ainda passa por escassez de água, por conta de desperdícios, tratamento e coleta de esgoto que não são suficientes e nem eficientes, problemas de distribuição hídrica, entre outros exemplos. Desse modo, é sustentável e aplicável a idéia de utilização de efluentes tratados para atividades que não precisam de um grau alto de potabilidade.

Assim para o efluente final tratado dessa pesquisa, recomenda-se o seu reúso para regar jardins, campo de futebol, gramados, atividades essas que são realizadas no DEF, onde se encontra o RCAA. Mas para reutilizar o efluente, precisa que esse esteja dentro dos padrões de qualidade exigidos pela Legislação. E no Brasil, falta fiscalização e regulamentação ambiental para o reúso.

A Organização Mundial da Saúde (OMS), que é um órgão internacional, têm diretrizes sanitárias para a utilização de efluentes tratados, que são atualizadas constantemente.

Para o reúso de efluente tratado, devido a carência de regulamentação nacional, a SABESP apud Semura et al. (2005), com embasamento na experiência internacional, fez para o reúso não potável, seus próprios critérios internos incluindo lavagens de pátios e irrigação de áreas verdes, sendo: SST < 35 mg.L⁻¹ (em 95% das amostras); DBO < 25 mg.L⁻¹ (em 95% das amostras); Turbidez < 20 NTU; pH: de 6 a 9 e Coliformes < 200 NMP.100ml⁻¹.

A partir dos critérios da SABESP, com os resultados adquiridos do RCAA pode-se dizer que o efluente final está apto para o reúso na irrigação do DEF, pelas variáveis Turbidez, pH e SST.

Sobre os Coliformes Totais e Fecais, as concentrações encontradas no ponto SD, mostraram-se acima de $200 \text{ NMP} \cdot 100\text{ml}^{-1}$ durante toda a pesquisa, sendo assim o efluente não se encontra apto para o reúso no DEF, precisando de uma etapa de desinfecção após o RCAA. A instalação de um processo de desinfecção diminui o risco da propagação de doenças via hídrica, tendo-se assim segurança à saúde pública.

Com relação aos resultados encontrados no ponto SD de DBO, observa-se que o efluente não se encontra apto pelos valores limites da SABESP, precisando de uma etapa logo após o RCAA para a remoção de DBO recalcitrante, caso queira se fazer o reúso, pois as concentrações de DBO em mais de 95% das amostras, estiveram acima de $25 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$.

Ainda não se consegue realizar o reúso do efluente final devido a assuntos de qualidade, onde se faz preciso uma adaptação do RCAA e um levantamento sobre as concentrações de Nitrogênio Amoniacal, Ferro, Cloro, Alumínio, Cobre, Enxofre entre outros elementos. É importante salientar que é viável o reúso do efluente, em termos de instalação de um sistema de irrigação e de equipamentos (bombas e dutos) para o transporte do efluente, pois esses não apresentariam um custo grande, devido a pequena distância da ETE até o gramado, campo de futebol do DEF.

6 CONCLUSÃO

Através das análises realizadas no efluente do RCAA, levando em consideração os resultados encontrados, conclui-se que:

- Durante todo o monitoramento, a Temperatura e o pH encontraram-se dentro da faixa ótima de atividade para os microrganismos e estáveis, mostrando uma boa estabilidade do RCAA.
- Com relação aos ácidos voláteis, houve a produção e o consumo desses de forma equilibrada. E permaneceu estável a alcalinidade.
- A aeração na câmara CA promoveu a remoção da matéria orgânica através da atividade de microrganismos, obtendo um efluente com concentração média de $3,5 \text{ mg} \cdot \text{L}^{-1}$ de OD.

- O RCAA mostrou um ótimo desempenho obtendo valores altos de remoção de SS, DBO e DQO.
- Em relação à Turbidez, houve uma alta remoção com uma média de 92% para as duas fases de acompanhamento do RCAA, e uma média de remoção de Cor verdadeira de 71%. Assim, comparando ao afluente, o efluente apresentou um bom aspecto visual.
- Sobre os Coliformes Totais e Fecais, para ocorrer o despejo do efluente final em corpos d'água, os resultados mostraram a necessidade de uma etapa de desinfecção.
- A partir dos critérios da SABESP, com os resultados obtidos do RCAA pode-se dizer que o efluente final está apto para o reuso na irrigação do DEF, pelas variáveis Turbidez, pH e SST. No entanto para as variáveis Coliformes e DBO, o efluente não se encontra apto. Sendo necessário para tornar o efluente apto ao reuso, a instalação de uma câmara anaeróbia em sequência para a remoção de matéria recalcitrante e de uma etapa de desinfecção.
- A partir dos resultados alcançados na presente pesquisa, conclui-se que uma alternativa viável para o tratamento de efluente sanitário de baixa carga orgânica é o RCAA, podendo ser aplicável em pequenos condomínios, comunidades rurais, escolas, *shoppings*, entre outros.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ADORNO, M.A.T.; HIRASAWA, J. S.; VARESCHE, M.B.A. Development and validation of two methods to quantify volatile Acids (C2-C6) by GC/FID: Headspace (Automatic and manual) and liquid-liquid extraction (LLE). *American Journal of Analytical Chemistry* 5, p.406-414. 2014.

BUSTILLO-LECOMPTE, C.F.; MEHRVAR, M.; QUINONES-BOLAÑOS, E. Combined anaerobic-aerobic and UV/H₂O₂ processes for the treatment of synthetic slaughterhouse wastewater. *Journal of Environmental Science and Health, Part A*: vol. 48, n. 9, p. 1122-1135, 2013.

CAMPOS, J. R. Alternativas para tratamento de esgoto – Pré-tratamento de águas para abastecimento. *Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari*, n.9, p.112, 1994.

CASTILHO, A.; CECHI, F.; ALVAREZ, J.M. A combined anaerobic-aerobic system to treat domestic sewage in coasted areas. *Water Research*, v.31, n.12, p.3057-3063, 1997.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. Decreto n. 8.468 de 08 de setembro de 1976. Disponível em: <http://www.cetesb.sp.gov.br/Institucional/documentos/Dec8468.pdf>. Acesso em: 17 set. 2017.

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. *Demanda Química de Oxigênio (DQO)*, 2015. Disponível em: http://www.cetesb.sp.gov.br/userfiles/file/agua/aguas-superficiais/aguas interiores/variaveis/aguas/variáveis_quimicas/demanda_quimica_de_oxigenio.pdf. Acesso em: 17 set. 2017.

CHERNICHARO, C. A. L.; VAN HAANDEL, A. C.; CYBIS, L. F.; CYBIS, E. F. Introdução. IN: PROSAB- Programa de Pesquisa em saneamento Básico, Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios, Brasília, p.19-34, 2001.

CHERNICHARO, C.A.L. *Anaerobic reactors: Biological wastewater treatment*, vol.4, 1ª ed. London: IWA Publishing, 1. p.184 . 2007.

CONAMA - Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº430 – Condições e padrões de lançamento de efluentes. Brasil. 2011. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/legiabre.cfm?codlegi=646>. Acesso em: 08 out. 2017.

CONAMA- Conselho Nacional de Meio Ambiente. Resolução nº 357 - Classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento. Brasil. 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso: 08 out. 2017.

FLORENCIO, L.; BASTOS, R. K. X; AISSE, M. M. *Reúso das águas de esgoto sanitário, inclusive o desenvolvimento de tecnologia para esse fim*. ABES. Rio de Janeiro, 2006b.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, Observando os Rios 2017: o retrato da qualidade da água nas bacias da Mata Atlântica, 2017. Disponível em: https://www.sosma.org.br/wp-content/uploads/2017/03/SOSMA_Observando-os-Rios-2017_online.pdf. Acesso em: 15 nov. 2017.

KHANAL, S. K.. *Anaerobic Biotechnology for Bioenergy Production*. Wiley-Blackwell, 2008.

LEGNER,C.; *Sistemas alternativos de tratamento de água e efluentes*. Revista TAE, n. 25, jun/jul 2015.

METCALF, L.; EDDY, H. P., *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. New York, McGraw-Hill, 4th ed., 1334 p., 2003.

MIRANDA, N.D.; SILVA, J.A.; OLIVEIRA, E.L.; SILVA, G.H.R. Evaluation of tablet chlorinator in pathogen inactivation. In: 2nd IWA Specialized International conference. Anais, v.1, p.885-888, 2014.

QI, W.; HOJO, T.; LI, Y. Hydraulic Characteristics simulation of an innovative self-agitation anaerobic baffled reactor (SA-ABR). *Bioresource Technology*, v. 136, n.6, p. 94-101, 2013.

RAIKES, Helen. Infecções decorrente de água de má qualidade podem ser causa de deficit de estatura. Colégio de Educação e Ciências Humanas da University of Nebraska-Lincoln, Estados Unidos, 2017. Disponível em: http://agencia.fapesp.br/infeccoes_decorrentes_de_agua_de_ma_qualidade_podem_ser_causa_de_deficit_de_estatura/26190/. Acesso em: 15 nov. 2017.

RICE, E.W., et al. (Eds.) *Standard methods for the examination of water and waste water 22nd Edition*. American Public Health Association, American Water Works Association, Water Environment Federation, 2012.

RIPLEY, L.E.; BOYLE, W. C.; CONVERSE, J. C. Improved alkalimetric monitoring for anaerobic digestion of high- strength wastes. *Journal Water Pollution Control Federation* , v.38, p. 406-411, 1986.

RUBIM, C.; *Novas soluções tecnológicas para tratamento de água e efluentes*. Revista TAE, n. 35, fev/mar 2017.

SABESP- Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo. Critérios para reúso de água residuária tratada para fins não potáveis. apud SEMURA, A. S.; RICCITELLI, M.; GONÇALVES, M. C. Estudo para Implantação de Reúso e Proposição de Parâmetros de Qualidade para Usos Urbanos Não Potáveis a Partir das ETEs da RMSP. *23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental*, 2005, Campo Grande-MS. Anais.ABES, Rio de Janeiro. 2005.

SILVA, G. H. R. da, *Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio, tratando esgoto sanitário: Desempenho e operação*. 209f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil-Saneamento e Ambiente). Faculdade de Engenharia Civil da Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

SILVA, G. H. R. da; NOUR, E. A. A. Reator compartimentado anaeróbio/aeróbio: Sistema de baixo custo para tratamento de esgotos de pequenas comunidades. *Revista brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.9, n.2, 2005.

SILVA, J. A. da; *Nova configuração de um reator compartimentado anaeróbio/aeróbio para o tratamento de esgoto sanitário de baixa carga*. 127f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil e Ambiental) – Faculdade de Engenharia de Bauru, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”. 2015.

SILVA, J. A. da; SARTI, A; SILVA, G, H, R, da; *Performances of two pilot decentralized wastewater treatment plants used to treat low-strength wastewater*. São Paulo, p.6-7, out. 2017. Disponível em: http://www.deswater.com/DWT_abstracts/vol_91/91_2017_93.pdf. Acesso em: 2 jan. 2018.

SPONZA, D .T.; DEMIRDEN, P. Relationships between chemical oxygen demand (COD) components and toxicity in a sequential anaerobic baffled reactor/aerobic completely stirred reactor system treating Kemicetine, *Journal of Hazardous Materials*, v.176, p. 64–75, 2010.

USEPA, United States Environmental Protection Agency. Handbook for managing onsite and clustered (decentralized) wastewater treatment systems: An Introduction to management tools and information for implementing EPA's management guidelines. U.S. EPA National Service Center for Environmental Publications. Cincinnati, OH, USA, 2005.

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

