

**FUNDAÇÃO ESCOLA DE SOCIOLOGIA E POLÍTICA DE SÃO PAULO**  
**MBA SANEAMENTO AMBIENTAL**

Kaue Guedes Duarte

**Disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e eficiência na  
redução de DBO dos processos de tratamento de esgoto mais utilizados no  
Brasil**

São Paulo  
2020

Kaue Guedes Duarte

**Disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e eficiência na  
redução de DBO dos processos de tratamento de esgoto mais utilizados no  
Brasil**

Monografia apresentada à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob a orientação do professor Elcires Pimenta Freire.

São Paulo  
2020

Biblioteca FESPSP – Catalogação-na-Publicação (CIP)

628.3

D812d Duarte, Kaue Guedes.

Disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e eficiência na redução de DBO dos processos de tratamento de esgoto mais utilizados no Brasil / Kaue Guedes Duarte. – 2020.

43 p. : il. ; 30 cm.

Orientador: Prof. Elcires Pimenta Freire.

Trabalho de Conclusão de Curso (MBA em Saneamento Ambiental) – Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo.

Bibliografia: p. 40-43.

1. Processos de Tratamento do Esgoto. 2. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO). I. Freire, Elcires Pimenta. II. Título.

CDD 23. : Tratamento de esgoto – Tecnologia 628.3

Elaborada por Éderson Ferreira Crispim CRB-8/9724

Kaue Guedes Duarte

Disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e eficiência na redução de DBO dos processos de tratamento de esgoto mais utilizados no Brasil

Monografia apresentada à Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo, como exigência parcial para obtenção do título de *Master in Business Administration* em Saneamento Ambiental, sob a orientação do professor Elcires Pimenta Freire.

Data de aprovação:

\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_/\_\_\_\_\_.

Banca examinadora:

\_\_\_\_\_

Luciana Pranzetti Barreira, Prof. Dra.,

Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo - FESPSP

\_\_\_\_\_

Dr. Mário Sérgio Rodrigues, Prof. Dr.,

Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo - FESPSP

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço a Deus por ter me concedido a vida, saúde, família e amigos. Também agradeço pelas oportunidades dadas e pelo crescimento profissional.

Ao Professor Elcires Pimenta Freire, pela orientação, auxílio e apoio para que eu realizasse este estudo.

À minha esposa, Tainã, que sempre está ao meu lado, me apoiando nos momentos difíceis e me acompanhando nos bons momentos da vida.

Agradeço também aos meus pais, Arlete e Marco, que me educaram e ensinaram que o melhor investimento é o estudo.

A todos os professores e equipe da Fundação Escola de Sociologia e Política do Estado de São Paulo (FESPSP) pela dedicação e conhecimentos transmitidos.

À Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo (SABESP) pela oportunidade e aos meus colegas de trabalho pelo incentivo para a realização desse MBA.

## RESUMO

O lançamento de esgoto com tratamento inadequado ou sem tratamento em corpos receptores compromete a qualidade da água gerando risco a saúde pública e danos ao meio ambiente. Por isso, é importante a aplicação de processos de tratamento de esgoto com maiores níveis de eficiência na remoção da carga orgânica. Este estudo tem como objetivo comparar a eficiência de remoção da carga orgânica dos efluentes lançados nos corpos receptores após o tratamento, analisando os diversos processos de tratamento de esgotos sanitários utilizados no Brasil, listando suas vantagens e desvantagens e comparando-os quanto a disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) na entrada e saída das estações de tratamento. Para tanto, são comparadas Estações de Tratamento de Esgoto (ETEs) que utilizam processo de Lagoas de Estabilização, Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), Lodos Ativados, Reatores de Leito Móvel com Biofilme (MBBR), Biomassa Aeróbia Granular e Biorreator com Membrana (BRM), considerando a qualidade do efluente gerado nessas estações por meio da redução de DBO. Pelos dados apresentados neste estudo, pode-se perceber o avanço tecnológico nos processos de tratamento de esgoto no Brasil, onde as novas ETEs já estão utilizando os processos de MBBR, BRM e Biomassa Aeróbia Granular que possuem grande eficiência na remoção da carga orgânica, podendo ser considerados como processos de tratamento terciário, conseguindo, além de remover nutrientes, retirar grande parte da matéria orgânica do esgoto, resultando em um efluente com DBO menor, ou seja, com menos poluentes e em melhores condições. Palavras-chave: Processos de Tratamento do Esgoto. Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO).

## **ABSTRACT**

The sewage launch with inappropriate treatment or without treatment in receiving bodies compromises the quality of the water, generating risk to public health and damage to the environment. Therefore, it is important applying sewage treatment processes with higher levels of efficiency in removing organic load. This study aims to compare the efficiency of removing organic load rate of effluents discharged into the receiving bodies after treatment, analyzing the various sanitary sewage treatment process used in Brazil, listing their pros and cons and comparing them in terms of the availability of the area built and flow of treated sewage and the Biochemical Oxygen Demand (BOD) at the entry and exit of treatment plants. Therefore, were compared Sewage Treatment Plants (STP) that uses process of Waste Stabilization Pond, Upflow Anaerobic Sludge Blanket (UASB), Activated Sludge, Moving Bed Biofilm Reactor (MBBR), Aerobic Granular Biomass and Membrane Bio Reactor (MBR), considering the quality of the effluent generated at these stations through the BOD reduction. For the data presented in this study, could be seen the technological advance in the wastewater treatment processes in Brazil, where the new STP are already using the processes MBBR, MBR and Aerobic Granular Biomass that have great efficiency on removing organic load, considered as tertiary treatments processes, getting either removal of nutrients and much of the organic matter from the sewage, resulting in an effluent with lesser BOD, in other words, with less pollutants and in better conditions.

Keywords: Wastewater Treatment Processes. Biochemical Oxygen Demand (BOD).

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1	– ETE Sede, formada por duas lagoas facultativas.....	17
Figura 2	– ETE Morada do Vale II .....	18
Figura 3	– ETE Piero Floravante .....	19
Figura 4	– ETE Barra de São Francisco, formada por duas lagoas anaeróbias.....	20
Figura 5	– ETE Lins, formada por três conjuntos do sistema australiano.....	21
Figura 6	– ETE Free Way.....	22
Figura 7	– ETE Sapucaí Mirim.....	24
Figura 8	– ETE Rio Preto.....	24
Figura 9	– ETE ABC .....	26
Figura 10	– ETE Limoeiro.....	27
Figura 11	– ETE Vicente de Carvalho .....	28
Figura 12	– Modelo de Biomídia.....	29
Figura 13	– ETE Centro.....	30
Figura 14	– ETE Garcia.....	31
Figura 15	– ETE Jardim Novo .....	32
Figura 16	– ETE Capivari II .....	33



## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 1 – Comparação dos processos de Tratamento de Esgoto.....	34
--	----

## LISTA DE ABREVIATURAS

l	Litros
LA	Lodo Ativado
LA-AP	Lodo Ativado por Aeração Prolongada
LA-C	Lodo Ativado Convencional
LA-FI/B	Lodo Ativado de Fluxo Intermitente/em Batelada
LAE	Lagoa Aerada
LAN	Lagoa Anaeróbia
LD	Lagoa de Decantação
LF	Lagoa Facultativa
LM	Lagoa Maturação
m	Metros
pH	Potencial hidrogeniônico
red.	Redução
s	Segundos
SA	Sistema Australiano

## LISTA DE SIGLAS

ANA	Agência Nacional de Águas
BOD	<i>Biochemical Oxygen Demand</i>
BRM	Biorreator com Membrana
CAPEX	Despesas de Capital ou Investimento em Bens de Capital
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
FESPSP	Fundação Escola de Sociologia e Política de São Paulo
IFAS	Lodo Ativado com Biofilme Integrado
MBBR	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (Reatores de Leito Móvel com Biofilme)
MBR	<i>Membrane Bio Reactor</i>
Nereda®	Biomassa Aeróbia Granular
NTS	Norma Técnica SABESP
OPEX	Despesas Operacionais
RAFA	Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente
SABESP	Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo
SNIRH	Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos
STP	<i>Sewage Treatment Plants</i>
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i>

## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO .....</b>	<b>12</b>
<b>2. DESENVOLVIMENTO .....</b>	<b>15</b>
<b>2.1 Lagoas de estabilização .....</b>	<b>15</b>
2.1.1 Lagoa Facultativa .....	16
2.1.2 Lagoa Aerada.....	17
2.1.3 Lagoa Anaeróbia.....	19
2.1.4 Sistema Australiano .....	20
2.1.5 Lagoa de Maturação .....	21
<b>2.2 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA) .....</b>	<b>22</b>
<b>2.3 Lodo Ativado.....</b>	<b>25</b>
2.3.1 Convencional .....	25
2.3.2 Aeração prolongada.....	26
2.3.3 Fluxo intermitente ou em batelada .....	27
<b>2.4 reatores de Leito Móvel com Biofilme (MBBR).....</b>	<b>28</b>
<b>2.5 Biomassa Aeróbia Granular .....</b>	<b>31</b>
<b>2.6 Biorreator com Membrana (BRM) .....</b>	<b>32</b>
<b>2.7 Análise Comparativa dos Processos de Tratamento de Esgoto.....</b>	<b>34</b>
<b>3. CONSIDERAÇÕES FINAIS .....</b>	<b>38</b>
<b>REFERÊNCIAS.....</b>	<b>40</b>

## 1. INTRODUÇÃO

O crescimento populacional e a concentração da população em grandes cidades aumenta a necessidade de tratamento de esgoto a cada dia, pois grandes cidades lançam uma elevada carga de material orgânico nos corpos receptores (OLIVEIRA, 2004).

O processo de tratamento do esgoto ocorre na Estação de Tratamento de Esgoto (ETE), cuja função é reduzir a carga poluidora do efluente lançado nos corpos receptores, destinando a parte sólida, principalmente a carga orgânica (lodo), a um local adequado, normalmente, a aterros sanitários (SABESP, 2020?).

Segundo a Agência Nacional de Águas (ANA, 2017), o processo de tratamento de esgotos pode ser dividido em:

- Físico, sendo o mais simples, utilizado no início do sistema de tratamento, consiste em barreiras físicas para remoção de matéria sólida e materiais flutuantes;
- Químico, associados aos processos físico e biológico, consiste na adição de produtos químicos para realizar o tratamento a fim de melhorar sua eficiência e obter efluentes de alta qualidade;
- Biológico, responsável pela remoção da matéria orgânica realizada através da ação de bactérias e microrganismos presentes no processo.

O processo biológico pode ser dividido em dois, aeróbio e anaeróbio, sendo no primeiro caso a decomposição da matéria orgânica realizada por bactérias que necessitam de oxigênio e, no segundo caso, realizada por bactérias que não necessitam de oxigênio. Cada tipo de processo possui suas vantagens, os aeróbios emitem menos odores desagradáveis e são mais eficientes na redução de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e os anaeróbios geram menos lodo e apresentam menores custos de implantação e manutenção (OLIVEIRA, 2004).

A DBO é um dos parâmetros utilizados para medir a poluição das águas por matéria orgânica biodegradável, determinando a concentração de carga orgânica presente nos efluentes. Indica a quantidade de oxigênio dissolvido necessário para que os microrganismos decomponham a matéria orgânica presente na água. Dessa forma, é um indicador utilizado para controlar a eficiência das ETES na remoção de carga orgânica dos efluentes lançados nos corpos receptores, calculada através da

diferença da DBO de entrada e saída das ETEs (PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA, 2017).

O processo de tratamento mais utilizado no Brasil é o de lagoas de estabilização, principalmente nos pequenos municípios, porém o processo de lodo ativado é o mais utilizado quando levados em consideração a quantidade de população atendida e volume de esgoto tratado (ANA, 2017).

Existem diversos processos a serem utilizados nas ETEs, o que dificulta a escolha do mais adequado, devendo-se considerar diversos fatores, como aspectos econômicos, operacionais, climáticos, disponibilidade de área, características do corpo receptor, legislação, topografia dos possíveis locais de implantação, condição geotécnica do solo, disponibilidade energética e vazão do efluente. Nesse trabalho serão consideradas apenas a disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e a eficiência na redução de DBO (OLIVEIRA, 2006).

A carga orgânica de esgotos gerada nas cidades brasileiras que alcança os corpos d'água é denominada carga orgânica remanescente, composta pelas cargas lançadas diretamente nos corpos receptores e pelas cargas não removidas nas ETEs, que é inversamente proporcional a eficiência de redução de DBO do processo de tratamento (ROSSETTI, 2009).

Das 9,1 mil toneladas de DBO geradas diariamente pelos esgotos da população urbana do País [...], cerca de 3,9 mil toneladas são encaminhadas para tratamento coletivo, onde uma parcela da carga orgânica (DBO) é removida nas ETEs com diferentes níveis de eficiência (ANA, 2017).

Dessa forma, estima-se que a carga orgânica remanescente, que possa alcançar os corpos receptores no Brasil seja superior a 5,5 mil toneladas de DBO por dia (ANA, 2017).

Grande parte dos processos de tratamento de esgoto dos municípios brasileiros, aproximadamente 3,9 mil municípios, apresenta níveis de remoção da carga orgânica inferiores a 30% e somente 118 municípios conseguem atingir níveis de remoção de DBO maiores do que 80% (ANA, 2017).

Quando há lançamento de esgoto com tratamento inadequado ou utilizando ETEs com baixa eficiência de tratamento, não atendendo aos requisitos legais de lançamentos, há o comprometimento da qualidade da água dos corpos receptores, gerando risco a saúde pública da população e danos ao meio ambiente (BRITO, 2007 apud LINS, 2010).

Sendo assim, é importante identificar e controlar os níveis de eficiência dos processos utilizados nas ETEs, visando minimizar o impacto que os efluentes possam causar nos corpos receptores devido à alta carga orgânica remanescentes.

Portanto, o objetivo deste trabalho é estudar alguns dos processos de tratamento de esgoto mais utilizados no Brasil segundo a ANA (2017), assim como outros que ainda não são muito utilizados porém possuem elevada capacidade de remoção da carga orgânica, trazendo as vantagens e desvantagens de cada um e comparando-os segundo os critérios de eficiência na redução de DBO e de disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado, a fim de se evidenciar quais processos de tratamentos seriam mais adequados e eficientes para minimizar o impacto do lançamento de efluentes nos corpos receptores.

Para tanto, foram estudados os processos de Lagoas de Estabilização, Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA), Lodos Ativados, Reatores de Leito Móvel com Biofilme (MBBR), Biomassa Aeróbia Granular e Biorreator com Membrana (BRM) e escolhidos, de forma aleatória, alguns exemplos de ETEs para cada processo de tratamento estudado, descartando exemplos que possuem dados com grande desvio em relação à média apresentada no Atlas Esgotos (ANA, 2017).

Ao final, para os exemplos escolhidos anteriormente, é apresentada uma tabela comparativa contendo os dados de área construída, vazão de esgoto tratado, eficiência na redução de DBO e o indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado, sendo possível identificar quais estações/processos necessitam de menor área construída por vazão de esgoto tratado e possuem melhor eficiência na redução de DBO.

Os dados da área construída da ETEs foram estimados através da ferramenta Google Earth Pro, já a vazão de esgoto tratado e eficiência na redução de DBO foram obtidas no Sistema Nacional de Informações sobre Recursos Hídricos (SNIRH). Por último, o indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado foi calculado através dos dados de área construída e vazão de esgoto tratado.

## 2. DESENVOLVIMENTO

Segundo Oliveira (2014), em regra geral, as ETEs têm como primeira etapa o tratamento preliminar, processo de tratamento físico formado por:

- **Gradeamento:** responsável por reter a matéria sólida de maior dimensão, descartada incorretamente na rede de esgoto, como o lixo, por exemplo. Essa retenção ocorre através de filtros formados por grades, removendo parte da carga poluidora com o objetivo de proteger os equipamentos utilizados na ETE e melhorar o desempenho das unidades subsequentes do tratamento;
- **Desarenação:** após passar pelas grades, o esgoto passa pela caixa de areia, responsável por retirar detritos sólidos com dimensões menores incapazes de serem retiradas no gradeamento, como areia, pedriscos e cascalhos, diminuindo ou eliminando os efeitos adversos que esses detritos podem causar nas instalações a jusante e nos corpos receptores (por exemplo assoreamento).

Após o tratamento preliminar, há diversos processos utilizados para tratamento de esgotos. A seguir, serão detalhados alguns desses processos.

### 2.1 Lagoas de estabilização

Lagoa de estabilização é um processo de tratamento biológico onde a matéria orgânica é separada do efluente através da ação de bactérias (IERVOLINO, 2019a).

É um processo que não demanda muita tecnologia, e possui excelente eficiência de remoção da carga orgânica, e conseqüente redução de DBO, com uma média de redução de 75 a 85% (IERVOLINO, 2019a).

Segundo a ANA (2017), por ser um processo simples, barato e efetivo, é o mais utilizado no Brasil em quantidade de estações, visto a grande quantidade de pequenos municípios existentes, onde há grande disponibilidade de área.

Além da necessidade de grande disponibilidade de área, outra desvantagem são os altos custos para remoção dos sedimentos acumulados no fundo das lagoas (SABESP, 2009).

Esse processo é beneficiado quando utilizado em locais com temperatura elevada que, em conjunto com alta radiação solar, aceleram a velocidade de fotossíntese e de metabolismo dos organismos presentes no processo, acelerando a decomposição, assim, é favorecida sua utilização no Brasil (IERVOLINO, 2019a).



As lagoas de estabilização podem ser classificadas por diversas variantes, dentre elas facultativa, aerada, anaeróbia e de maturação, existindo sistemas que utilizam um conjunto dessas variantes, com o objetivo de obter um efluente de melhor qualidade.

### 2.1.1 Lagoa Facultativa

Esse é o processo de tratamento mais simples dentre as lagoas de estabilização, dependendo unicamente de fenômenos naturais, possuindo esse nome devido as bactérias presentes na lagoa sobreviverem tanto na presença quanto na ausência de oxigênio (SANTOS, 2007).

Segundo Iervolino (2019a), nesse processo ocorrem três zonas de tratamento:

- Zona aeróbia: ocorre através das bactérias presentes na superfície da lagoa, onde se realiza o tratamento aeróbio. Essas bactérias consomem o oxigênio, produzido pela fotossíntese das algas presentes na lagoa, realizando a decomposição das matérias orgânicas;
- Zona anaeróbia: ocorre através das bactérias presentes no fundo da lagoa, onde por não haver presença de oxigênio, realizam o tratamento anaeróbio. Essas bactérias decompõem a matéria sedimentada;
- Zona facultativa: ocorre entre as duas zonas anteriores, sendo uma zona intermediária, onde as bactérias realizam tanto o tratamento aeróbio quando o anaeróbio.

Por ser um processo mais simples, tem como vantagem o baixo custo de construção e manutenção, não necessitando de equipamentos mecanizados (SANTOS, 2007).

Sua desvantagem é a necessidade de um tempo de detenção hidráulica<sup>1</sup> maior, dessa maneira, é o processo que necessita de maior área disponível para tratar uma pequena quantidade de esgoto. Por possuir uma zona anaeróbia, outra desvantagem é a emissão de odores desagradáveis (SANTOS, 2007).

Como as bactérias dependem do oxigênio produzido pela fotossíntese das algas, é necessário que a lagoa seja construída em uma área com grande incidência de raios solares, para a melhor eficiência e funcionamento do processo (IERVOLINO, 2019a).

---

<sup>1</sup> Tempo de detenção hidráulica é o período necessário de permanência do esgoto na ETE (SABESP, 2009).

Esse processo possui uma eficiência média de redução de DBO de 76%, segundo a ANA (2017).

Segundo o SNIRH (2016), dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Ipanema em Porto Alegre/RS e ETE Sede em Cachoeira Paulista/SP, essa última apresentada na Figura 1.

Figura 1 – ETE Sede, formada por duas lagoas facultativas



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

### 2.1.2 Lagoa Aerada

Este é um processo de tratamento mais eficiente que o de lagoa facultativa, com menor tempo de detenção hidráulica, necessitando assim, de menor área disponível (IERVOLINO, 2019a).

A principal diferença é que nesse tipo de lagoa o processo de decomposição da matéria orgânica é aeróbio, ou seja, as bactérias presentes na lagoa necessitam de oxigênio para realizarem a decomposição (SANTOS, 2007).

Para garantir o nível de oxigênio necessário para realizar o processo biológico aeróbio, utiliza-se aeração por ar difuso ou mecânica, sendo sua principal desvantagem a mecanização do processo, havendo necessidade de manutenção, assim como maior gasto com operação e energia elétrica, elevando os custos de implementação (SANTOS, 2007).

Por ser um processo turbulento, não ocorre sedimentação, resultando em elevada quantidade de sólidos suspensos, que não podem ser lançados no corpo receptor, sendo aconselhável implementar, após a lagoa aerada, uma lagoa de decantação sem aeradores, para que ocorra a sedimentação dos sólidos suspensos (IERVOLINO, 2019a).

A lagoa aerada possui uma eficiência média de redução de DBO de 76%, segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Granja Esperança em Cachoeirinha/RS e ETE Morada do Vale II em Gravataí/RS (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 2.

Figura 2 – ETE Morada do Vale II



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

Já o sistema de lagoa aerada em série com lagoa de decantação possui uma eficiência média de redução de DBO de 82%, segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Urbanova em São José dos

Campos/SP e ETE Piero Floravante em Amparo/SP (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 3.

Figura 3 – ETE Piero Floravante



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

### 2.1.3 Lagoa Anaeróbia

Nesse tipo de lagoa o processo de decomposição da matéria orgânica é anaeróbio, ou seja, as bactérias presentes na lagoa anaeróbia não sobrevivem na presença de oxigênio, tornando assim um processo mais sensível a fatores ambientais e operacionais, tais como temperatura, pH e oxigênio dissolvido (IERVOLINO, 2019a).

O processo de decomposição da matéria orgânica ocorre em duas etapas, na primeira a carga orgânica complexa é quebrada em estruturas mais simples, para na segunda etapa ser convertida em metano, gás carbônico e água, ocorrendo então a redução de DBO (IERVOLINO, 2019a).

Por não necessitar de oxigênio, esses tipos de lagoas são mais profundas, necessitando de menor área disponível para tratar a mesma quantidade de esgoto quando comparado com as demais lagoas (SABESP, 2009). Outra vantagem é o baixo custo de construção e manutenção, pois não necessita de equipamentos mecanizados (IERVOLINO, 2019a).

Por ser um processo anaeróbio, uma desvantagem é a emissão de odores desagradáveis (SANTOS, 2007). Também possui como desvantagem a baixa



eficiência média de redução de DBO, 68% segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam apenas lagoa anaeróbia são ETE São Borja em São Borja/RS e ETE Barra de São Francisco em Barra de São Francisco/ES (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 4.

Figura 4 – ETE Barra de São Francisco, formada por duas lagoas anaeróbias



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

Por ter uma baixa eficiência de redução de DBO, é indicado implantar outros processos em série para atingir níveis adequados para lançamentos do efluente nos corpos receptores, como por exemplo o sistema de lagoas anaeróbias seguidas por lagoas facultativas, conhecido como Sistema Australiano, que será detalhado a seguir.

#### 2.1.4 Sistema Australiano

O Sistema Australiano consiste em uma lagoa anaeróbia em série com uma lagoa facultativa, diminuindo a necessidade de área disponível quando comparado à utilização de apenas lagoas facultativas (OLIVEIRA, 2014).

Por ainda possuir um processo anaeróbio, sua desvantagem é a emissão de odores desagradáveis (SANTOS, 2007).

O Sistema Australiano possui uma eficiência média de redução de DBO de 77%, segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam esse processo

são ETE Furnas em Serra/ES e ETE Lins em Lins/SP (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 5.

Figura 5 – ETE Lins, formada por três conjuntos do sistema australiano



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

#### 2.1.5 Lagoa de Maturação

Esse é um tratamento complementar aos demais processos de lagoa, utilizado quando é necessário remover sólidos em suspensão, nutrientes e agentes patogênicos, como bactérias, coliformes, protozoários e vírus (IERVOLINO, 2019a).

As lagoas de maturação possuem menor profundidade quando comparadas com as demais, dessa forma, tem maior incidência de raios solares, aumentando a atividade das algas e, conseqüentemente, aumentando a fotossíntese e o oxigênio dissolvido, ocorrendo um polimento no esgoto. Por haver maior presença de oxigênio, esse é um processo biológico aeróbio (IERVOLINO, 2019a).

Sua principal desvantagem é que esse processo não tem como objetivo principal a decomposição da matéria orgânica, não ocorrendo redução significativa de DBO. Desta forma, as lagoas de maturação devem ser utilizadas como complementação aos demais processos (IERVOLINO, 2019a).

Segundo a ANA (2017), os dois sistemas mais comuns no Brasil que utilizam lagoas de maturação, ambas possuindo uma eficiência média de redução de DBO de 81%, são:

- Lagoa facultativa em série com lagoa de maturação. Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Graminha em Limeira/SP e ETE Ponta Negra em Natal/RN (SNIRH, 2016);
- Lagoa anaeróbia em série com lagoa facultativa em série com lagoa de maturação. Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Nossa Sra. do Ó em Ipojuca/PE e ETE Free Way em Cachoeirinha/RS (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 6.

Figura 6 – ETE Free Way



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

## 2.2 Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA)

Neste tipo de tratamento, o esgoto é encaminhado a um tanque fechado, conhecido como Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente (RAFA). O esgoto é

introduzido na zona inferior do reator e coletado na zona superior, ocorrendo um fluxo ascendente. Nesse fluxo, o esgoto atravessa uma manta de lodo, composta por microrganismos anaeróbios que consomem a matéria orgânica presente no esgoto, gerando lodo e biogás (CAMARGO, 2016).

Como vantagem, esse processo tem menor geração de lodo do que tratamentos aeróbios, como lodo ativado, por exemplo. O lodo produzido em excesso, deve ser removido periodicamente do sistema (CAMARGO, 2016).

Como o tanque é fechado, outra vantagem desse tipo de tratamento é a facilidade em coletar o biogás gerado na decomposição da matéria orgânica, podendo ser utilizado para geração de energia. Mesmo que não seja utilizado na geração de energia, o biogás gerado deve ser capturado e tratado, pois seu lançamento é prejudicial ao meio ambiente (OLIVEIRA, 2004).

Devido à alta concentração de microrganismos, há uma elevada atividade de decomposição, demandando reatores mais compactos, ocupando uma área menor quando comparamos com outros processos (SANTOS, 2007).

Assim como nas lagoas de estabilização, esse processo é beneficiado quando utilizado em locais com temperatura mais elevada, assim, é favorecida sua utilização no Brasil (OLIVEIRA, 2004).

RAFA é um processo compacto, mais simples de operar e menos mecanizado, por não necessitar de aeração há menor consumo de energia do que os processos de lodo ativado, possuindo menor custo de implantação e operação (OLIVEIRA, 2004).

Como esse processo é realizado sem a presença de ar, sendo considerado um tratamento anaeróbio, sua desvantagem é a possibilidade de emitir odores desagradáveis (SANTOS, 2007).

Outra desvantagem é a baixa eficiência na redução de DBO, assim, para que o efluente gerado se enquadre nos parâmetros de lançamento estabelecidos pela legislação, normalmente, esse processo necessita de uma etapa de pós-tratamento complementar, como, por exemplo, lagoas de estabilização, filtros biológicos ou lodos ativados (OLIVEIRA, 2004).

Esse processo, quando utilizado sozinho, possui uma eficiência média de redução de DBO de 69%, segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam apenas o processo RAFA são ETE IX - Iate Clube em Foz do Iguaçu/PR e ETE Sapucaí Mirim em Pouso Alegre/MG (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 7.



Figura 7 – ETE Sapucaí Mirim



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

Já em conjunto com outros processos, como, por exemplo, lodo ativado, possui uma eficiência média de redução de DBO de 86%, também segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam esse sistema são ETE Central em Jacareí/SP e ETE Rio Preto em São José do Rio Preto/SP (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 8.

Figura 8 – ETE Rio Preto



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

## 2.3 Lodo Ativado

O lodo ativado é uma massa com alta concentração de microrganismos formada por bactérias, algas, fungos e protozoários (TORRES, 2005).

Segundo a SABESP (2020?), neste tipo de tratamento o esgoto é encaminhado a um tanque aerado, que contém o lodo ativado, dessa forma, a matéria orgânica presente no esgoto é consumida pelos microrganismos aeróbios, gerando o lodo.

Após passar pelo tanque aerado, o esgoto é enviado ao decantador secundário, onde ocorre a separação da parte sólida (lodo) da líquida, sendo uma parte desse lodo recirculado para o tanque de aeração afim de aumentar a concentração de microrganismos, e a parte líquida é o efluente tratado (IERVOLINO, 2019b).

Devido ao fato do processo ser realizado na presença de ar, é considerado um tratamento aeróbio.

Esse é um processo antigo e amplamente utilizado no mundo, com alta capacidade de remoção da matéria orgânica do esgoto, sendo um processo compacto, utilizado em locais com restrita área disponível, como grandes cidades (OLIVEIRA, 2004).

Sua desvantagem é que requer um alto índice de mecanização, e conseqüentemente, um alto gasto com energia e manutenção (OLIVEIRA, 2004).

Uma maneira de diminuir os custos de implantação, operação, energia e da quantidade de lodo gerada é utilizar o processo de lodo ativado como pós-tratamento de um processo anaeróbio, como, por exemplo, lagoa anaeróbia ou RAFA (OLIVEIRA, 2004).

Existem diversas variantes dos processos de lodo ativado, sendo as três mais utilizadas no Brasil, segundo a ANA (2017), classificadas como convencional, aeração prolongada e fluxo intermitente (ou em batelada).

### 2.3.1 Convencional

No processo convencional, parte da matéria orgânica é retirada do efluente em um decantador primário, anterior ao tanque de aeração, gerando economia de energia na aeração (OLIVEIRA, 2004).

Além da economia de energia, outra vantagem é possuir um tempo de detenção hidráulica menor quando comparado com o processo por aeração prolongada (IERVOLINO, 2019b).

Sua desvantagem é a produção de uma grande quantidade de lodo, sendo necessário um sistema de adensamento e desaguamento desse lodo, responsável por diminuir seu volume e umidade, para posterior destinação aos aterros sanitários (OLIVEIRA, 2004).

Esse processo possui uma eficiência média de redução de DBO de 84%, segundo a ANA (2017). Três exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Franca em Franca/SP, ETE Búzios em Armação dos Búzios/RJ e ETE ABC em São Paulo/SP (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 9.

Figura 9 – ETE ABC



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

### 2.3.2 Aeração prolongada

Neste tipo de tratamento o lodo permanece por mais tempo no processo, aumentando sua concentração e diminuindo a concentração de matéria orgânica, dessa forma, os microrganismos consomem a matéria orgânica componente de suas próprias células, diminuindo a geração de lodo (IERVOLINO, 2019b).

Nessa variante não é necessário um decantador primário e um processo de adensamento e desaguamento desse lodo, porém, são necessários aeradores maiores, assim como mais oxigênio no tanque de aeração, levando a um maior gasto de energia (IERVOLINO, 2019b).



Esse processo é mais eficiente na redução de DBO, com uma média de 88%, segundo a ANA (2017). Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Iguape em Iguape/SP e ETE Limoeiro em Presidente Prudente/SP (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 10.

Figura 10 – ETE Limoeiro



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

### 2.3.3 Fluxo intermitente ou em batelada

No tratamento do esgoto de fluxo intermitente (ou em batelada) todos os processos ocorrem em um mesmo tanque, ou seja, os processos possuem ciclos de operação com duração definidos e sequenciais no tempo (TORRES, 2005).

O ciclo começa com a entrada do esgoto e enchimento do tanque, posteriormente ocorre a aeração, depois a sedimentação ou decantação, por fim o esvaziamento do tanque com a retirada do esgoto tratado e então o repouso, que consiste na remoção do lodo excedente e no ajuste do ciclo (TORRES, 2005).

Como os processos ocorrem no mesmo tanque, não há a necessidade de um sistema para recirculação do lodo, porém, sua desvantagem é poder receber nova carga de esgoto apenas na etapa de enchimento, não podendo receber nova carga em qualquer outra etapa do ciclo, gerando um problema em locais que recebem

esgoto de forma contínua, nesses casos, sendo necessário implantar diversos tanques trabalhando em paralelo (OLIVEIRA, 2004).

Segundo a ANA (2017), esse processo possui uma eficiência média de redução de DBO de 88%, proporcionando também a remoção de nitrogênio, sendo considerado portanto um tratamento terciário (OLIVEIRA, 2004). Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Pedreira em Pedreira/SP e ETE Vicente de Carvalho em Guarujá/SP (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 11.

Figura 11 – ETE Vicente de Carvalho

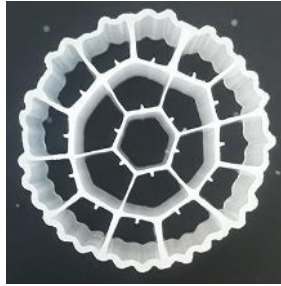


Fonte: Google Earth Pro, 2020.

#### **2.4 Reatores de Leito Móvel com Biofilme (MBBR)**

O processo de Reatores de Leito Móvel com Biofilme (MBBR) pode ser considerado uma evolução do processo de lodo ativado, possuindo um funcionamento semelhante, porém dentro do reator aeróbio são adicionadas pequenas peças de plástico chamadas biomédias, conforme exemplo apresentado na Figura 12 (CAMPOS; CATINO, 2016).

Figura 12 – Modelo de Biomídia



Fonte: Hidrosul, 2019.

Uma diferença em relação ao processo de lodo ativado, é que no MBBR não há a obrigatoriedade de recircular o lodo, uma vez que a biomassa ativa (microrganismos responsáveis pela decomposição do esgoto) se acumula nas superfícies da biomídia e é retida continuamente no reator aeróbio, mantendo a densidade populacional de microrganismos elevada. Com a elevada concentração dos microrganismos, há o aumento da decomposição da matéria orgânica, elevando a capacidade de tratamento do processo (OLIVEIRA, 2008).

A decomposição da matéria orgânica ocorre nos orifícios das biomídias, onde há aglomeração de matéria orgânica decomposta, formando um biofilme concentrado. Com o movimento natural do reator aeróbio (turbulência), o biofilme se solta das biomídias e fica em suspensão, sendo encaminhado posteriormente para o decantador secundário, onde a parte sólida é separada da líquida (OLIVEIRA, 2008).

Esse processo necessita de menor área de implantação quando comparado com os processos de lodo ativado, que já é considerado um processo compacto. Essa economia de área ocorre por causa do aumento da eficiência proporcionado pela biomídia, que aumenta a concentração de microrganismos e, conseqüentemente, diminui as dimensões dos reatores aeróbios para tratar a mesma quantidade de esgoto (CAMPOS; CATINO, 2016).

Como desvantagem há maior necessidade de oxigênio dissolvido no processo, sendo necessário maior capacidade dos aeradores, resultando também em um maior gasto de energia (CAMPOS; CATINO, 2016).

Esse processo pode ser utilizado para adaptar uma ETE de lodo ativado existente, visando aumentar o volume de esgoto tratado, sem a necessidade de construir novos tanques de aeração e decantadores (OLIVEIRA, 2008).

Em relação a manutenção, a biomídia possui uma vida útil de 20 anos, não necessitando de substituição recorrente, segundo os fabricantes Naturaltec (2018) e Hidrosul (2019).

Segundo a *Biowater Technology*, o MBBR, além da redução de DBO, pode ser utilizado para remoção de outros nutrientes, como o nitrogênio, através de configurações específicas. Em um sistema que utiliza apenas o MBBR no processo de tratamento de esgoto, são necessários dois tanques de aeração em série para ocorrer a nitrificação (remoção de nitrogênio), porém não há registro no Atlas Esgotos (ANA, 2017) e no SNIRH (2016) de utilização do MBBR como único processo de tratamento no Brasil.

Outra configuração onde ocorre essa nitrificação, é a que utiliza o MBBR em conjunto com o processo de lodo ativado, sistema conhecido como Lodo Ativado com Biofilme Integrado (IFAS). Assim o processo se torna mais eficiente, com uma média de redução de DBO de 88%, segundo a ANA (2017). O sistema IFAS é basicamente formado pelo MBBR com a inclusão da recirculação do lodo. Dois exemplos de estações que utilizam esse processo são ETE Piabanha em Petrópolis/RJ e ETE Centro em Nova Friburgo/RJ (SNIRH, 2016), essa última apresentada na Figura 13.

Figura 13 – ETE Centro



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

O processo de MBBR também é utilizado como complementar ao RAFA, porém há apenas um registro desse sistema no Brasil, na ETE Garcia em Blumenau/SC, com uma redução de DBO de 90%, segundo o SNIRH (2016), apresentada na Figura 14.



Figura 14 – ETE Garcia



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

## 2.5 Biomassa Aeróbia Granular

É uma tecnologia patenteada, com o nome de Nereda®, similar ao tratamento por lodo ativado de fluxo intermitente, onde o processo de aeração e decantação ocorrem no mesmo tanque, em ciclos de operação, economizando em área. Sua principal diferença é que o lodo é formado por grânulos, com diâmetro maiores, e não por flocos, como no processo de lodo ativado (PIRES, 2017).

Com a formação de grânulos, a sedimentação ocorre de maneira muito mais rápida, diminuindo a duração do ciclo de operação, minimizando a desvantagem da necessidade de diversos tanques trabalhando em paralelo para poder receber o esgoto de forma intermitente. Assim como no processo de lodo ativado de fluxo intermitente, nesse processo também ocorre a remoção de nitrogênio (PIRES, 2017).

Outra desvantagem desse processo, assim como no tratamento por lodo ativado de fluxo intermitente, é a necessidade de maior sofisticação do controle operacional do reator, necessitando de maior frequência de manutenção de equipamentos, além de apresentar maior risco de obstrução dos aeradores (PIRES, 2017).

Por ser um processo novo no Brasil, com a primeira estação de tratamento inaugurada em 2016, e com apenas duas ETEs em funcionamento até 2019 (BRK AMBIENTAL, 2020), não foi possível encontrar a eficiência média de redução de DBO no Atlas Esgotos (ANA, 2017), visto que esse utiliza dados entre 2013 e 2016. Entretanto, em 2020 foi publicado pela ANA, no portal GeoNetwork, uma atualização do levantamento das ETEs no Brasil, com dados de 2019, sendo possível encontrar a eficiência média de redução de DBO de 90%. As duas estações inauguradas até o



momento são ETE Deodoro no Rio de Janeiro/RJ e ETE Jardim Novo em Rio Claro/SP, essa última apresentada na Figura 15.

Figura 15 – ETE Jardim Novo



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

## 2.6 Biorreator com Membrana (BRM)

O processo de Biorreator com Membrana (BRM) combina o processo de tratamento biológico com as vantagens do processo de separação das membranas, que funciona como uma barreira semipermeável e seletiva (filtro), retendo os sólidos e microrganismos não decompostos na etapa biológica. A água atravessa a membrana devido a diferença de pressão criada no interior da fibra da membrana, por meio de uma bomba (DIAS, 2009).

A limpeza da membrana é realizada de forma automática, por meio de retro lavagem, onde a água, com adição de produtos químicos, é bombeada no sentido contrário da fibra da membrana (DIAS, 2009).

Com o aumento da concentração da matéria orgânica no reator, o excesso de lodo é direcionado para um sistema de desidratação, para posterior destinação final, como por exemplo envio à aterro sanitário (VIANA, 2004).

Suas vantagens é a menor necessidade de área disponível e também a facilidade de instalação, já que normalmente é fornecido em módulos pré-montados. Outra vantagem é a grande eficiência na remoção de carga orgânica, nutrientes,

sólidos e microrganismos, dessa forma, esse processo é mais utilizado como pós tratamento, com o objetivo de suprir as necessidades de reuso de água não potável (DINIZ, 2011).

Como desvantagens, possui elevado custo de implantação, maior necessidade de manutenção e problemas com incrustação, o que causa diminuição do fluxo que atravessa a membrana, encurtando sua vida útil, sendo necessário realizar testes de integridade, reparo e limpeza, elevando seus custos operacionais (DINIZ, 2011).

Além disso, os custos das membranas são praticamente proporcionais a vazão a ser tratada, não ocorrendo ganho de escala para vazões muito elevadas (diferente do que ocorre com os demais processos), sendo essa uma desvantagem para ETEs que necessitam tratar grandes volumes (DIAS, 2009).

Por ser um processo mais utilizado para produção de água de reuso, e não para lançamento do efluente nos corpos receptores, não foi possível encontrar a eficiência média de redução de DBO no Atlas Esgotos (ANA, 2017).

Segundo o SNIRH (2016), apenas duas estações utilizam esse processo para lançamento do efluente nos corpos receptores, a ETE Campos do Jordão em Campos do Jordão/SP e ETE Capivari II (Epar) em Campinas/SP, ambas com o BRM em série com o tratamento de lodo ativado, com uma eficiência de redução de DBO de 97%. A ETE Capivari II é apresentada na Figura 16, onde o BRM está demarcado em laranja.

Figura 16 – ETE Capivari II



Fonte: Google Earth Pro, 2020.

## 2.7 Análise Comparativa dos Processos de Tratamento de Esgoto

Após descrição dos diversos processos de tratamento de esgotos, esses são comparados pelo indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e pela eficiência na redução de DBO das ETEs citadas anteriormente, conforme pode ser visto na Tabela 1.

Tabela 1 – Comparação dos processos de Tratamento de Esgoto

ETE - Município/Estado	Processo	Área (mil m <sup>2</sup> )	Vazão (l/s)	Área / Vazão	% red. de DBO
ETE Capivari II (Epar) - Campinas/SP	LA + BRM	12	360,0	0,032	99,7%
ETE Campos do Jordão - C. Jordão/SP	LA-AP +BRM	10	350,0	0,029	95,0%
ETE Jardim Novo - Rio Claro/SP *	Nereda®	8	271,8	0,028	95,0%
ETE Deodoro - Rio de Janeiro/RJ *	Nereda®	27	1000,0	0,027	90,0%
ETE Piabanha - Petrópolis/RJ	IFAS	3	125,0	0,020	95,0%
ETE Centro - Nova Friburgo/RJ	IFAS	2	210,0	0,010	85,0%
ETE Garcia - Blumenau/SC	MBBR+RAFA	3	88,0	0,028	90,0%
ETE Limoeiro - Presidente Prudente/SP	LA-AP	20	493,0	0,041	90,0%
ETE Iguape - Iguape/SP	LA-AP	5	80,0	0,056	90,0%
ETE Vicente de Carvalho - Guarujá/SP	LA-FI/B	12	480,0	0,025	90,0%
ETE Pedreira - Pedreira/SP	LA-FI/B	4	160,0	0,022	83,0%
ETE ABC - São Paulo/SP	LA-C	130	3000,0	0,043	87,7%
ETE Franca - Franca/SP	LA-C	55	750,0	0,073	85,0%
ETE Búzios - Armação dos Búzios/RJ	LA-C	8	130,0	0,058	85,0%
ETE Central - Jacareí/SP	RAFA + LA	18	265,0	0,068	86,5%
ETE Rio Preto - São José do Rio Preto/SP	RAFA + LA	63	1094,0	0,057	83,0%
ETE Urbanova - São Jose dos Campos/SP	LAE+LD	13	69,0	0,181	82,5%
ETE Piero Floravante - Amparo/SP	LAE+LD	37	150,0	0,247	80,0%
ETE Graminha - Limeira/SP	LF + LM	32	30,0	1,067	80,0%
ETE Ponta Negra - Natal/RN	LF + LM	143	95,0	1,500	80,0%
ETE Nossa Sra. do Ó - Ipojuca/PE	LAN+LF+LM	83	64,0	1,297	80,0%
ETE Free Way - Cachoeirinha/RS	LAN+LF+LM	525	390,0	1,346	79,0%
ETE Granja Esperança - Cachoeirinha/RS	LAE	4	24,0	0,146	76,0%
ETE Morada do Vale II - Gravataí/RS	LAE	3	20,4	0,147	74,1%

ETE - Município/Estado	Processo	Área (mil m <sup>2</sup> )	Vazão (l/s)	Área / Vazão	% red. de DBO
ETE Furnas - Serra/ES	SA	34	47,9	0,710	75,0%
ETE Lins - Lins/SP	SA	170	237,5	0,716	75,0%
ETE Ipanema - Porto Alegre/RS	LF	275	225,0	1,222	75,0%
ETE Sede - Cachoeira Paulista/SP	LF	90	104,0	0,865	75,0%
ETE Sapucaí Mirim - Pouso Alegre/MG	RAFA	4	478,1	0,008	71,2%
ETE IX - Iate Clube - Foz do Iguaçu/PR	RAFA	6	210,0	0,029	65,0%
ETE Barra de São Francisco - Barra São Francisco/ES	LAN	8	42,0	0,179	60,0%
ETE São Borja - São Borja/RS	LAN	10	84,2	0,113	44,0%

\* **Nota:** Como não há registro no Atlas Esgotos (ANA, 2017) e no SNIRH (2016) com dados atuais, pois essas ETEs foram inauguradas após suas publicações, foram utilizados dados do SNIRH, porém na seção de previsão para 2035.

Fonte: Elaborada pelo Autor

Na Tabela 1 foram apresentadas entre uma e três ETEs para cada processo de tratamento estudado, totalizando 32 estações, sendo informados para cada uma o processo de tratamento utilizado, a área construída (mil m<sup>2</sup>) e a vazão de esgoto tratado (l/s).

Também foram apresentados o indicador disponibilidade de área construída por vazão esgoto tratado e a eficiência na redução de DBO para cada ETE.

Os dados de área construída foram estimados pela ferramenta Google Earth Pro, os dados de vazão de esgoto tratado e eficiência na redução de DBO foram obtidos no SNIRH (2016) e o indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado foi calculado dividindo-se a área construída pela vazão de esgoto tratado.

De modo geral, analisando os dados referentes ao indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado apresentados na Tabela 1, constata-se que os processos que utilizam lagoa de estabilização demandam uma área construída muito maior do que os demais, chegando a utilizar 1,5 mil metros quadrados por litro de esgoto tratado por segundo, no caso da ETE Ponta Negra.

A análise dos dados da Tabela 1 foi dividida em três grupos, o primeiro contendo os processos de tratamento de lagoa de estabilização com apenas uma variante, o segundo contendo sistemas de lagoas com mais de uma variante em série

e o terceiro contendo os processos de tratamento compactos, composto por RAFA, lodo ativado, MBBR, biomassa aeróbica granular e MBR.

Avaliando os dados de lagoas de estabilização com apenas uma variante, dentre anaeróbias e aeradas não é possível concluir qual utiliza menor área por vazão de esgoto tratado, pois os resultados foram semelhantes, porém, ambos os processos necessitam de uma área construída muito menor quando comparados com as lagoas facultativas. Em relação a eficiência de redução de DBO, os resultados das lagoas facultativas e aeradas foram equivalentes, aproximadamente 75%. Já a lagoa anaeróbia possui uma eficiência muito baixa (exemplo: a ETE São Borja que reduz apenas 44% da DBO).

Avaliando os dados apresentados na Tabela 1, pode-se concluir que há melhora na eficiência de redução de DBO quando utilizados sistemas de lagoas com mais de uma variante em série, com praticamente todos os sistemas apresentando eficiência na faixa de 80%, com exceção do sistema australiano, cujo resultado foi de 75%. Porém, o Sistema Australiano apresenta um bom indicador de disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado, sendo apenas menos vantajoso do que o sistema de lagoa aerada em série com lagoa de decantação.

Avaliando apenas os processos compactos, conforme dados apresentados na Tabela 1, todos possuem alta eficiência na redução de DBO, exceto o RAFA quando utilizado individualmente. O processo de lodo ativado convencional e o sistema que utiliza RAFA como pré-tratamento de lodo ativado apresentam os piores resultados de eficiência na redução de DBO, na faixa de 85%. Os demais processos compactos possuem eficiência de redução de DBO próximas a 90%, com exceção do sistema de lodo ativado em série com BRM que consegue atingir uma eficiência média de 97%, o melhor resultado dentre todos os grupos analisados, resultando em um efluente praticamente sem matéria orgânica.

Por fim, analisando-se os processos compactos sob o ponto de vista do indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado, na Tabela 1, notam-se dois subgrupos:

- O primeiro com necessidades de áreas construídas por vazão de esgoto tratado maiores, valores na faixa de 0,050 a 0,060 mil metros quadrados por litro de esgoto tratado por segundo, contemplando o sistema RAFA em série com lodo ativado e os processos lodo ativado convencional e lodo ativado por

aeração prolongada, esse último apresentado pequena vantagem sobre os demais;

- O segundo com necessidades de áreas construídas por vazão de esgoto tratado menores, na ordem de metade do primeiro grupo, contemplando os processos de lodo ativado de fluxo intermitente (ou em batelada), MBBR em série com RAFA, biomassa aeróbia granular e lodo ativado em série com BRM. Destaca-se o sistema IFAS, que apresenta o melhor resultado, a exemplo da ETE Centro em Nova Friburgo/RJ, com apenas 0,010 mil metros quadrados por litro de esgoto tratado por segundo.

### 3. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Conforme a análise comparativa dos processos de tratamento de esgoto, pode-se concluir que os processos anaeróbios (lagoa anaeróbia e RAFA), quando utilizados de forma isolada, possuem baixa eficiência na redução de DBO, apresentando melhores resultados quando utilizados em série com outros processos, como, por exemplo, sistema que utilizam RAFA como pré-tratamento de lodo ativado.

Na análise comparativa é verificado que os processos de lagoas possuem eficiência de redução de DBO satisfatória, porém todos necessitam de grande disponibilidade de área construída por litro de esgoto tratado por segundo. Como destaque dentre as lagoas de estabilização, o sistema de lagoa aerada em série com lagoa de decantação demonstra a melhor eficiência na redução de DBO e está entre os que apresentam o melhor indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado, porém, com a desvantagem de precisar de mecanização para realizar a aeração, o que eleva os gastos de operação e manutenção. Caso não seja economicamente viável a utilização de equipamentos mecanizados, o sistema de lagoa facultativa em série com lagoa de maturação, utilizando ou não uma lagoa anaeróbia como pré-tratamento, também possui resultado satisfatório, com boa eficiência na redução de DBO, no entanto, sua maior desvantagem é necessitar maior disponibilidade de área construída por litro de esgoto tratado por segundo.

Comparando os três processos de lodo ativado, todos apresentaram eficiência de redução de DBO próximos, porém com pequena vantagem para o processo por aeração prolongada. Já em relação a disponibilidade de área construída por litro de esgoto tratado por segundo, o processo de fluxo intermitente (ou em batelada) apresentou o melhor resultado, conforme verificado na análise comparativa.

Por meio da análise comparativa é possível concluir também que quando o objetivo é a máxima redução de DBO, o BRM é o processo que mostrou melhor resultado, porém, seu alto custo de implantação e operação acaba restringindo seu uso, pois processos com menores custos de implantação e operação já são capazes de reduzir a DBO em níveis aceitos pela legislação para lançamentos em corpos receptores. Dessa forma, o BRM é utilizado apenas em soluções cujo objetivo seja o reuso da água ou quando é necessário praticamente zerar a carga orgânica do efluente.

Esse estudo permite destacar o processo de Biomassa Aeróbica Granular, que obteve o segundo melhor resultado na eficiência de redução de DBO e está entre os que necessitam de menor disponibilidade de área construída por litro de esgoto tratado por segundo, sendo, dessa maneira, um processo promissor, podendo substituir outros processos de tratamento e ser aplicado em maior escala no futuro.

Outros processos que se destacaram na análise comparativa foram os que utilizam o MBBR, pois além do bom resultado na eficiência de redução de DBO (próximo ao Biomassa Aeróbica Granular), quando utilizados na configuração IFAS, apresentaram a menor necessidade de área construída por litro de esgoto tratado por segundo.

Pelos dados apresentados neste estudo, pode-se perceber o avanço tecnológico nos processos de tratamento de esgoto no Brasil, com a implantação de novos processos, dentre eles o MBBR, o Biomassa Aeróbia Granular e o BRM, todos ainda utilizados em menor escala, porém, com grande potencial de crescimento, por apresentarem grande eficiência na redução do DBO e necessitarem de menor área construída por litro de esgoto tratado por segundo. Assim, suas implantações devem ser continuamente analisadas e estudadas, verificando se continuarão a apresentar bons resultados quando utilizados em grande escala.

É importante destacar que este trabalho levou em consideração apenas o indicador disponibilidade de área construída por vazão de esgoto tratado e o parâmetro eficiência na redução de DBO a fim de comparar os sistemas de tratamento de esgotos. Seria interessante também comparar a viabilidade econômica de cada um, levando em consideração o CAPEX e OPEX, ficando como sugestão para trabalhos futuros a pesquisa e aprofundamento da análise sob tais aspectos.



## REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS. **Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas**. Brasília, 2017. Disponível em: <<https://www.ana.gov.br/acesso-a-informacao/institucional/publicacoes>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. **GeoNetwork**. Brasília, 2020. Disponível em: <<https://metadados.ana.gov.br/geonetwork/srv/pt/main.home?uuid=1d8cea87-3d7b-49ff-86b8-966d96c9eb01>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

AQUAPOLO. **Homepage**. Disponível em: <<https://www.aquapolo.com.br>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

BIOWATER TECHNOLOGY. CFAS® (Filme fixo e lodo ativado combinado) - IFAS. **Homepage**. Disponível em: <<https://www.biowatertechnology.com/br/tecnologia/cfas/>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. CMFF® (Filme fixo com mistura completa) – MBBR. **Homepage**. Disponível em: <<https://www.biowatertechnology.com/br/tecnologia/cmff/>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

BRK AMBIENTAL. Confira os avanços no tratamento de esgoto com a tecnologia Nereda. **Homepage**. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/tecnologia-nereda/>>. Acesso em: 22 mar. 2020.

\_\_\_\_\_. Conheça as etapas do processo de tratamento de esgoto. **Homepage**. Disponível em: <<https://blog.brkambiental.com.br/etapas-tratamento-de-esgoto/>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

CAMARGO, Bruno Martins de. **Comportamento de Reator UASB sem separador trifásico no tratamento de esgoto sanitário**. 2016. 70 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2016. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-06122016-142755/publico/BrunoMartinsdeCamargoCorr16.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

CAMPOS, Fábio; CATINO, Rosvaldo. Avaliação do desempenho de um sistema piloto de MBBR tratando esgoto doméstico. **Portal Tratamento de Água**, 2016. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/enviromex-avaliacao-do-desempenho-de-um-sistema-piloto-de-mbbr-tratando-esgoto-domestico/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

DIAS, Tiago. MBR: nova tecnologia para tratamento de efluentes. **Portal Tratamento de Água**, 2009. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/mbr-nova-tecnologia-para-tratamento-de-efluentes/>>. Acesso em: 22 jun. 2020.

DINIZ, Larissa Marques. **Biorreatores de membrana (BRM):** um levantamento bibliográfico enfocando a aeração do sistema. 2011. 38 f. Monografia (Especialista em Tecnologia Ambiental) – Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2011. Disponível em: <[https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ATF5L/1/final\\_monografia\\_pdf.pdf](https://repositorio.ufmg.br/bitstream/1843/BUOS-9ATF5L/1/final_monografia_pdf.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2020.

GOOGLE EARTH PRO. Versão 7.3. [S.l.]: Google, 2020. Disponível em: <<https://www.google.com.br/earth/download/gep/agree.html>>. Acesso em: 28 jun. 2020.

HIDROSUL. Biomídia. **Homepage.** 2019. Disponível em: <<https://www.hidrosul.com.br/biomidia/>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

IERVOLINO, Luiz Fernando. Lagoas de estabilização. **Portal Tratamento de Água,** 2019a. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/lagoas-estabilizacao/>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. Sistema de lodos ativados. **Portal Tratamento de Água,** 2019b. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/sistema-lodos-ativados/>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

LINS, Gustavo Aveiro. **Impactos Ambientais em Estações de Tratamento de Esgotos (ETEs).** 2010. 285 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010. Disponível em: <<http://dissertacoes.poli.ufrj.br/dissertacoes/dissertpoli491.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2020.

NATURALTEC. Mídias Biológicas Como Meio Filtrante. **Homepage.** Disponível em: <<http://www.naturaltec.com.br/midias-biologicas-filtrantes>>. Acesso em: 14 jun. 2020.

OLIVEIRA, Aline da Silva. **Tratamento de esgoto pelo sistema de lodos ativados no município de Ribeirão Preto, SP:** Avaliação da remoção de metais pesados. 2006. 162 f. Dissertação (Mestrado em Enfermagem em Saúde Pública) – Universidade de São Paulo, Ribeirão Preto, 2006. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/22/22133/tde-20062006-160725/publico/AlineDaSilvaOliveira.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2020.

OLIVEIRA, Cristiane Mayara Reis. **Aplicabilidade de sistemas simplificados para estações de tratamento de esgoto de cidades de pequeno porte.** 2014. 80 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora, 2014. Disponível em: <<https://www.ufjf.br/engsanitariaeambiental/files/2014/02/APLICABILIDADE-DE-SISTEMAS-SIMPLIFICADOS-PARA-ESTA%c3%87%c3%95ES-DE-TRATAMENTO-DE-ESGOTO-DE-CIDADES-DE-PEQUENO-PORTE.pdf>>. Acesso em: 21 set. 2020

OLIVEIRA, Daniel Vieira Minegatti de. **Caracterização dos parâmetros de controle e avaliação de desempenho de um reator biológico com leito móvel (MBBR)**. 2008. 91 f. Dissertação (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2008. Disponível em: <<http://www.saneamento.poli.ufrj.br/images/Documento/dissertacoes/DanielMinegatti.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

OLIVEIRA, Sonia Valle Walter Borger de. **Modelo para tomada de decisão na escolha de sistema de tratamento de esgoto sanitário**. 2004. 188 f. Tese (Doutorado em Administração) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/12/12139/tde-19092006-125541/publico/TeseSonia.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

PIRES, Danilo Prado. **Desenvolvimento de biomassa aeróbia granular no tratamento de esgoto sanitário em reatores em batelada sequencial com diferentes razões de troca volumétrica**. 2017. 146 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade de Campinas, Campinas, 2017. Disponível em: <[http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/331086/1/Pires\\_DaniloPrado\\_M.pdf](http://repositorio.unicamp.br/jspui/bitstream/REPOSIP/331086/1/Pires_DaniloPrado_M.pdf)>. Acesso em: 22 jun. 2020.

PORTAL TRATAMENTO DE ÁGUA. Determinação da Demanda Bioquímica de Oxigênio – DBO. **Homepage**. 2017. Disponível em: <<https://www.tratamentodeagua.com.br/artigo/determinacao-da-demanda-bioquimica-de-oxigenio-dbo/>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

ROSSETTI, Renato Pizzi. **Evolução da carga orgânica de origem doméstica no rio Paraíba do Sul, no trecho paulista, no período de 1998-2007**. 2009. 193 f. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2009. Disponível em: <[https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-01022010-162610/publico/RENATO\\_PIZZI\\_ROSSETI.pdf](https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/8/8135/tde-01022010-162610/publico/RENATO_PIZZI_ROSSETI.pdf)>. Acesso em: 21 set. 2020.

SABESP. **NTS 230**: Projeto de lagoa de estabilização e seu tratamento complementar para esgoto. São Paulo, 2009. Disponível em: <<https://www3.sabesp.com.br/normastecnicas/nts/nts230.pdf>>. Acesso em: 20 de jun. 2020.

\_\_\_\_\_. Tratamento de esgotos. **Homepage**. [2020?]. Disponível em: <<http://site.sabesp.com.br/site/interna/Default.aspx?secaold=49>>. Acesso em: 16 mar. 2020.

SANTOS, Paulo Roberto dos. **Lagoas de estabilização**: solução para o tratamento de esgotos domiciliares. 2007. 65 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Engenharia Civil) – Universidade São Francisco, Itatiba, 2007. Disponível em: <<http://lyceumonline.usf.edu.br/salavirtual/documentos/1052.pdf>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

SISTEMA NACIONAL DE INFORMAÇÕES SOBRE RECURSOS HÍDRICOS (SNIRH), Atlas Esgotos: Despoluição de Bacias Hidrográficas. **Homepage**. Disponível em: <<http://www.snirh.gov.br/portal/snirh/snirh-1/atlas-esgotos>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

TORRES, Danielle Pires de Camargo. **Estudo microbiológico da influência da adição química de ácido fólico em sistemas de lodos ativados**. 2005. 179 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005. Disponível em: <<https://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/3/3147/tde-05092006-112000/publico/DaniellePiresdeCamargoTorres.pdf>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

UNICAMP. Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais: Tratamento de Esgotos - Lagoas. **Homepage**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lagoas.html>>. Acesso em: 13 jun. 2020.

\_\_\_\_\_. Biblioteca Didática de Tecnologias Ambientais: Tratamento de Esgotos - Lodos Ativados. **Homepage**. Disponível em: <<http://www.fec.unicamp.br/~bdta/esgoto/lodosativados.html>>. Acesso em: 21 jun. 2020.

VIANA, Priscilla Zuconi. **Biorreator com membrana aplicado ao tratamento de esgotos domésticos**: Avaliação do desempenho de módulos de membranas com circulação externa. 2004. 162 f. Tese (Mestrado em Ciência em Engenharia Civil) – Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2004. Disponível em: <<http://www.coc.ufrj.br/pt/documents2/mestrado/2004-1/1771-priscilla-zuconi-viana-mestrado>>. Acesso em: 23 set. 2020.