

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS  
CAMPUS DO SERTÃO  
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL

JOÃO VICTOR TENÓRIO DA SILVA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTRO BIOLÓGICO COMO PÓS-  
TRATAMENTO DE REATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEITO  
FIXO VISANDO O REUSO DE ESGOTO SANITÁRIO**

DELMIRO GOUVEIA – AL

2018

JOÃO VICTOR TENÓRIO DA SILVA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTRO BIOLÓGICO COMO PÓS-  
TRATAMENTO DE REATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEITO  
FIXO VISANDO O REUSO DE ESGOTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Engenharia Civil da Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Campus do Sertão, como requisito parcial à obtenção do Título de Bacharel em Engenharia Civil.

Orientador (a): Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto

DELMIRO GOUVEIA – AL

2018

**Catálogo na fonte**  
**Universidade Federal de Alagoas**  
**Biblioteca do Campus Sertão**  
**Unidade Delmiro Gouveia**

Bibliotecária responsável: Larissa Carla dos Prazeres Leobino

S237a Santos, João Victor Tenório da Silva

Avaliação do desempenho de filtro biológico como pós-tratamento de reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo visando o reuso de esgoto sanitário / João Victor Tenório da Silva Santos. – 2018.  
50 f. : il.

Orientação: Prof. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto.  
Monografia (Engenharia Civil.) – Universidade Federal de Alagoas. Curso de Engenharia Civil. Delmiro Gouveia, 2018.

1. Filtração Biológica. 2. Pós-tratamento de Efluentes. I. Título.

CDU: 62

**Folha de Aprovação**

JOÃO VICTOR TENÓRIO DA SILVA SANTOS

**AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE FILTRO BIOLÓGICO COMO PÓS-  
TRATAMENTO DE REATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO DE LEITO  
FIXO VISANDO O REUSO DE ESGOTO SANITÁRIO**

Trabalho de Conclusão de Curso (TCC)  
submetido ao corpo docente do curso de  
Engenharia Civil, da Universidade  
Federal de Alagoas – Campus do Sertão  
e aprovado em 21 de março de 2018.

*Antonio Netto*

---

Prof.<sup>o</sup>. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto – UFAL (Orientador)

**Banca Examinadora:**

*José Raniery Rodrigues Cirne*

---

Prof. Msc. José Raniery Rodrigues Cirne – UFAL (Examinador Interno)

*Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira*

---

Eng. Francisco Aureliano Rocha de Vasconcelos Teixeira – UFAL (Examinador Externo)

*Antonio Netto*

---

Prof.<sup>o</sup>. Dr. Antonio Pedro de Oliveira Netto – UFAL (Orientador)

## AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha mãe Magda, meu pai Lindomar, meus irmãos João Paulo e João Pedro e minhas avós Ildéia e Iolanda por toda criação, companheirismo, toda confiança depositada em mim, todos os conselhos e todo apoio em todos os momentos da minha vida. Vocês são minha base.

Ao meu grande primo, colega de curso e amigo Nelson José por todos os momentos compartilhados desde a infância até a graduação. Foram anos de muito aprendizado com um cara de caráter excelente que nunca hesitou em me ajudar em todos os momentos que precisei.

À minha namorada Laura Gabrielly por todo companheirismo, amor e carinho em todas as fases das nossas vidas, sejam boas ou ruins. Todo seu apoio foi imprescindível em todas as situações vividas.

Agradeço ao meu orientador, professor e tutor Antonio Netto por todos os ensinamentos e conselhos passados desde o convívio no PET até a oportunidade da participação na pesquisa que foi essencial para a escolha da área que eu seguiria. Além da excelente orientação para que esse trabalho fosse realizado.

Ao grupo PET – AÇÕES das Engenharias e todos os integrantes, não tenho palavras suficientes para descrever a importância de vocês na minha graduação. Oportunidade de ouro que eu tive a sorte de poder viver e desfrutar de todos os momentos de aprendizado proporcionados. Levarei para a vida tudo que eu aprendi no grupo.

Aos grandes amigos (as) de curso Gabriel Duarte, Vitor Bruno, Ricardo Almeida, Carlos Sérgio, Tássio Magassy, Charles Torres, Iva Emanuely, Danielly Karla, Lucas Gabriel, Arão Henrique, Lucas Araujo, Joyce Danielle, Andressa Nóbrega, Yago Godez e tantos outros que pude viver momentos excelentes na minha vida.

Aos funcionários da UFAL – Campus do Sertão, principalmente o pessoal da copa, seguranças, Arnon, Marcel e Herlinho por todo o apoio nos momentos em que precisei de ajuda no laboratório ou com os equipamentos da pesquisa. Foram 3 meses de trabalho e vocês foram essenciais para a realização desse trabalho.

Ao Laboratório de Saneamento Ambiental do Campus A.C Simões e seus membros por todo o apoio com as análises das amostras nos auxiliando e suprindo todas as nossas deficiências quanto a infraestrutura laboratorial.

E também não poderia deixar de agradecer aos meus quatro grandes amigos Leandro Marinho, Rafael Santana, Rafael Carvalho e Rafael Alves por todo o convívio no PET e a grande ajuda durante a operação. Vocês foram essenciais para a realização desse trabalho, agradeço de coração todo o apoio que vocês me deram. O Laboratório de Saneamento Ambiental da UFAL – Campus do Sertão foi um local em que compartilhamos momentos excelentes.

*Aprendi que coragem não é a ausência do medo, mas o triunfo sobre ele.*

Nelson Mandela

## RESUMO

Este trabalho buscou avaliar o desempenho de um filtro biológico de fluxo ascendente utilizando pedra britada como material suporte no pós-tratamento do efluente de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, visando classificar o efluente final quanto a classes de reuso. O reator possuía um volume de aproximadamente 10 L (9,8 L) e operou com tempo de detenção hidráulica de 8h. O filtro biológico tinha um volume total de aproximadamente 21 L (20,5 L) e operou com tempo de detenção hidráulica de 14h, carga orgânica volumétrica aplicada de  $0,083 \pm 0,017$  kgDBO/m<sup>3</sup>.dia e de  $0,425$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para carga hidráulica. Ao todo, a operação durou 60 dias tendo sua estabilização aos 30 dias de operação. O sistema obteve eficiência média superior a 90% na remoção da matéria orgânica, tendo valores de 93% e 94% na remoção de DQO bruta e DQO filtrada. Já para sólidos sedimentáveis foram encontrados valores médios de 93% na remoção de SST e SSV, respectivamente. Os valores médios encontrados no efluente final para  $NH_4^+$  foram de  $19 \pm 3$  mg/L, onde a eficiência média de remoção foi de aproximadamente 40%. A avaliação da viabilidade de reuso do efluente final foi feita com uma classificação de 4 classes de reuso com suas respectivas recomendações. Diante dos resultados encontrados o efluente final do sistema avaliado pode ser reutilizado em 2 classes de reuso das 4 analisadas. A combinação entre reator e filtro biológico se mostrou bastante interessante visando o reuso do esgoto tratado, visto que o efluente do reator não tinha valores satisfatórios para ser reutilizado. Em linhas gerais, os resultados encontrados foram expressivos pois o sistema tem simplicidade operacional, baixo custo de investimento e apresentou resultados expressivos, quando comparado com outras tecnologias, se mostrando uma ótima alternativa na remediação de esgoto sanitário, principalmente para reuso de águas residuárias.

Palavras-chave: crescimento aderido; filtração biológica; carga residual; pós-tratamento de efluentes.

## ABSTRACT

This work evaluated the performance of an upflow biological filter using crushed stone as a support material in the post-treatment of effluent from an anaerobic-aerobic fixed-bed to classify the effluent of reuse classes. The reactor had a volume of approximately 10 L (9,5 L) and operated with a hydraulic detention time of 8h. The biological filter had a total volume of approximately 21 L (20,5 L) operated with hydraulic detention time of 14h, applied organic volumetric load of  $0,083 \pm 0,017$  kgBOD / m<sup>3</sup>.day and  $0.425$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.day for hydraulic loading. Altogether, the operation lasted 60 days and reached its stabilization in 30 days. The system obtained an average efficiency of more than 90% in the removal of the organic matter, having values of 93% and 94% in the removal of gross COD and filtered COD. For sedimentable solids, mean values of 93% were found in the removal of TSS and VSS, respectively. The average values found in the final effluent for  $NH_4^+$  were  $19 \pm 3$  mg / L, where the mean removal efficiency was approximately 40%. The feasibility of final effluent reuse was made by a classification of 4 classes of reuse with their respective recommendations. Considering the results, the final effluent of the evaluated system can be reused in 2 classes of reuse of the 4 analyzed. The combination of reactor and biological filter was very interesting aiming the reuse of treated sewage, since the effluent of the reactor did not have satisfactory values to be reused. In general terms, the results found were expressive because the system has an operational simplicity, a low investment cost and expressive results, when comparad to other technologies showing a great alternative in the remediation of sanitary sewage, mainly for wastewater reuse

Keywords: attached growth; biological filtration; residual load; after-treatment of effluents.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Sequência de processos na digestão anaeróbia com números expressos em remoção de DQO .....	16
Figura 2 – Esquema de um filtro biológico.....	23
Figura 3 – (a) Projeto do reator. (b) Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo.....	30
Figura 4 – Bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso.....	30
Figura 5 – Espuma de poliuretano cortada.....	31
Figura 6 – (a) Filtro anaeróbio de fluxo ascendente. (b) Calha de coleta.....	32
Figura 7 – Brita número 1 utilizada no filtro anaeróbio.....	33
Figura 8 – Desenho esquemático do sistema operado.....	34
Figura 9 – Análise da estabilização do sistema.....	38
Figura 10 – Perfil temporal da remoção de DQO bruta.....	39
Figura 11 – Perfil temporal da remoção de DQO filtrada.....	39
Figura 12 – Perfil temporal da remoção de SST.....	40
Figura 13 – Perfil temporal da remoção de SSV.....	41
Figura 14 – Perfil temporal da variação do pH.....	42
Figura 15 – Perfil temporal da variação do íon amônio $NH_4^+$ .....	42
Figura 16 – Perfil temporal da variação do nitrato $NO_3^-$ .....	43

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Requisitos para a implantação de sistemas para tratamento de águas residuárias.....	18
Tabela 2 – Vantagens/Desvantagens do tratamento anaeróbio de águas residuárias.....	18
Tabela 3 – Sistemas combinado anaeróbio/aeróbio para o tratamento de águas residuárias.....	20
Tabela 4 – Vantagens e desvantagens no uso de filtro biológico.....	24
Tabela 5 – Tipos de água de reuso e suas exigências mínimas.....	27
Tabela 6 – Divisão de níveis na avaliação da qualidade da água de reuso.....	28
Tabela 7 – Parâmetros analisados.....	35
Tabela 8 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 1.....	35
Tabela 9 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 2.....	36
Tabela 10 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 3.....	36
Tabela 11 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 4.....	37
Tabela 12 – Resultados médios dos parâmetros analisados.....	44
Tabela 13 – Parâmetros em comum separados por classe de reuso.....	45
Tabela 14 – Análise comparativa entre as classes 2 e 4 com o efluente do reator.....	46

## LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

CO<sub>2</sub> – Dióxido de Carbono

COV – Carga Orgânica Volumétrica

CTEC – Centro de Tecnologia

DBO – Demanda Bioquímica de Oxigênio

DQO – Demanda Química de Oxigênio

ETE – Estação de Tratamento de Esgoto

FB – Filtro Biológico

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

OMS – Organização Mundial da Saúde

PNSB – Pesquisa Nacional de Saneamento Básico

PROSAB – Programa de Pesquisas em Saneamento Básico

SNIS – Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento

SST – Sólidos Suspensos Totais

SSV – Sólidos Suspensos Voláteis

TDH – Tempo de Detenção Hidráulico

UASB – Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente com Manta de Lodo (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*)

UFAL – Universidade Federal de Alagoas

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b> .....	12
<b>2. OBJETIVOS</b> .....	14
2.1 OBJETIVOS GERAIS.....	14
2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
<b>3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b> .....	15
3.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA.....	15
3.2 TRATAMENTO COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO.....	17
3.3 FILTRO BIOLÓGICO.....	21
3.4 REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS .....	24
<b>4. METODOLOGIA</b> .....	29
4.1 REATOR COMBINADO ANAERÓBIO – AERÓBIO DE LEITO FIXO .....	29
4.2 FILTRO ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE .....	31
4.3 OPERAÇÃO DO SISTEMA .....	33
4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE REUSO .....	35
<b>5. RESULTADOS E DISCUSSÕES</b> .....	38
5.1 RESULTADOS GERAIS .....	38
5.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE REUSO .....	44
<b>6. CONSIDERAÇÕES FINAIS</b> .....	47
<b>7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b> .....	48

## 1. INTRODUÇÃO

Analisando a evolução da população percebe-se que um dos serviços que ainda sofre com sua precarização é o saneamento básico. Boa parte da população não tem acesso a coleta do esgoto sanitário e muitas vezes sequer tem conhecimento das formas de tratamento individual de esgoto doméstico. Estima-se que, no ano de 2008, em levantamento realizado através da Pesquisa Nacional de Saneamento Básico – PNSB, da parceria entre IBGE e Ministério das Cidades, somente 55,16% da população brasileira tem acesso a rede coletora de esgoto.

Já em levantamento realizado no ano de 2016 pelo Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento - SNIS aproximadamente 48% da população não tem acesso a rede coletora de esgoto, 55% de todo o esgoto gerado no Brasil não tem nenhuma forma de tratamento. Podemos destacar também a região Nordeste com índices de 27% para coleta do esgoto sanitário e 37% de esgoto tratado e o estado de Alagoas com índices de 19% para coleta e 42% de esgoto tratado.

É de conhecimento das administrações públicas que o saneamento básico previne e/ou minimiza a proliferação de doenças de veiculação hídrica, fazendo com que haja uma comparação entre o investimento na coleta e tratamento do esgoto sanitário e a redução de gastos com tratamento de doenças de veiculação hídrica. Para isso, os estudos para melhorar os diversos tipos de tratamento de esgoto é constante.

Dito isto, a evolução da tecnologia no âmbito do tratamento de esgoto sanitário evoluiu e traz o tratamento biológico anaeróbio, principalmente em países com clima tropical, como no Brasil, sistemas eficazes e com grande aplicabilidade na remediação do esgoto sanitário. Os fatores como boa remoção de poluentes, baixo custo de implantação e facilidade operacional contribuem para a difusão desse sistema de tratamento. Entretanto, traz como desvantagens efluentes que necessitam de um pós tratamento para se adequar as resoluções ambientais (CHERNICHARO, 2016).

Como uma alternativa para complementação do tratamento anaeróbio, o sistema de tratamento combinado anaeróbio-aeróbio vem como uma forte proposição de tratamento confinado de esgoto sanitário, que realiza o que une os benefícios e minimizam as desvantagens de cada tipo de tratamento, fornecendo um efluente de ótima qualidade. Para isso, estudos são desenvolvidos visando sempre melhorar a eficiência das formas utilizadas no tratamento de águas residuárias.

Já outra alternativa para tratamento de águas residuárias é a utilização de filtros biológicos no tratamento de esgoto sanitário também pode ser citada como ótima forma de remediação de águas residuárias, visto que, sendo comumente utilizados como pós tratamento em estações de tratamento de esgoto, tem simplicidade operacional, baixo custo de implantação e tem efluentes finais de excelente qualidade.

Além da garantia do saneamento a população, outra preocupação atual é crise hídrica vivida pela sociedade, onde buscam-se formas de preservar os recursos hídricos, de forma com que seja garantido no futuro condições mínimas do fornecimento de água a sociedade. Uma forte linha de estudo é a viabilização do reuso de esgoto tratado, porém, isso requer um investimento maior na tecnologia do tratamento para atender a normatização vigente quanto as exigentes concentrações máximas dos diversos poluentes, vírus e demais componentes presentes em águas residuárias permitidos para reuso.

Diante disso, o presente trabalho propõe analisar o desempenho de uma nova tecnologia no tratamento de esgoto sanitário com a inserção de um filtro biológico como pós tratamento do efluente de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, visando garantir um efluente de boa qualidade e possibilitando sua reutilização como água de reuso.

## **2. OBJETIVOS**

### **2.1 OBJETIVOS GERAIS**

Avaliar o desempenho de um filtro biológico de fluxo ascendente como pós tratamento de um reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo, utilizando pedra britada e espuma de poliuretano como materiais suporte, buscando a otimização na redução de poluentes do esgoto sanitário e visando a possibilidade da reutilização do efluente final como água de reuso.

### **2.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Avaliar a eficiência de remoção de matéria orgânica, sólidos sedimentáveis e nutrientes do sistema combinado reator + filtro biológico;
- Analisar a melhora na eficiência no tratamento do esgoto sanitário com a inserção do filtro biológico como pós-tratamento;
- Comparar essa nova variação no tratamento de esgoto sanitário com outras tecnologias já avaliadas;
- Avaliar a possibilidade do reuso do efluente final como água de reuso.

### 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

#### 3.1 DIGESTÃO ANAERÓBIA

A falta do tratamento de esgoto pode acarretar graves problemas para a sociedade, como a disseminação de doenças de veiculação hídrica. Com isso, a corrida pelas tecnologias e inovações quanto ao tratamento de águas residuárias é constante, visando a prevenção de doenças e melhorando a qualidade de vida da sociedade.

Vários são os sistemas adotados para o tratamento de efluentes. Com a ação do homem diante da natureza, há a preocupação com o retorno dos efluentes ao meio ambiente, utilizando métodos de tratamento que façam a redução dos compostos agressores de forma a não haver prejuízo ao sistema receptor ou, ao menos, minimizá-lo.

Então, torna-se lógico, considerar a melhor tecnologia disponível para tratamento dos efluentes, que reduza o investimento inicial e os custos de operação, visando devolver para a natureza os insumos utilizados, em qualidade pelo menos equivalente, sem transferir nenhuma parte do problema para outro local (OLIVEIRA NETTO, 2007).

Uma das metodologias adotadas no tratamento de esgoto é a digestão anaeróbia. Em esgotos domésticos é predominante a utilização de sistemas anaeróbios para o tratamento, como, por exemplo, o tanque séptico. Segundo Campos et al (1999), “a aplicação de reatores anaeróbios como principal unidade de tratamento teve início na década de 1980, principalmente na Holanda, Brasil, Colômbia, Índia e México”.

Outro sistema de tratamento anaeróbio bastante difundido no tratamento de águas residuárias é o reator anaeróbio de fluxo ascendente e manta de lodo (*upflow anaerobic sludge blanket* - UASB), caracterizado por ser um reator com a presença de uma manta de lodo responsável pelo tratamento e um separador trifásico responsável pela separação do lodo e gases gerados durante o tratamento do efluente líquido.

Com isso, é necessário conhecer o complexo processo de digestão anaeróbia. Ele é caracterizado, resumidamente, como um processo natural onde as bactérias anaeróbias fazem a transformação da matéria orgânica em metano (CH<sub>4</sub>) e dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>). Nas fases do tratamento há a presença de diversificados microrganismos que realizam a digestão dos compostos orgânicos, como podemos observar na Figura 1.

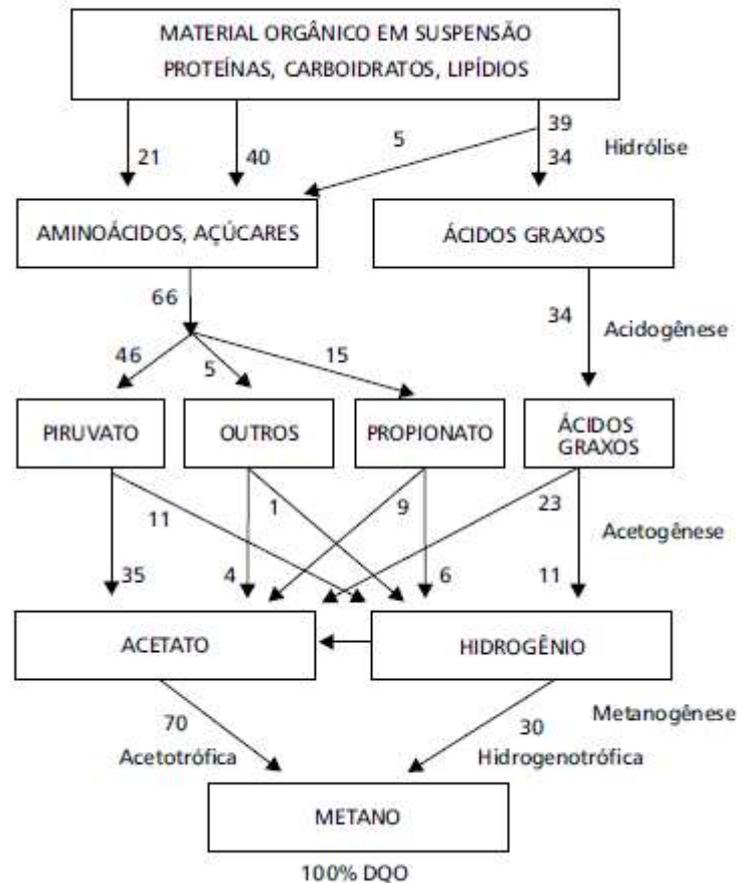


Figura 1 - Sequência de processos na digestão anaeróbia com números expressos em remoção de DQO. (Fonte: CAMPOS et al, 1999).

O esgoto sanitário bruto é composto, principalmente, por partículas orgânicas em suspensão, nessas características os microrganismos não têm capacidade para degradar essas partículas. Na hidrólise há a conversão dessas partículas em compostos mais simples, como os aminoácidos, açúcares e ácidos graxos. Esse processo é realizado através de exo-enzimas excretadas por bactérias fermentativas (CAMPOS et al, 1999).

Considerada a fase mais lenta da digestão anaeróbia, a velocidade do processo de hidrólise pode variar de acordo com algumas características aplicadas ao tratamento. Segundo Chernicharo (2016) a composição do efluente e as características químicas dos compostos, o tamanho das partículas, a temperatura do reator e o índice hidrogeniônico são alguns fatores que influenciam na velocidade da hidrólise.

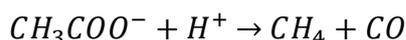
No processo da acidogênese, a partir dos compostos particulados vindo da hidrólise, as bactérias realizam o processo de fermentação acidogênica com a metabolização dos compostos fazendo a redução para ácidos graxos, ácido láctico, álcoois, ácido propiônico, outros tipos de ácido e diversos compostos minerais como o dióxido de carbono, hidrogênio, amônia e entre outros.

Vale ressaltar que no processo da acidogênese, por estar incluído na digestão anaeróbia, a maioria das bactérias tem seu organismo atuando de forma exclusivamente anaeróbia. Mas, nesse processo também existem a presença de bactérias facultativas, visto que durante a acidogênese se porventura houver oxigênio dissolvido no líquido e não houvesse a presença de bactérias facultativas haveria problemas quanto ao mecanismo das bactérias metanogênicas (CAMPOS et al, 1999).

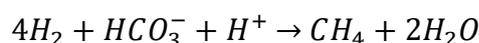
Posteriormente, a acetogênese utiliza os compostos formados na acidogênese e transforma em hidrogênio, dióxido de carbono e acetato. Segundo Campos et al (1999) durante o processo de acetogênese aproximadamente 70% da DQO digerida é convertida em ácido acético, enquanto o restante da DQO é concentrado no hidrogênio formado.

Na metanogênese, fase final da digestão anaeróbia as bactérias fazem a redução dos ácidos em compostos gasosos, principalmente o metano. De acordo com as equações apresentadas, temos as reações de transformação de compostos na metanogênese. As bactérias, de acordo com seu tipo de metabolismo, fazem a transformação em compostos diferentes.

Metanogênese acetotrófica ou acetoclástica:



Metanogênese hidrogenotrófica:



Na digestão anaeróbia, além dos processos a que estão submetidos os microrganismos na conversão biológica, deve-se atentar para os fatores externos que podem influenciar no tratamento anaeróbio. Os principais fatores são a temperatura ambiente, sobrecargas hidráulicas submetidas ao sistema, presença de nutrientes ou outros tipos de materiais que possam dificultar a digestão, índice hidrogeniônico do afluente e a possível inibição das bactérias de acordo com o tipo de afluente (CHERNICHARO, 2016).

### **3.2 TRATAMENTO COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO**

Com o avanço da tecnologia buscou-se a viabilização de sistemas de tratamento de águas residuárias que oferecessem eficácia com um bom custo/benefício. É fato que existem várias maneiras diversificadas de tratamento de esgoto, sejam elas anaeróbias ou aeróbias, mas, por vezes aparecem dificuldades em garantir algumas características essenciais para a implantação dos sistemas de tratamento, como podemos ver na Tabela 1 relacionando alguns requisitos do tratamento de efluentes.

<b>Requisitos - Sistemas de Tratamento de Águas Residuárias</b>	
Baixo custo de implantação	Flexibilidade para expansões futuras
Sustentabilidade do sistema	Aplicação em pequena escala
Simplicidade operacional	Elevada vida útil
Eficiência de remoção de poluentes	Reaproveitamento de produtos úteis
Requisitos de área	Existência de experiência prática

Tabela 1 – Requisitos para a implantação de sistemas para tratamento de águas residuárias. (FONTE: Adaptado CHERNICHARO, 2001)

É extremamente necessário conhecer todos os sistemas e suas vantagens, mas devemos reconhecer suas desvantagens. No Brasil o tratamento de esgoto utilizando a digestão anaeróbia é bastante difundido pois as condições para o tratamento são favoráveis. Em locais com clima tropicais o processo anaeróbio se torna mais eficiente no tratamento do efluente.

As condições impostas ao tratamento anaeróbio como a boa resposta no tratamento de esgotos domésticos, baixa demanda de área e baixos tempos de detenção hidráulica tornam esse sistema de tratamento totalmente viável. Mas, o mesmo também é deficiente em relação a remoção de alguns patógenos, sendo necessários a aplicação de um pós-tratamento. Na Tabela 2 temos algumas características quanto ao tratamento anaeróbio.

<b>Tratamento Anaeróbio</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Baixo consumo de energia	Geração de odor desagradável
Produção de metano (possibilidade de reuso)	Possível necessidade de pós- tratamento
Tolerância a elevadas cargas orgânicas	Inibição das bactérias por alguns compostos
Baixa demanda de área	Remoção de nutrientes e patógenos insatisfatória
Baixo custo de implantação	Lentidão no processo inicial do tratamento

Tabela 2 – Vantagens/Desvantagens do tratamento anaeróbio de águas residuárias. (FONTE: Adaptado CHERNICHARO, 2016).

Como o sistema de tratamento anaeróbio atinge remoção de matéria orgânica que por vezes não enquadra o efluente nos padrões de lançamento requisitados pelas normatizações ambientais e não é tão eficaz na remoção de patógenos, os sistemas de tratamento de esgoto necessitam de um tratamento complementar. Esse pós-tratamento pode ser viável através de qual tecnologia será usada, complementando o sistema anterior.

O principal papel do pós-tratamento é o de complementar a remoção da matéria-orgânica, bem como o de proporcionar a remoção de constituintes pouco afetados no tratamento anaeróbio, como os nutrientes (nitrogênio e fósforo) e os organismos patogênicos como vírus, bactérias, protozoários e helmintos (CHERNICHARO et al, 2001).

Atestando a viabilidade da combinação dos tratamentos anaeróbio-aeróbio, em pesquisa realizada por Abreu e Zaiat (2008), foi analisado o desempenho de um reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo preenchido com espuma de poliuretano como material suporte obtendo alto nível de redução da matéria orgânica com redução de DQO de  $259 \pm 69$  mg/L para  $93 \pm 31$  mg/L se comparado ao reator exclusivamente anaeróbio com redução da DQO de  $389 \pm 70$  mg/L para  $137 \pm 16$  mg/L.

Outro sistema possível de tratamento de águas residuárias é a utilização da digestão aeróbia. Diferente da digestão anaeróbia esse processo necessita de disponibilidade de oxigênio para realizar a conversão biológica. O processo tem como composto final, principalmente, o dióxido de carbono CO<sub>2</sub>.

Os processos que ocorrem na digestão aeróbia são denominados de catabolismo e anabolismo, no primeiro a matéria orgânica é degradada através da oxidação e através da sua decomposição são formados compostos como o dióxido de carbono. Já no anabolismo há a formação de novas bactérias, alimentando a digestão aeróbia (VALE, 2007).

Verifica-se que durante a conversão biológica da matéria orgânica durante esse processo, normalmente 40 a 50% da matéria orgânica é degradada resultando em dióxido de carbono e de 5 a 10% a matéria orgânica não degradada (lodo) é descartado junto ao efluente final (CHERNICHARO et al, 2001).

Percebe-se que o tratamento aeróbio é uma alternativa viável como processo complementar para a digestão anaeróbia, pois essa combinação pode promover a oxidação carbonácea, remoção biológica de fósforo, nitrificação e desnitrificação. Além de ser uma alternativa que requer simplicidade operacional e baixo custo de implantação, se tornando uma opção bastante viável (CALLADO et al, 2001).

Nesse sistema combinado a digestão anaeróbia é responsável pela decomposição de boa parte da matéria orgânica com baixa produção de lodo e sem a necessidade do consumo de energia com a combinação do tratamento aeróbio fazendo a complementação da qualidade do efluente através da redução de patógenos.

Considerando a viabilidade de processo aeróbio para complementação de tratamento anaeróbio Sousa Junior (2006) analisou as valas de infiltração como pós-tratamento de processo anaeróbio fossa-filtro para residências isoladas e pequenas ou médias comunidades, obtendo, em média, a remoção superior a 82,5% de DBO com a adequação de coliformes e ausência de microrganismos patogênicos no efluente final.

Com um pré-tratamento anaeróbio, logicamente haverá a redução do consumo de energia elétrica pois dispensará o uso de aeração, com isso teremos a redução de custos desde a implantação do sistema quanto a manutenção operacional se comparando com um processo totalmente aeróbio.

Há vários sistemas possíveis combinando os tratamentos anaeróbio/aeróbio, tais processos se diferenciam pelo conjunto de fatores que os mesmos oferecem como eficiência de remoção da matéria orgânica e patógenos, demanda de área, custo de implantação, custos de operação e a operacionalização do sistema. De acordo com a Tabela 3, observamos alguns tipos de sistemas combinados anaeróbio/aeróbio.

<b>Combinações Anaeróbio/Aeróbio no Tratamento de Efluentes</b>	
<b>Anaeróbio</b>	<b>Aeróbio</b>
UASB	Filtro biológico aeróbio
UASB	Lodos ativados
UASB	Biofiltro aerado submerso
Lagoa de sedimentação	Lagoa aerada
Tanque séptico	Vala de infiltração
Decantador primário	Lodos ativados
Reator combinado anaeróbio/aeróbio de leito fixo	

Tabela 3 – Sistemas combinado anaeróbio/aeróbio para o tratamento de águas residuárias (FONTE: Adaptado CAMPOS et al, 1999 e CHERNICHARO et al, 2001)

No Brasil o tratamento de esgoto utilizando a digestão anaeróbia já é bastante difundido, principalmente pelo uso das variações de combinação com o UASB, mas o sistema combinado aeróbio/anaeróbio se vem mostrando eficiente no tratamento dos efluentes. Aproveitando-se do clima tropical e entre outras condições necessárias para uma eficiente digestão anaeróbia, a complementação com o sistema aeróbio se mostra economicamente favorável.

De acordo com pesquisa realizada por Callado (2001), utilizando reatores sequenciais em batelada com sistema anaeróbio/aeróbio, o sistema se mostrou eficiente no processo de

remoção da matéria orgânica e de nitrogênio alcançando uma eficiência de 85% e mostrando qualidade do efluente compatíveis aos de tratamento terciário.

Também em estudo realizado por Oliveira Netto (2007) avaliando o desempenho de um reator, de leito fixo e fluxo contínuo com TDH de 6,8 e 10 horas. O estudo demonstrou excelentes resultados com eficiência de 95% da remoção da matéria orgânica e com níveis de DQO contidos no efluente menores que 50 mg/L e eficiência de remoção de 75% na remoção de nitrogênio.

### **3.3 FILTRO BIOLÓGICO**

Os filtros biológicos são métodos de tratamento de águas residuárias a partir da formação de biofilmes. A formação dos biofilmes se dá através do crescimento dos microrganismos aderidos a meio suporte realizando o tratamento do afluente. Esse sistema apresenta elevada eficiência e facilidade operacional.

A fixação e desenvolvimento dos microrganismos, flocos ou grânulos, no material suporte aderido ao biofilme. O afluente, por meio ascendente ou descendente, realiza o fluxo através desses caminhos formados pelo material, fazendo com que os microrganismos realizem a conversão biológica da matéria orgânica (CHERNICHARO et al, 2001).

O preenchimento dos filtros biológicos é feito de materiais que garantam resistência estrutural, biológica e química, índice de vazios, formas não achatadas e viabilidade econômica. Dentre esses materiais podemos encontrar alguns materiais rotineiramente utilizados como pedra brita nº 4 ou 5, materiais plásticos, carvão antracito, escória de alto forno e alguns tipos de materiais feito de madeira.

A variabilidade de materiais que podem ser utilizados como meio suporte em filtros biológico é interessante. Considerando os meios convencionais podemos optar por materiais alternativos que fornecem resultados eficientes. Em estudo realizado por Souza, Isoldi e Oliz (2010) foi observado o satisfatório desempenho de filtro anaeróbio preenchido com recheio de bambu, obtendo eficiência de remoção de matéria orgânica em 90,30% e 82,37% de eficiência na remoção de turbidez.

O desempenho dos materiais utilizados como enchimento varia de acordo com a condições do afluente e situações impostas ao tratamento utilizando as variações de filtro biológico. As características desses materiais, tanto físicas, químicas e financeiras serão essenciais para a viabilização do tratamento.

Em estudo feito para avaliação desse desempenho Almeida (2007) fez a comparação entre materiais de enchimento em filtro biológico percolador como pós-tratamento de reator UASB, utilizando escória de alto-forno, anéis plásticos randômicos e aparas de conduíte corrugado. Para os níveis de lançamento de carga orgânica 0,24 kgDBO/m<sup>3</sup>.d e taxa de aplicação de 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d, houveram diferenças nos efluentes dos materiais utilizados na concentração de amônia atestando que, de acordo com cada material, o desempenho em termos de nitrificação varia. Já para a análise da remoção da matéria orgânica utilizando as cargas orgânicas volumétricas de 0,43 e 0,24 kgDBO/m<sup>3</sup>.d e taxas de aplicação de 20 e 10 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.d todos os efluentes foram capazes de atender aos padrões de lançamento DBO (60 mg/L) e DQO (90 mg/L).

Utilizando a metodologia de biofilmes temos as principais variações de filtros biológicos, sendo elas o filtro biológico anaeróbio, filtro biológico percoladores e o biofiltro aerado. Todos têm o mesmo princípio básico de tratamento do efluente e admitem variações de materiais suportes no tratamento.

Os filtros biológicos anaeróbios são mais utilizados como pós-tratamento de efluentes de tratamento anaeróbio. Seu funcionamento requer um tipo de material suporte para a adesão do biofilme. O fluxo do esgoto também pode ser ascendente ou descendente. Apesar da eficiência na remoção de matéria orgânica requer cuidados com a remoção de patógenos.

O filtro biológico percolador é uma variação de tratamento aeróbia, pois garante oxigênio de forma natural no sistema. A forma de tratamento é concebida com o mesmo sistema de adesão dos microrganismos ao biofilme. Na Figura 2 temos a representação de um filtro biológico percolador e seu funcionamento.

A distribuição do esgoto sanitário é feita de maneira uniforme pelos braços distribuidores, garantindo assim com que o esgoto percorra da maneira melhor possível em toda área contida com o material suporte. O filtro também possui áreas previstas de ventilação garantindo o oxigênio necessário para o tratamento e área disponível para a drenagem do efluente final.

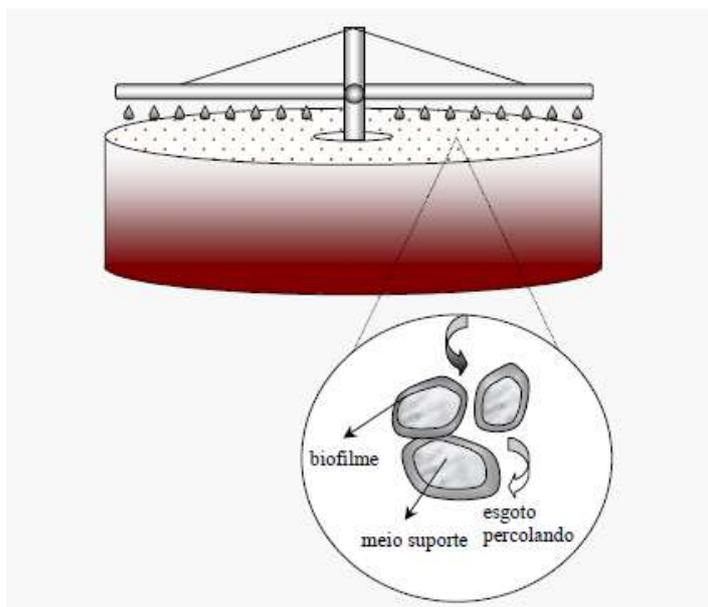


Figura 2 – Esquema de um filtro biológico (Fonte: VON SPERLING, 1996).

O biofiltro aerado submerso também é uma variação do tratamento com filtração biológica onde os microrganismos atuam aderidos ao biofilme submersos. O sentido do fluxo é sempre ascendente fazendo com que o fluxo do efluente e dos compostos gerados durante o tratamento sigam na mesma direção.

Como o meio suporte é mantido sob imersão, os biofiltros são reatores trifásicos. A fase sólida é constituída pelo meio suporte e pelos microrganismos a ele aderidos, a fase líquida é o próprio líquido em escoamento pelo meio poroso e a fase gasosa é formada pela aeração artificial e pelos gases produzidos nos processos de biodegradação (FONTANA, 2007).

O filtro biológico é bastante utilizado como pós-tratamento, na maioria das vezes, de tratamento anaeróbio, pois oferece uma boa qualidade com baixo custo operacional ao efluente final. No Brasil, o sistema UASB + FB está sendo bastante utilizado por todas suas vantagens em relação ao custo/benefício desse sistema.

Alguns cuidados são necessários na operacionalização do filtro, pois esse sistema oferece algumas desvantagens que devem ser observadas. Na Tabela 4 podemos observar as características quanto aos filtros biológicos.

Em estudo realizado por Nascimento (2001), analisando o pós-tratamento de efluentes de reator UASB utilizado filtro biológico percolador utilizando escória de alto forno como material suporte, obteve-se uma eficiência de remoção de matéria orgânica atingindo níveis de 94% com valores abaixo de 60 mg/L de DBO no efluente final, atestando esse sistema uma maneira alternativa eficiente de baixo custo para o tratamento complementar de águas residuárias.

<b>Filtro Biológico</b>	
<b>Vantagens</b>	<b>Desvantagens</b>
Eficiência na remoção de matéria orgânica	Problemas com moscas
Baixo consumo de energia	Mau odor
Simplicidade operacional	Possíveis entupimentos dos espaços
Baixa demanda de área	Elevada perda de carga no sistema

Tabela 4 – Vantagens e desvantagens no uso de filtro biológico (Fonte: Adaptado VON SPERLING, 1996).

Utilizando a tecnologia de biofiltro aerado submerso preenchido com carvão granular antracitoso Fontana (2007) estudou o pós-tratamento de efluente advindo de reator UASB. A eficiência de remoção de DQO, DBO e nitrogênio amoniacal ficou definido em 62%, 46% e 89% com tempos de detenção hidráulica de 5h e 7,5h.

### 3.4 REUSO DE ÁGUAS RESIDUÁRIAS

Com o crescimento da população e conseqüentemente o avanço da tecnologia o uso de bens naturais torna-se essencial. Mas, com a intensidade que são utilizados esses bens a degradação da natureza é nítida com o aumento da poluição do solo, rios, mares e do ar gerando um grave problema.

Nesse contexto podemos considerar um dos maiores problemas enfrentados pela sociedade que é o uso descontrolado dos recursos hídricos confrontando com a constante baixa desse recurso natural. Cada vez mais nota-se que a disponibilidade de recursos hídricos potáveis sofre com a ação do homem.

Essa escassez não atinge somente as áreas de clima árido e semiárido, mas sim diversas áreas que possuem mananciais com água em abundância. O problema está no crescimento populacional fazendo com que os mananciais disponham de recursos insuficientes para atender a demanda, gerando o desequilíbrio e a tomada de medidas quanto aos custos e formas de fazer o atendimento da população (CUTOLO, 2009).

Outro grave problema enfrentado pela sociedade é falta de saneamento básico. Com a utilização da água e dentre outros insumos necessários para o desenvolvimento populacional a geração de efluentes e resíduos sólidos também cresce. Para fazer o descarte do esgoto sanitário era comum o lançamento em corpos d'água de forma bruta e sem qualquer tipo de tratamento prévio, fazendo com que os lençóis freáticos e demais meios que servem de abastecimento de água sejam prejudicados.

Diante disso, se torna evidente a necessidade da proposição de alternativas que garantam o direito ao saneamento básico para a população com a coleta, tratamento e destinação correta de efluentes, visando preservar a natureza do despejo desse material que na maioria das vezes prejudicam os meios hídricos.

Uma alternativa que vem ganhando força na preservação dos recursos hídricos é o reuso de águas residuárias. Com o avanço das estações de tratamento de esgoto a qualidade do efluente tratado é uma alternativa para desafogar o grave problema da baixa demanda de recursos hídricos.

A viabilidade da aplicação de esgoto tratado como água de reuso vai de usos domésticos até usos industriais. Como no estudo desenvolvido por Mierzwa (2002), analisando a viabilidade de introdução de programas que façam o gerenciamento da água e suas aplicações como o reuso de efluentes, tendo como estudo de caso a indústria KODAK. Apresentando resultados satisfatórios de 14,5% de economia do consumo de água e concluindo que o reuso é uma ferramenta totalmente viável para o gerenciamento e economia de recursos hídricos.

Considerando o uso da água para usos de fins não potáveis, essa substituição pela água de reuso se mostra eficiente, pois haverá a distribuição de águas de melhor qualidade para usos mais nobres e a inserção de águas de reuso provenientes de estação de tratamento de esgoto para fins menos restritivos (SAUTCHUK et al, 2005)

Podemos tomar como exemplo o estudo realizado por Mota, Bezerra e Tomé (1997), onde foi avaliado o desempenho de culturas (sorgo, algodão e forrageira) irrigadas com esgoto tratado e irrigação com água em condições normais. O sorgo e algodão apresentaram desempenho melhor quando irrigados com esgoto tratado, atestando que o reuso de esgoto tratado traz benefícios para a agricultura.

Também pode-se considerar o estudo realizado por Tonetti et al (2012) onde foi realizado o tratamento de esgoto com a combinação de filtro biológico seguido de filtro de areia considerando o efluente para ser reutilizado como água de reuso. O sistema apresentou um efluente tratado que seria viável para, segundo a OMS (2000), ser utilizado em atividades de irrigação de cereais e culturas a serem industrializadas.

Mas a possibilidade da reutilização de efluentes tratados como águas de reuso requer alguns cuidados pois o esgoto sanitário é responsável pela veiculação de doenças, através de

bactérias, vírus e parasitas presentes. A análise das características patogênicas do efluente podem determinar o tipo de reuso que ele será utilizado.

O avanço da tecnologia em sistemas de tratamento de águas residuárias traz cada vez mais efluentes de ótima qualidade com a redução da matéria orgânica, nutrientes e organismos transmissores de doenças. Atualmente, existem métodos convencionais na detecção de organismos, até em baixo número, presentes no ambiente. Trazendo eficiência e segurança na aplicação no reuso (CUTOLO, 2009).

Como exemplo temos o trabalho realizado por Razzolini (2003), onde fez-se uma análise da viabilidade de utilização do efluente da estação de tratamento de esgoto do município de Lins (SP) para reuso na agricultura. A avaliação levou em consideração a qualidade do efluente com relação a presença microrganismos parasitológicos com a investigação da presença de cepas de E.coli, Salmonella, ovos de helmintos e a quantificação de colifagos.

O estudo revelou quantidade acima da recomendada pela OMS para E.coli, detecção de ovos de Ascaris e Salmonella e observou-se a variação de coliformes totais no efluente. Portanto, a análise concluiu que, com a quantidade desses organismos os efluentes da estação não apresentam qualidade para irrigação irrestrita (categoria A) e restrita (categoria B), segundo a OMS (1989).

A análise das aplicações de águas de reuso podem ser observadas no livro produzido pelo convênio firmado entre ANA, SAS/ANA, FIESP, DMA, SINDUSCON-SP e COMASP intitulado como Conservação e Reuso da água em edificações (2005). Primeiramente são relacionadas divisões dos tipos de águas de reuso com alguns requisitos mínimos, observados na Tabela 5.

O livro também traz uma divisão de classes de reuso avaliando os critérios de qualidade, com níveis de 1 a 4, com suas respectivas exigências mínimas para classificação da qualidade da água de reuso. Na Tabela 6 podemos observar a divisão das classes e suas respectivas aplicações.

<b>Exigências Mínimas (águas de reuso)</b>	
<b>Aplicações</b>	<b>Requisitos</b>
Águas de irrigação, rega de jardim e lavagem de pisos;	Ausência de mau-cheiro, ausência de componentes agressores a plantas ou que contribuam para crescimento de pragas, não deixe manchas nas superfícies e não seja prejudicial à saúde humana.
Águas para descarga em bacias sanitárias;	Ausência de mau-cheiro, não deixe manchas nas superfícies, não deve deteriorar os metais sanitários e não seja prejudicial à saúde humana.
Águas para refrigeração e sistema de ar condicionado;	Ausência de mau-cheiro, não deixe manchas nas superfícies, não deteriorar máquinas e não formar incrustações.
Águas para lavagem de veículos;	Ausência de mau-cheiro, não deixe manchas nas superfícies, não conter sais ou substâncias remanescentes após secagem e não seja prejudicial à saúde humana.
Águas para lavagem de roupa;	Deve ser incolor, não deve ser turva, ausência de mau-cheiro, livre de algas, livre de partículas sólidas, livre de metais, não deteriorar metais sanitários e equipamentos e não seja prejudicial à saúde humana.
Águas para uso ornamental;	Deve ser incolor, não deve ser turva, ausência de mau-cheiro, não deve deteriorar metais sanitários e equipamentos e não seja prejudicial à saúde humana pela presença de vírus e bactérias em excesso.
Águas para aplicação na construção civil (preparação de argamassa, concreto, controle de poeira e compactação do solo).	Ausência de mau-cheiro, não deve alterar as características de resistência dos materiais, não deve favorecer o aparecimento de eflorescência de sais e não seja prejudicial à saúde humana.

Tabela 5 – Tipos de água de reuso e suas exigências mínimas. (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005)

<b>Classes das Água de Reuso</b>	
<b>Classe</b>	<b>Aplicações</b>
1	Descarga de bacias sanitárias, lavagens de pisos e fins ornamentais, lavagem de roupas e veículos.
2	Lavagem de agregados, preparação de concreto, compactação do solo e controle de poeira.
3	Irrigação de áreas verdes e regas de jardim.
4	Resfriamento de equipamentos de ar condicionado.

Tabela 6 – Divisão de níveis na avaliação da qualidade da água de reuso. (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005)

Logo, torna-se necessário com o avanço da tecnologia a elaboração de sistemas de tratamento de águas residuárias que forneçam efluentes de qualidade que possam ser utilizados como águas de reuso. Essa pode ser uma alternativa que traga, ou minimize, a crise hídrica vivida pela sociedade atualmente.

## **4. METODOLOGIA**

O sistema operado no presente trabalho foi composto por um reator combinado anaeróbio-aeróbio seguido de um filtro anaeróbio de fluxo ascendente tendo a espuma de poliuretano e a pedra britada número 1 como materiais suporte, respectivamente. Com isso esperava-se um efluente de excelente qualidade que tivesse a possibilidade de ser reutilizado como água de reuso.

### **4.1 REATOR COMBINADO ANAERÓBIO – AERÓBIO DE LEITO FIXO**

O reator utilizado na operação era do tipo combinado anaeróbio – aeróbio de leito fixo de fluxo ascendente confeccionado em PVC, por ser um material relativamente barato, fácil de encontrar e manusear e que, devido a sua composição, impede a incidência da luminosidade em seu interior evitando assim o crescimento de bactérias fotossintetizantes dentro do reator e possíveis problemas operacionais.

Em sua estrutura o reator tinha 05 compartimentos separados por 4 telas metálicas, como demonstrado na Figura 3. O primeiro compartimento era responsável pela entrada do afluente no reator, mais acima, confinada por 2 telas metálicas, estava a zona anaeróbia do reator onde ficava presente o material suporte. No centro do reator não havia presença de material suporte e estava inserida o dispositivo (pedra porosa) ligado a uma bomba comum de aquários que era responsável pela aeração. E logo acima estava a zona aeróbia com a presença de mais material suporte e na parte superior a saída do efluente tratado.

O reator possuía um diâmetro de 100 mm e uma altura total de 125 cm com um volume total de aproximadamente 9,8 litros. As zonas anaeróbia e aeróbia, onde estavam os materiais suporte tinham 32 cm cada, totalizando 64 cm de material suporte, totalizando aproximadamente 5 litros.

Para a alimentação do afluente no interior do reator foi utilizada uma bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso, demonstrada na Figura 4. Nas partes inferior e superior, acima da entrada do afluente e saída do efluente haviam 2 saídas responsáveis pela recirculação do esgoto, se fosse o caso. Para a recirculação do esgoto no reator seria utilizada uma bomba igual a utilizada na alimentação do afluente.



Figura 3 – (a) Projeto do reator. (b) Reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo (Fonte: Autor, 2018).



Figura 4 – Bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso (Fonte: Autor, 2018).

Na escolha do material suporte a ser utilizado no reator, foram feitas algumas considerações quanto ao uso de materiais de baixo custo e com boa eficiência quanto ao tratamento de esgoto sanitário. Com isso, foi escolhido como material suporte a espuma de poliuretano, cortada em pequenos pedaços representada na Figura 5.



Figura 5 – Espuma de poliuretano cortada (Fonte Autor, 2018).

A espuma de poliuretano foi escolhida por ser um material fácil de ser encontrado, de baixo custo e que tem uma eficiência já comprovada nos diversos estudos no tratamento de esgoto sanitário, por exemplo os estudos realizados por Callado (2001), Oliveira Netto (2007), Abreu e Zaiat (2008) e Magassy (2017), onde todos utilizaram espuma de poliuretano como material suporte em reator combinado anaeróbio-aeróbio, obtendo excelentes resultados.

#### **4.2 FILTRO ANAERÓBIO DE FLUXO ASCENDENTE**

O filtro utilizado no presente trabalho foi um do tipo anaeróbio de fluxo ascendente. O compartimento escolhido para ser utilizado como filtro foi um recipiente cilíndrico de PVC, pois era um material que já tínhamos disponibilizado no laboratório e já tinha sido utilizado no trabalho realizado por Silva (2017), e não apresentou problemas, por esse motivo decidiu-se reutilizá-lo com algumas modificações.

Basicamente, como recomendado na NBR 13969, o filtro era composto por 3 zonas. Na zona inferior existia a ligação do reator para o filtro através de uma mangueira que introduzia o afluente. Na parte central estava o leito com material suporte filtrante e na parte superior estava a calha de coleta do efluente tratado. Na Figura 6 estão representadas as partes externa e interna do filtro.

O recipiente utilizado como filtro anaeróbio tinha diâmetro de 29 cm e altura total de 31 cm, a medida da altura da zona onde estava o material suporte era de 24 cm, portanto o filtro tinha um volume total de aproximadamente 20,50 litros e volume de material suporte de 15,90 litros. Todos os acessórios utilizados na entrada, saída e para coleta do efluente tratado eram de PVC.



Figura 6 – (a) Filtro anaeróbio de fluxo ascendente. (b) Calha de coleta. (Fonte: Autor 2018).

O material suporte escolhido como meio filtrante foi a tradicional pedra britada, por ser um material já utilizado no tratamento de esgoto sanitário e por ser facilmente encontrado na região. Mas as recomendações para utilização desse material no tratamento de esgoto requerem brita número 4, que segundo (MME, 2009) podem variar de 50 a 76 cm. Mas, como trabalhamos em um filtro com escala menor, decidimos trabalhar com a brita número 1, que segundo (MME, 2009) variando de 9,5 a 19 cm. Na Figura 7 está representado o material suporte utilizado como meio filtrante.



Figura 7 – Brita número 1 utilizada no filtro anaeróbio (Fonte: Autor 2017).

### 4.3 OPERAÇÃO DO SISTEMA

O sistema operou com uma vazão igual tanto para o reator como para o filtro anaeróbio, inicialmente foi definido o tempo de detenção hidráulica do reator para 8h visto que em estudos realizados por Oliveira Netto (2007) e Magassy (2017) os mesmos atestaram a eficiência do reator combinado anaeróbio-aeróbio nesse TDH e, com isso, uma vazão de 19,5 mL/min. Portanto como o filtro anaeróbio atua como pós-tratamento do efluente do reator trabalhou com a mesma vazão.

Para o cálculo do tempo de detenção hidráulica do filtro anaeróbio recorreu-se as recomendações da NBR 13969:1997, onde para uma temperatura maior que 25°C recomenda-se uma TDH de aproximadamente 22h. Mas, como o reator já estava montado e com a vazão já pré-definida, preferiu-se utilizá-la para o filtro, visto que a infraestrutura do laboratório não oferecia uma oportunidade de mudança na geometria do filtro, que ficou com um tempo de detenção hidráulica de aproximadamente 14h (13,60h).

Inicialmente, antes do sistema funcionar foi feita a inoculação dos materiais suporte de maneira descrita por Oliveira Netto (2007) onde foi coletado o lodo do fundo da fossa séptica e misturados em um recipiente com os materiais suporte. Após todo o material estiver visualmente aderido ao lodo, aproximadamente 2h, os materiais foram colocados no reator e filtro e se iniciou a operação.

O sistema funcionava com coletas diárias do afluente na fossa séptica do Campus Sertão - SEDE da Universidade Federal de Alagoas sempre no período da manhã minimizar diferenças nas características nas coletas do afluente. Pelo tubo de ventilação da fossa séptica, localizado em seu primeiro terço, era inserida a bomba manual de coleta de amostra, a meia altura, evitando-se promover a sucção de lodo decantado. Antes de seguir para o laboratório, o esgoto coletado passava por peneiramento simples, com abertura de 3mm, para remoção de sólidos grosseiros indesejáveis ao tratamento.

Com o afluente coletado o esgoto era despejado em um recipiente de plástico de aproximadamente 120 litros que servia como tanque de equalização e propiciava um fluxo contínuo de afluente ao sistema. A responsável pela alimentação do reator, como já demonstrada na Figura 4, era uma bomba dosadora tipo diafragma com fluxo em pulso que era direcionada a uma garrafa que estava localizada a um nível acima do reator, com isso o afluente descia por gravidade até a parte inferior do reator.

A utilização dessa forma de alimentação por gravidade foi necessária para evitar possíveis problemas com a operação, pois com a alimentação da bomba diretamente para o reator poderiam haver problemas de acúmulo de sedimentos na parte inferior do mesmo e se houvesse falta de energia poderia haver problemas com a bomba. Por esses motivos preferiu-se utilizar um sistema por gravidade para a alimentação do sistema.

Com fluxo ascendente o efluente do reator era coletado por uma mangueira e direcionado a parte inferior do filtro anaeróbico de fluxo ascendente que tinha a coleta do efluente tratado por uma calha e direcionado a outro recipiente igual ao de alimentação onde era possível recolher as amostras para análises. E com auxílio de outra bomba igual a de alimentação o efluente do filtro anaeróbico que não fosse utilizado para análise laboratorial era direcionado a uma pia para descarte. Na Figura 8 está representado um desenho esquemático do sistema operado no presente trabalho.

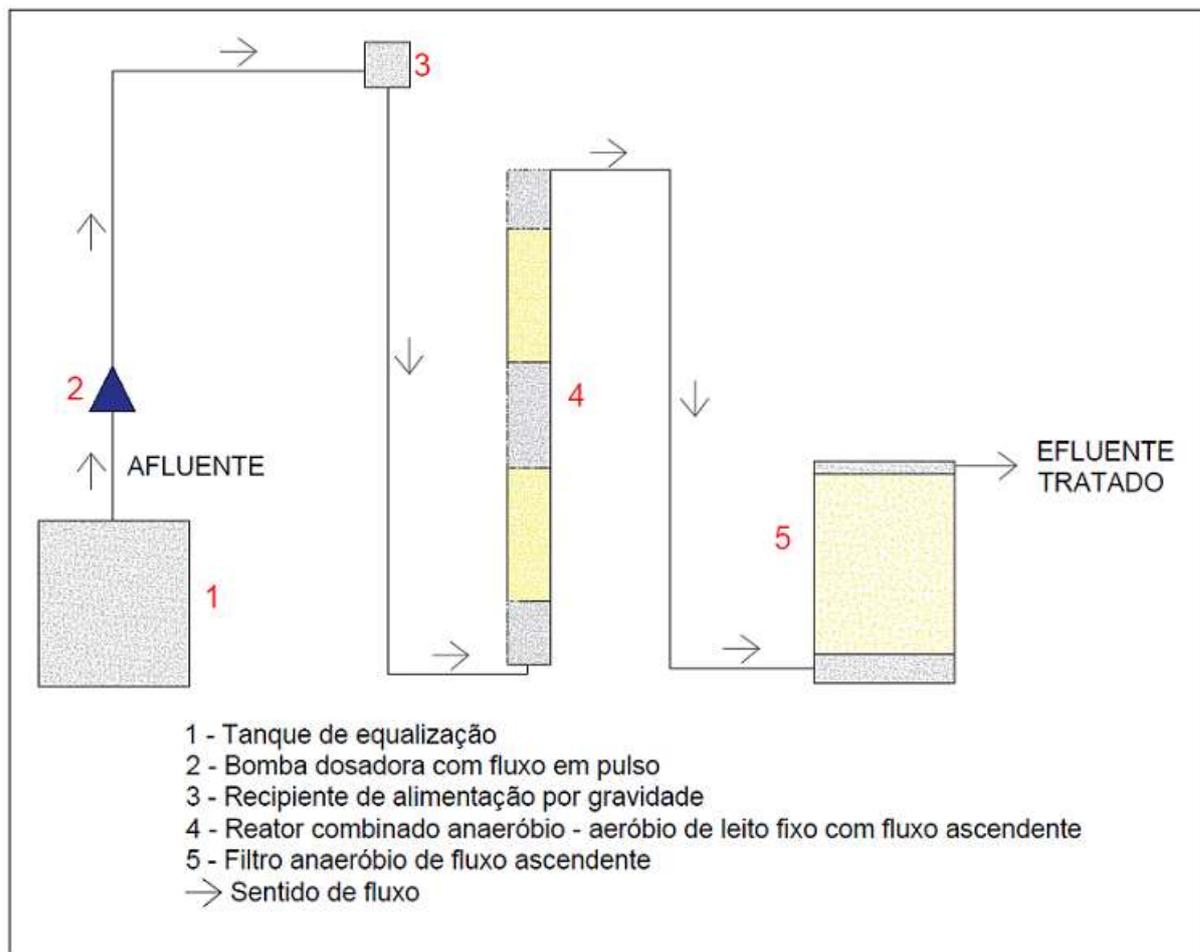


Figura 8 – Desenho esquemático do sistema operado (Fonte: Autor, 2018).

As amostras eram coletadas 2 vezes por semana, na terça e quinta coleta de afluente bem como quarta e sexta coleta de efluentes. A coleta dos efluentes se dava com a coleta do

efluente do reator e coleta do efluente do filtro anaeróbio. As amostras eram armazenadas em garrafas plásticas de aproximadamente 300 mL.

No laboratório de saneamento do Campus Sertão só era possível fazer a análise do pH e da vazão, devido a problemas com a falta de aparelhos para realização das análises laboratoriais. Contudo, para análise dos demais parâmetros as amostras eram congeladas e levadas para o Laboratório de Saneamento Ambiental do Centro de Tecnologia – CTEC do Campus A. C. Simões para a realização da análise dos parâmetros. Portanto, tem-se na tabela 7 todos os parâmetros analisados bem como os métodos utilizados e a frequência de amostragem.

<b>Parâmetro</b>	<b>Método de Análise</b>	<b>Frequência de Amostragem</b>
DQO bruta	Espectrofotométrico	2 x semana
DQO filtrada	Espectrofotométrico	2 x semana
SST	Gravimétrico	2 x semana
SSV	Gravimétrico	2 x semana
NH4+	Titulométrico	2 x semana
NO3-	Titulométrico	2 x semana
pH	Potenciométrico	4 x semana
Vazão		Diária

Tabela 7 – Parâmetros analisados (Fonte: Autor, 2018)

#### **4.4 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE REUSO**

Para avaliar o desempenho do filtro anaeróbio como pós tratamento do efluente do reator para reutilização como água de reuso, utilizou-se o Manual de Conservação e Reuso de Água em Edificações elaborado no ano de 2005 com o convênio entre ANA, SAS/ANA, FIESP, DMA, SINDUSCON/SP e COMASP. Nesse manual temos a representação das classes de reuso, com as características mínimas para cada tipo de utilização.

Como demonstrado na Tabela 8 as classes de reuso são divididas em 4, com isso cada classe tem definidas suas características mínimas. Dentre essas classes utilizaremos como consulta somente os dados que foram feitas as análises para essa operação demonstrados na Tabela 7 e, com isso demonstraremos se o efluente se encaixa.

Para isso, em consulta ao manual temos representadas todas os parâmetros que devem ser observados e suas respectivas concentrações. Na Tabela 8 temos representada a classe 1, temos os seguintes parâmetros com suas respectivas concentrações.

<b>Classe 1</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Concentrações</b>
Coliformes fecais	Não detectáveis
pH	Entre 6,0 e 9,0
Cor (UH)	$\leq 10$
Turbidez (UT)	$\leq 2$
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	$\leq 1$
DBO (mg/L)	$\leq 10$
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Nitrato (mg/L)	$< 10$
Nitrogênio amoniacal (mg/L)	$\leq 20$
Nitrito (mg/L)	$\leq 1$
Fósforo total (mg/L)	$\leq 0,1$
Sólido suspenso total (mg/L)	$\leq 5$

Tabela 8 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 1 (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005).

Na Tabela 9 temos representada a classe 2, sendo demonstrados os seguintes parâmetros com suas respectivas concentrações.

<b>Classe 2</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Concentrações</b>
Coliformes fecais (NMP/100 ml)	$\leq 1000/\text{ml}$
pH	Entre 6,0 e 9,0
Odor e aparência	Não desagradáveis
Óleos e graxas (mg/L)	$\leq 1,0$
DBO (mg/L)	$\leq 30$
Compostos orgânicos voláteis	Ausentes
Sólidos suspensos totais (SST)	$\leq 30$

Tabela 9 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 2 (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005).

Na Tabela 10 temos representada a classe 3, sendo demonstrados os seguintes parâmetros com suas respectivas concentrações.

<b>Classe 3</b>	
<b>Parâmetros</b>	<b>Concentrações</b>
pH	Entre 6,0 e 9,0
Nitrogênio total (mg/L)	5 – 30
DBO (mg/L)	$< 20$
Turbidez (UT)	$< 5$
Sólidos suspensos totais (SST)	$< 20$
Cor aparente (UH)	$< 30$
Coliformes fecais (NPM/100 ml)	$\leq 200/100$

Tabela 10 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 2 (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005).

Na Tabela 11 temos representada a classe 4, sendo demonstrados os seguintes parâmetros com suas respectivas concentrações.

<b>Classe 4</b>		
<b>Parâmetros</b>	<b>Concentrações</b>	
	<b>Sem recirculação</b>	<b>Com recirculação</b>
Sólidos dissolvidos totais (mg/L)	≤ 1000	≤ 500
Sólidos em suspensão totais (mg/L)	≤ 5000	≤ 100
pH	5,0 – 8,3	6,8 – 7,2
Coliformes totais (NMP/100 ml)	Sem recomendação	2,2/100
Sulfato (mg/L)	≤ 680	≤ 200
Fósforo (mg/L)	Sem recomendação	≤ 1,0
Oxigênio dissolvido	Presente	Sem recomendação
DQO (mg/L)	≤ 75	≤ 75

Tabela 11 – Exigências dos parâmetros para classe de reuso 4 (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005).

Com isso, fez-se a análise comparativa entre os parâmetros analisados com as recomendações das classes de reuso para atestar em quais classes o efluente do sistema reator combinado anaeróbio-aeróbio e filtro anaeróbio se enquadra.

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

A operação do sistema durou 60 dias corridos, onde após a inoculação e o início da alimentação preferiu-se esperar alguns dias antes da coleta de amostras para que não houvesse a influência de sólidos grosseiros advindos da inoculação durante a coleta do efluente. Com isso, a coleta das amostras se deu após 5 dias do início da operação.

### 5.1 RESULTADOS GERAIS

Ao verificar o perfil temporal representado na Figura 9 da eficiência de remoção, em porcentagem, de DQO bruta, DQO filtrada, SST e SSV percebe-se que a partir dos 35 dias de operação o sistema não apresentou mais mudanças bruscas de valores, o que pode caracterizar estabilização do processo de digestão anaeróbia. Para sistemas que iniciam a operação sem proceder a inoculação, o tempo de estabilização, em média, dura cerca de 90 dias (CHERNICHARO, 2016)

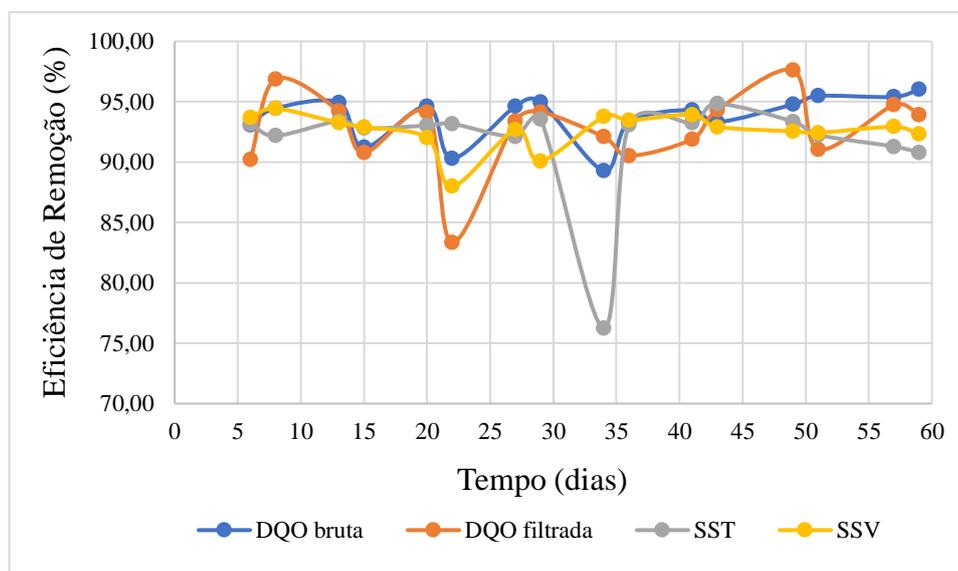


Figura 9 – Análise da estabilização do sistema (Fonte: Autor, 2018).

A Figura 10 mostra o perfil temporal dos resultados obtidos com os valores de afluente e efluentes do reator e filtro para DQO bruta. O valor médio para o afluente foi de  $600 \pm 128$  mg/L, já para efluente foram encontrados os valores médios de  $94 \pm 19$  mg/L e  $32 \pm 6$  mg/L para reator e filtro, respectivamente. Os efluentes apresentaram eficiência de 81% para o reator e 66% para o filtro, resultando em um valor médio de 94% de eficiência global de remoção de DQO bruta.

Na Figura 11 está representado o perfil temporal para os resultados de afluente e efluentes para DQO filtrada. O valor médio do esgoto bruto afluente foi de  $239 \pm 74$  mg/L, para os efluentes do reator e filtro foram encontrados valores médios de  $25 \pm 8$  mg/L e  $13 \pm 5$  mg/L.

O sistema apresentou eficiência global de remoção média de 93% para DQO filtrada, sendo 88% de remoção no reator e 40% no filtro.

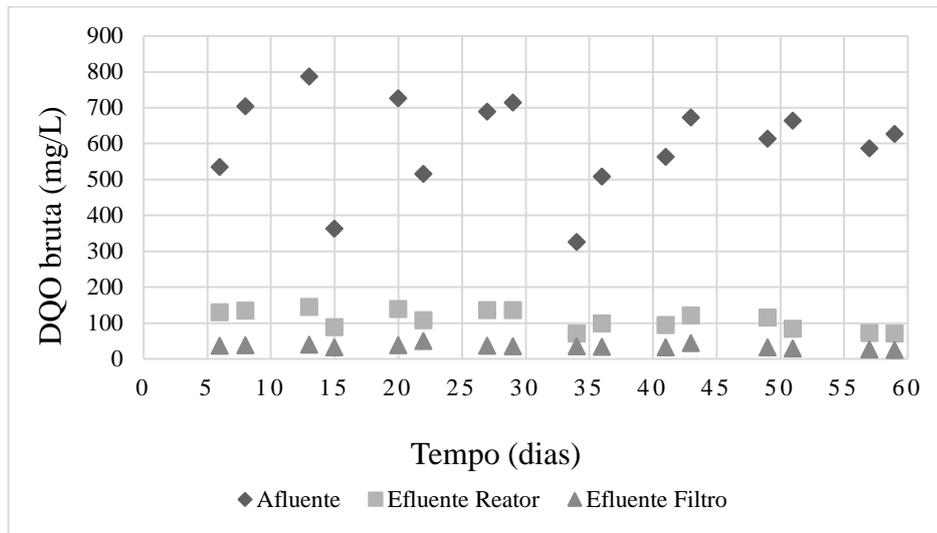


Figura 10 – Perfil temporal da remoção de DQO bruta (Fonte: Autor, 2018).

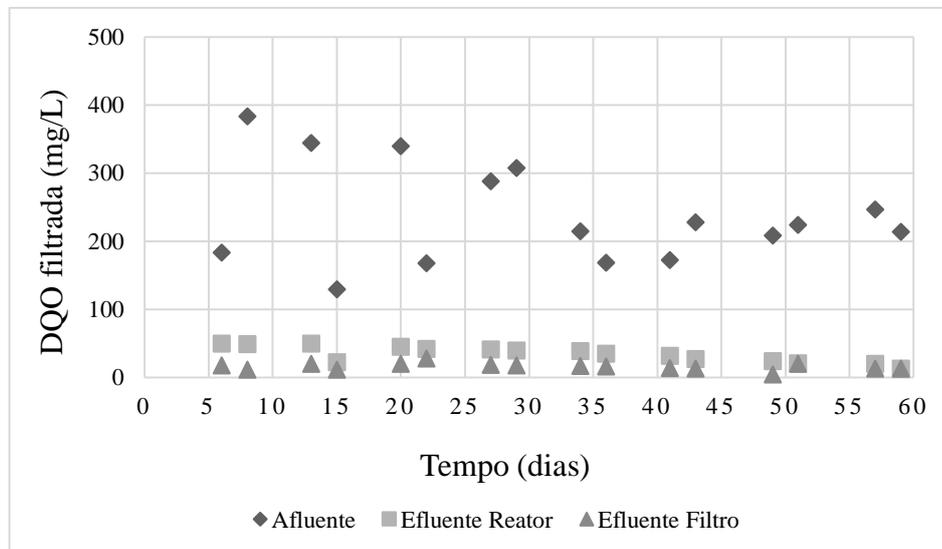


Figura 11 – Perfil temporal da remoção de DQO filtrada (Fonte: Autor, 2018).

O reator se comportou de maneira esperada, atingindo valor médio superior à 80% na remoção de DQO bruta. Magassy (2017) operou um reator combinado anaeróbio-aeróbio com TDH de 8h, utilizando também a espuma de poliuretano e alcançou valor médio de 73% na remoção de DQO bruta. Oliveira Netto (2007) também operando um reator combinado anaeróbio-aeróbio com TDH de 11h alcançou valor médio superior a 90% na remoção de DQO. Já Abreu e Zaiat (2008) conseguiram reduzir de  $259 \pm 69$  mg/L para  $93 \pm 31$  mg/L a DQO em reator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo com TDH de 12 h, alcançando eficiência de 64% de remoção da DQO.

Já o filtro biológico se mostrou eficiente no pós tratamento do efluente do reator, atingindo valores 66% e 94% para remoção da DQO bruta do filtro e do sistema completo. Podemos tomar como exemplo alguns trabalhos utilizando sistemas UASB + FB, como Machado e Chernicharo (1997) onde foram analisados 2 filtros biológicos (fluxos ascendente e descendente) para o pós tratamento do efluente de reator UASB, encontrado valores de 91% na remoção total de DQO para filtro de fluxo ascendente e 93% para descendente. Já Nascimento (2001), operando o sistema composto por UASB e filtro biológico percolador com pequena altura de meio suporte encontrou resultados médios variando de 74 a 88% na remoção de DQO.

Na análise de sólidos suspensos as Figuras 12 e 13 demonstram os perfis temporais dos resultados obtidos para sólidos suspensos totais (SST) e sólidos suspensos voláteis (SSV). Para sólidos suspensos totais foram encontrados valores médios de  $343 \pm 113$  mg/L para afluente,  $48 \pm 4$  para efluente do reator e  $23 \pm 2$  para efluente do filtro biológico. Portanto, encontraram-se valores de 85%, 52% e 93% para eficiência de remoção de SST no reator, filtro biológico e remoção global no sistema.

Já para sólidos suspensos voláteis, foram encontrados valores médios de  $238 \pm 74$ ,  $33 \pm 8$  e  $15 \pm 1$  para afluente e efluentes de reator e filtro. Com isso, encontraram-se valores de 85% de eficiência para o reator, 53% para o filtro biológico e 93% na remoção global do sistema. Os resultados foram considerados bastante expressivos, visto que após a estabilização do sistema o sistema mostrou-se extremamente eficiente na remoção de sólidos suspensos.

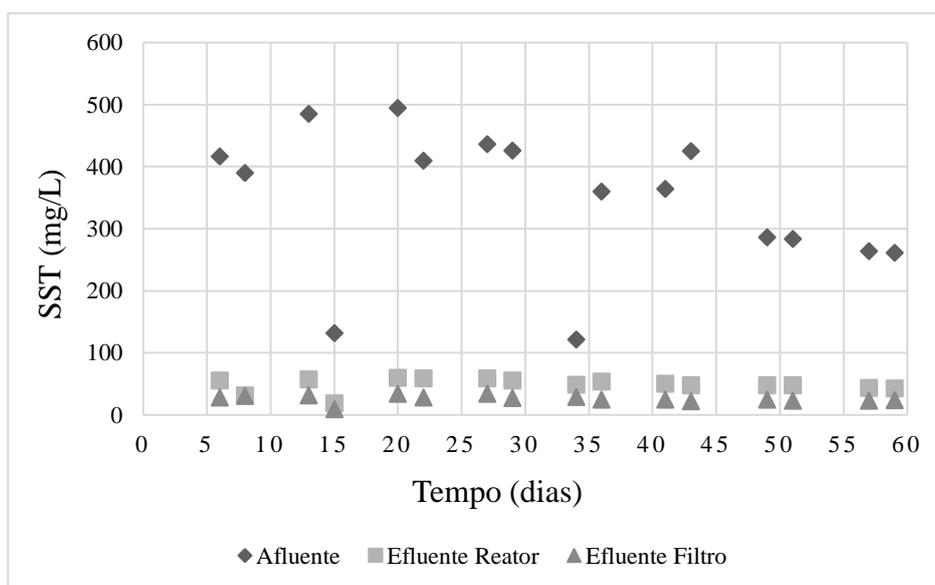


Figura 12 – Perfil temporal da remoção de SST (Fonte: Autor, 2018).

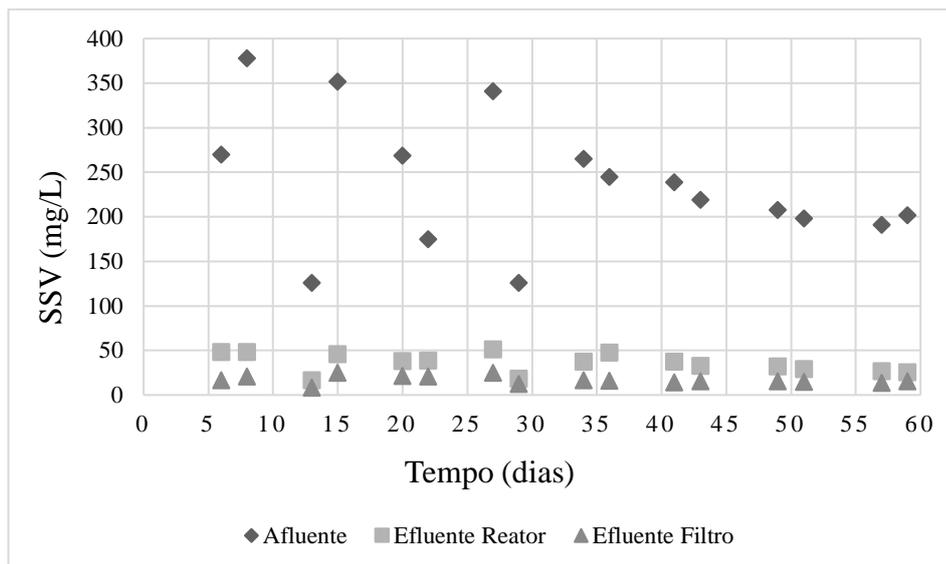


Figura 13 – Perfil temporal da remoção de SSV (Fonte: Autor, 2018).

Os resultados encontrados com a combinação do reator combinado anaeróbio-aeróbio e filtro biológico na remoção de sólidos sedimentáveis foram considerados muito bons, tendo em vista os trabalhos realizados por Machado e Chernicharo (1997) e Nascimento (2001), ambos tratando esgoto sanitário utilizando as variações de UASB + FB obtiveram resultados de 15 mg/L e 40 mg/L nos efluentes finais para sólidos suspensos totais, atestando a semelhança com os resultados encontrados no presente trabalho.

Durante a operação, ao fazer a coleta das amostras era feito a análise do potencial hidrogeniônico (pH). Entre outras finalidades, a maior preocupação da relação desse parâmetro era a análise da sua variação para ter como primeiro indicio que o reator estaria em fase de nitrificação, e com isso o início do processo recirculação do sistema. Na Figura 14 está representado o perfil temporal dos valores de pH no afluente e efluentes.

Os valores médios de pH encontrados foram de  $8,46 \pm 0,28$  para afluente,  $7,88 \pm 0,42$  para efluente do reator e  $8,20 \pm 0,34$  para efluente do filtro. Segundo Chernicharo (2016) os microrganismos produtores de metano têm um crescimento ótimo com pH entre 6,6 e 7,4, mas pode-se alcançar a estabilidade com uma faixa mais ampla, variando o pH entre 6,0 e 8,0. Mas, é recomendado que os reatores anaeróbios evitem trabalhar com valores de pH acima de 8,0 ou abaixo de 6,5. Com isso, percebemos que ao analisar faixa de variação do pH e os valores da eficiência de remoção da matéria orgânica e sólidos sedimentáveis no presente trabalho mostraram que a operação seguiu dentro do recomendado.

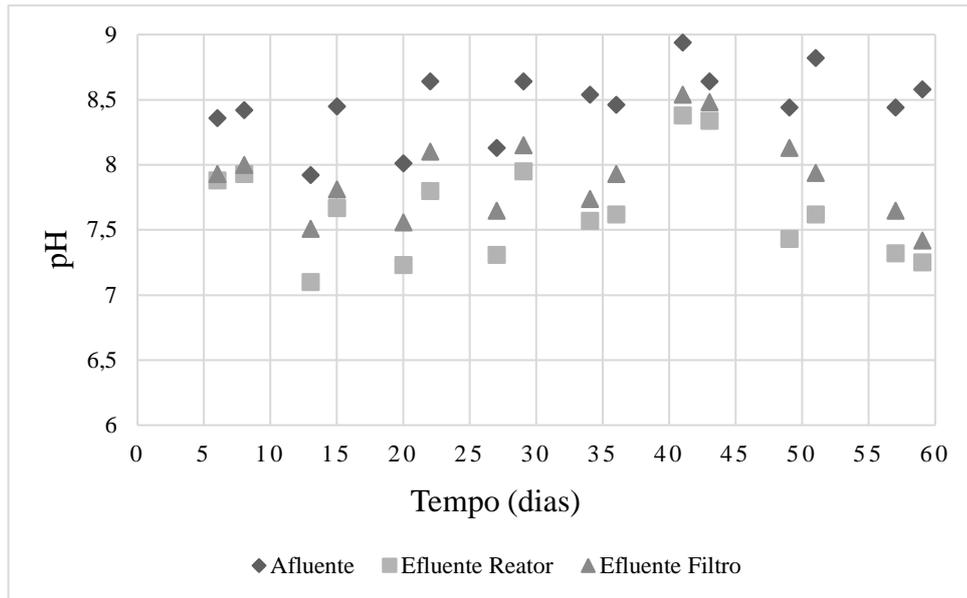


Figura 14 – Perfil temporal da variação do pH (Fonte: Autor, 2018).

Diante da variação do pH e dos perfis temporais de amônio ( $NH_4^+$ ) e nitrato ( $NO_3^-$ ) representados nas Figuras 15 e 16, podemos analisar o ciclo do nitrogênio no interior do reator. A análise da nitrificação foi feita no pH, visto que durante a fase de nitrificação o íon amônio ( $NH_4^+$ ) sofre oxidação a nitrito ( $NO_2^-$ ) e posteriormente o nitrito é oxidado a nitrato ( $NO_3^-$ ). A presença do nitrito no esgoto pode ocasionar queda no pH, podendo, se não houver monitoramento, problemas na operação. Portanto, durante as coletas das amostras eram feitas análises do pH para monitoramento da nitrificação.

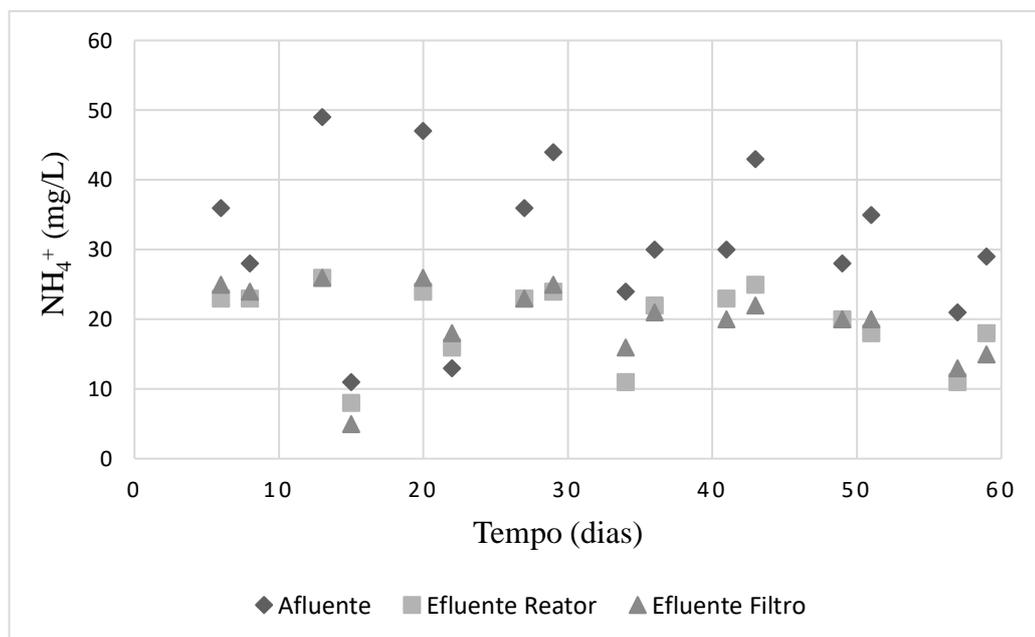


Figura 15 – Perfil temporal da variação do íon amônio  $NH_4^+$  (Fonte: Autor, 2018).

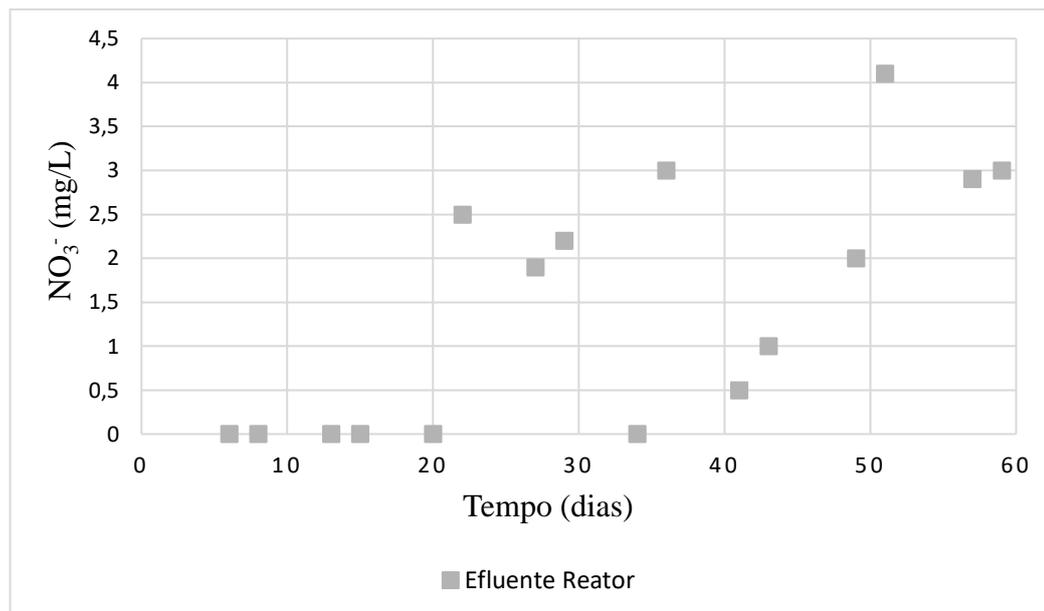


Figura 16 – Perfil temporal da variação do nitrato  $NO_3^-$  (Fonte: Autor, 2018).

Os valores médios de  $NH_4^+$  foram de  $32 \pm 11$  mg/L para afluente,  $20 \pm 5$  para efluente do reator e  $19 \pm 3$  para efluente do filtro. Em alguns dias o valor do efluente do filtro foi maior que o do reator, processo normal quanto a digestão anaeróbia, visto que durante o ciclo do nitrogênio no sistema do reator (primeiro passando por uma fase anaeróbia e posteriormente a fase aeróbia) e sendo direcionado a um filtro anaeróbio a tendência é que no processo aeróbio ocorra a redução desse componente, com a conversão em nitrito e nitrato e como o efluente foi lançado para um processo de digestão anaeróbia no filtro biológico, podendo ai ocorrer tal fenômeno.

Analisando o perfil temporal do nitrato ( $NO_3^-$ ) na Figura 16 percebe-se que não houve uma conversão eficiente do amônio em nitrato, fazendo com que não houvesse o processo de nitrificação. Isso pode ter ocorrido por falha no processo de aeração do reator, visto que o oxigênio é um requisito obrigatório para a nitrificação. Por esse motivo, não houve recirculação no sistema durante a operação.

Se analisarmos os trabalhos realizados por Magassy (2017) e Oliveira Netto (2007) a recirculação do efluente tratado no reator proporcionou melhoras na remoção de matéria orgânica e nitrogênio. Mas, no presente trabalho, apesar de que não houve a recirculação a remoção da matéria orgânica foi eficiente, se considerada somente a parcela de remoção no reator, mas apresentou números inferiores na remoção de nitrogênio.

Outros dois parâmetros analisados para fazer a classificação do filtro biológico foram a carga hidráulica ( $m^3/m^2.dia$ ) e a carga orgânica volumétrica, em termos de  $kg.DBO/m^3.dia$

como demonstrados nas equações 5.1 e 5.2, respectivamente. Para trabalhar em termos de DBO, consideramos que, para o tratamento de esgoto doméstico a relação entre DQO e DBO pode variar de 1,6 e 2,4. Portanto para analisar os valores médios de DBO, adotaremos o valor 2 como valor absoluto na relação entre DQO e DBO.

$$Carga\ Hidráulica = \frac{Vazão}{Área\ superficial\ do\ filtro} \quad (5.1)$$

$$Carga\ Orgânica\ Volumétrica = \frac{DQO\ bruta\ (afluente) \times Vazão}{Volume\ de\ material\ suporte} \quad (5.2)$$

Os valores médios encontrados foram de  $0,083 \pm 0,017$  kgDBO/m<sup>3</sup>.dia para carga orgânica volumétrica e  $0,425$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia para carga hidráulica. Com isso, podemos classificar o filtro biológico como sendo de baixa capacidade, pois de acordo com Jordão e Pessoa (2011), onde para valores de carga hidráulica inferior a  $5$  m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia e carga orgânica volumétrica abaixo de  $0,3$  kgDBO/m<sup>3</sup>.dia o filtro pode ser considerado de baixa capacidade. E, também afirma que esse tipo de filtro é de operação simples, sem recirculação e pode apresentar elevada eficiência na remoção de matéria orgânica, com valores de 80 a 90%, sendo aplicados a pequenas ETE.

## 5.2 ANÁLISE DA VIABILIDADE DE REUSO

O principal objetivo desse trabalho foi a inserção do filtro biológico como pós tratamento do efluente advindo do reator combinado anaeróbio-aeróbio. Com isso, esperava-se que o efluente tivesse excelente qualidade e tivesse a possibilidade de utilizado como água de reuso. Percebe-se que o sistema teve resultados excelentes, com eficiência de remoção da maioria dos parâmetros analisados acima de 90%.

Na Tabela 12 estão demonstrados todos os resultados médios encontrados para os parâmetros analisados durante a operação e que serão utilizados como base para análise de viabilização do reuso do efluente tratado. Como somente a DQO foi analisada em laboratório, utilizaremos novamente a relação entre DQO e DBO com valor absoluto 2 para as análises.

Parâmetros	Afluente	Efluente Reator	Efluente Filtro Biológico
DQO bruta (mg/L)	$600 \pm 128$	$94 \pm 19$	$32 \pm 6$
DBO bruta (mg/L)	$300 \pm 64$	$47 \pm 10$	$16 \pm 3$
DQO filtrada (mg/L)	$239 \pm 74$	$25 \pm 8$	$13 \pm 5$
SST (mg/L)	$347 \pm 113$	$48 \pm 4$	$23 \pm 2$
SSV (mg/L)	$238 \pm 74$	$33 \pm 8$	$15 \pm 1$
NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> (mg/L)	$32 \pm 11$	$20 \pm 5$	$19 \pm 3$
pH	$8,46 \pm 0,28$	$7,88 \pm 0,42$	$8,20 \pm 0,34$

Tabela 12 – Resultados médios dos parâmetros analisados (Fonte: Autor, 2018).

Para isso, como já demonstrado no item 4.4 da metodologia foram explanadas as características para adequação em classes de reuso de águas residuárias. Para a análise de viabilidade de reuso, utilizaremos de acordo com cada classe de reuso os parâmetros possíveis com os analisados no presente trabalho. Na Tabela 13 estão representados todos os parâmetros em comum separados por classe de reuso, quando não houve recomendação de concentração para o parâmetro, o mesmo será preenchido com um x.

Parâmetro	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	
				Sem recirculação	Com recirculação
	Concentração	Concentração	Concentração	Concentração	
DQO (mg/L)	x	x	x	≤ 75	≤ 75
DBO (mg/L)	≤ 10	≤ 30	< 20	x	x
SST (mg/L)	≤ 5	≤ 30	< 20	≤ 5000	≤ 100
SSV (mg/L)	x	x	x	x	x
$NH_4^+$ (mg/L)	≤ 20	x	5 a 30	x	x
pH	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	6,0 a 9,0	5,0 a 8,3	6,8 a 7,2

Tabela 13 – Parâmetros em comum separados por classe de reuso (Fonte: Adaptado SAUTCHUK et al, 2005).

Para a classe 1, tem-se os valores recomendados de ≤ 10 mg/L para DBO, ≤ 5 mg/L para SST, ≤ 20 mg/L para  $NH_4^+$  e variação aceitável de 6,0 a 9,0 para o pH. Portanto, analisando os valores obtidos para DBO e SST, 16 e 23 mg/L, percebe-se que foram ultrapassadas as concentrações recomendadas e, com isso o efluente do filtro biológico não foi considerado satisfatório para reutilização do efluente tratado na classe de reuso 1.

Analisando a classe 2, com concentrações de ≤ 30 mg/L recomendados tanto para DBO quanto para SST e com variação aceitável de 6,0 a 9,0 para o pH percebe-se que o efluente tratado do filtro biológico com valores de 16 e 23 mg/L para DBO e SST e 8,20 para o pH atende as recomendações e pode ser reutilizado na classe 2.

Na classe 3 foram impostas concentrações com valores de < 20 mg/L para DBO e SST, 5 a 30 para  $NH_4^+$  e variação aceitável de 6,0 a 9,0 para Ph. Logo, o efluente biológico só apresentou SST, com concentração média de 23 mg/L, que não se enquadrou nas concentrações recomendadas para a classe 3.

A classe 4 é dividida em 2 partes, para uso do efluente com recirculação e sem recirculação. Analisando as partes, os valores mínimos das concentrações recomendadas são de ≤ 75 mg/L para DQO, ≤ 100 para SST e variação do pH de 5,0 a 8,3 para uso sem recirculação e 6,8 a 7,2 com recirculação. Logo, analisando o efluente do filtro biológico para DQO e SST, com valores de 16 e 23 mg/L, se enquadra sem problemas nas recomendações, mas analisando

o pH médio que foi de 8,20 percebe-se que o mesmo se torna inviável para uso com recirculação. Portanto, para a classe 4 o efluente se torna utilizável quando o sistema for sem recirculação.

Portanto, o efluente do filtro biológico se enquadra nas classes 2 e 4 sem recirculação para reuso do esgoto tratado. Um ponto a ser analisado foi a importância da inserção do filtro biológico no pós tratamento do reator, se comparados os valores médios do efluente do reator com as classes 2 e 4, têm-se os seguintes resultados demonstrados na Tabela 14, para análise comparativa.

Parâmetro	Classe 2	Classe 4 (Sem recirculação)	Efluente Reator
	Concentração	Concentração	Concentração
DQO (mg/L)	x	≤ 75	94
DBO (mg/L)	≤ 30	x	47
SST (mg/L)	≤ 30	≤ 5000	48
SSV (mg/L)	x	x	33
$NH_4^+$ (mg/L)	x	x	20
pH	6,0 a 9,0	5,0 a 8,3	7,88

Tabela 14 – Análise comparativa entre as classes 2 e 4 com o efluente do reator (Fonte: Autor, 2018).

Portanto, nota-se que o efluente do reator não se enquadra nas classes 2 e 4 de acordo com os parâmetros analisados. Sem a presença do filtro biológico o efluente do reator combinado anaeróbio-aeróbio não teria condições para ser reutilizado em nenhuma das classes apresentadas. Logo, foi de extrema importância a inserção do filtro nesse sistema fazendo com que o efluente tivesse uma excelente qualidade e possibilitasse o reuso do esgoto tratado.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Os resultados obtidos na operação do sistema reator combinado anaeróbio-aeróbio e filtro biológico mostraram que esse sistema apresenta elevada eficiência na remoção de poluentes, principalmente matéria orgânica. Apesar dos poucos parâmetros analisados os resultados obtidos foram bastantes expressivos.

Quanto aos níveis de remoção de matéria orgânica e sólidos suspensos a inserção do filtro biológico deu um polimento final ao efluente, visto que os resultados encontrados foram bastante expressivos. Essa combinação foi interessante pelo baixo custo de investimento, simplicidade operacional e os ótimos resultados encontrados.

Na análise da viabilidade de reuso do efluente final, foram obtidos bons resultados quanto as parâmetros e classes, mas, ressaltando a importância da presença do filtro biológico no pós-tratamento do efluente do reator, visto que, somente o reator não seria capaz de fornecer um efluente de qualidade para ser reutilizado, de acordo com as classes analisadas.

Entretanto, percebe-se que o sistema não atingiu melhor eficiência e não foi possível atingir diferentes fases do tratamento por questões acadêmicas e dificuldades encontradas na infraestrutura com a falta de equipamentos do campus. Da mesma forma os poucos parâmetros analisados forneceram resultados bons, mas que seria recomendado analisar mais a fundo outros parâmetros e tornar a análise do experimento mais completa.

Por fim, a operação realizada demonstrou resultados bons em um curto período de tempo onde foi alcançado o principal objetivo, da análise do desempenho do filtro biológico visando o reuso do esgoto sanitário. Logo, é de extrema importância a exploração das diversas formas do tratamento biológico de esgoto sanitário visando sempre efluentes de melhor qualidade.

## 7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABREU, S. B.; ZAIAT, M. **Desempenho de reator anaeróbio anaeróbio-aeróbio de leito fixo no tratamento de esgoto sanitário.** Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 13 – n. 2, p. 181 - 188, 2008.
- ALMEIDA, P. G. S. de.; **Efeito de diferentes tipos de meio suporte no desempenho de filtros biológicos percoladores aplicados ao pós-tratamento de efluentes de reatores UASB, com ênfase na nitrificação.** 156 p, Dissertação (Mestrado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2007.
- CALLADO, N. H. **Reatores sequenciais em batelada em sistema anaeróbio/aeróbio tratando esgoto sanitário sintético e com remoção de nutrientes.** 353 p, Tese (Doutorado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2001.
- CAMPOS et al. **Tratamento de esgotos sanitários por processo anaeróbio e disposição controlada no solo.** (Projeto PROSAB). São Carlos, 1999.
- CHERNICHARO, C. A. L. et al. **Pós-tratamento de efluentes de reatores anaeróbios.** (Projeto PROSAB). Belo Horizonte, 2001.
- CHERNICHARO, C. A. L. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias volume 5: reatores anaeróbios 2 ed.** Belo Horizonte: UFMG, 2016.
- CUTOLO, S. A. **Reuso de águas residuárias e saúde pública.** p. 9-13, São Paulo: Annablume, 2009.
- FONTANA, H. **Pós-tratamento de esgoto sanitário com biofiltro aerado submerso preenchido com carvão granular: desempenho técnico e estudo de viabilidade econômica.** 151 p, Dissertação (Mestrado em Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.
- IBGE. **Pesquisa nacional do saneamento básico (2008).** Rio de Janeiro, 2010.
- JORDÃO, E.P.; PESSOA, C.A. **Tratamento de esgotos domésticos, 6 ed.** p. 467 – 484. Rio de Janeiro: ABES, 2011.
- MACHADO, R. M. G.; CHERNICHARO, C. A. de L.; **Avaliação de desempenho de filtros anaeróbios utilizados para o polimento de efluentes de um reator UASB.** 19ª Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.
- MAGASSY, T. B.; **Desempenho de reator combinado anaeróbio-aeróbio, tratando esgoto sanitário, a diferentes razões de recirculação.** 54 p. Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas – Campus do Sertão. Delmiro Gouveia, 2017.
- MIERZWA, J. C. **O uso racional e o reuso como ferramentas para o gerenciamento de águas e efluentes na indústria – estudo de caso da Kodak brasileira.** 399p, Tese (Doutorado em Engenharia: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Paulo, 2002.
- MINISTÉRIO DE MINAS E ENERGIA – MME. **Perfil de brita para construção civil.** Brasília, 2009.

MOTA, S.; BEZERRA, F. C.; TOMÉ, L. M. **Avaliação de desempenho de culturas irrigadas com esgoto tratado.** 19<sup>a</sup> Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 1997.

NASCIMENTO, M. C. P. **Filtro biológico percolador de pequena-altura de meio suporte aplicado ao pós-tratamento de efluente de reator UASB.** 181 p, Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Saneamento), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2001.

OLIVEIRA NETTO, A. P. de. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo em escala piloto, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** 195 p, Tese (Doutorado em Ciências: Engenharia Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2011.

OLIVEIRA NETTO, A. P. de. **Reator anaeróbio-aeróbio de leito fixo, com recirculação da fase líquida, aplicado ao tratamento de esgoto sanitário.** 207 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Hidráulica e Saneamento) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2007.

PONTES, P. P. **Reatores UASB aplicados ao tratamento combinado de esgotos sanitários e lodo excedente de filtro biológico percolador.** 198 p. Tese (Doutorado em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos: Saneamento), Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, 2003.

RAZZOLINI, M. T. P. **Avaliação sanitária de águas residuárias provenientes de lagoas de estabilização para irrigação de culturas agrícolas no estado de São Paulo.** 207p, Tese (Doutorado em Saúde Pública), Universidade de São Paulo. São Paulo, 2003.

SILVA, R. F. **Avaliação da viabilidade de reuso da água cinza tratada em filtro biológico.** Trabalho de Conclusão de Curso. Universidade Federal de Alagoas. Delmiro Gouveia, 2017.

SAUTCHUK, C. et al. **Conservação e reuso da água em edificações.** São Paulo: Prol Editora Gráfica, 2005.

SOUSA JUNIOR, O. L. de.; **Avaliação das valas de infiltração como método de pós-tratamento de efluente anaeróbio: remoção natural de patógenos e nutrientes na aplicação de altas taxas hidráulicas.** 246 p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil: Saneamento e Ambiente), Universidade Estadual de Campinas. Campinas, 2006.

SOUZA, R. C. de.; ISOLDI, L. A.; OLIZ, C. M. **Tratamento de esgoto doméstico por filtro anaeróbio com recheio de bambu.** Vetor, Rio Grande, v.20, n.2, p 5 – 19, 2010.

TONETTI, A. L et al. **Tratamento de esgoto e produção de água de reuso com o emprego de filtros de areia.** Engenharia Sanitária e Ambiental, v.17, n.3, p 287 – 297, Campinas, 2012.

TRATA BRASIL. **Situação do saneamento no Brasil.** Disponível em: < <http://www.tratabrasil.org.br/saneamento-no-brasil>>. Acesso em 16 de dezembro de 2018.

VALE, M. B. do. **Avaliação da eficiência da remoção de matéria orgânica e microbiológica de três sistemas de lagoas de estabilização em série na grande Natal-RN: Beira Rio, Jardim Lola I e Jardim Lola II.** 110 p, Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária), Universidade Federal do Rio Grande do Norte. Natal, 2007.

VON SPERLING, M. **Princípios do tratamento biológico de águas residuárias volume 1: introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgoto 2 ed.** Belo Horizonte: UFMG, 1996. p. 197 – 202.