

UNIVERSIDADE FEDERAL FLUMINENSE  
ESCOLA DE ENGENHARIA  
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

RAFAELLA DE ALMEIDA CASTRO

**BIORREATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO: ESTUDO DE CASO NA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE MARIA PAULA, NITERÓI - RJ.**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Niterói  
2022

RAFAELLA DE ALMEIDA CASTRO

**BIORREATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO: ESTUDO DE CASO NA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE MARIA PAULA, NITERÓI - RJ.**

PROJETO DE CONCLUSÃO DE CURSO II

Projeto de Conclusão de Curso apresentado ao curso de Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal Fluminense, como requisito parcial para conclusão do curso.

Orientador:  
Prof. Paulo Luiz da Fonseca, D.Sc

Niterói  
2022

Ficha catalográfica automática - SDC/BEE  
Gerada com informações fornecidas pelo autor

C355b Castro, Rafaella de Almeida  
BIORREATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO: : ESTUDO DE CASO NA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE MARIA PAULA, NITERÓI - RJ.  
/ Rafaella de Almeida Castro ; Paulo Luiz da Fonseca,  
orientador. Niterói, 2022.  
49 f. : il.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Engenharia  
Civil)-Universidade Federal Fluminense, Escola de Engenharia,  
Niterói, 2022.

1. Saneamento básico. 2. Tratamento de efluentes. 3. Esgoto  
sanitário. 4. Biorreator combinado. 5. Produção  
intelectual. I. Fonseca, Paulo Luiz da, orientador. II.  
Universidade Federal Fluminense. Escola de Engenharia. III.  
Titulo.

CDD -

RAFAELLA DE ALMEIDA CASTRO

**BIORREATOR COMBINADO ANAERÓBIO-AERÓBIO: ESTUDO DE CASO NA  
ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE ESGOTOS DE MARIA PAULA, NITERÓI - RJ.**

Projeto de Conclusão de Curso apresentado  
ao curso de Graduação em Engenharia  
Civil da Universidade Federal Fluminense,  
como requisito parcial à obtenção do título  
de Engenheiro Civil.

Aprovada em 22 de julho de 2022.

**BANCA EXAMINADORA**

---

**Prof. Paulo Luiz da Fonseca, Orientador, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense - UFF**

---

**Prof. Renata Gonçalves Faisca, D.Sc.  
Universidade Federal Fluminense**

---

**Prof. André Luiz Lupinacci Massa, M.Sc .  
Universidade Federal Fluminense – UFF**

Niterói  
2022

## **DEDICATÓRIA**

*“Quando uma criatura humana  
desperta para um grande sonho  
e sobre ele lança toda a força  
de sua alma, todo o universo  
conspira a seu favor”.*

*Johann Goethe*

À menina de Madureira que cresceu acreditando ser possível viver uma vida extraordinária, e se dedica todos os dias para cumprir seu destino.

## AGRADECIMENTOS

À Deus, por ter me dado a vida, saúde e todos os privilégios que tive a sorte de receber, sou grata por tudo.

A mim, por nunca ter desistido de concluir essa graduação, apesar do longo caminho percorrido, repleto de obstáculos e sacrifícios. Que eles jamais sejam esquecidos, ou diminuídos.

À minha família, meus pais Andreia e Ricardo por terem me ensinado desde cedo que os estudos são a ferramenta de transformação social mais poderosa, capaz de mudar realidades completas e o mundo; e meu irmão Rennan por ser exemplo disso. Por todos os sacrifícios que eles fizeram para permitir que eu pudesse chegar até aqui.

Ao meu noivo Yann, por ter estado ao meu lado nos anos finais da graduação. Anos esses que foram os mais árduos, conciliando os estudos, o trabalho e uma pandemia. Obrigada por ser a minha dupla de vida, minha rocha e minha calma.

Às instituições estudantis que por diversas vezes foram minha maior motivação ao longo dessa jornada: Diretório Acadêmico de Engenharia Civil – DAEC UFF e Associação Atlética Acadêmica Pio Orlando – AAPO. Agradeço às amizades verdadeiras que fiz nesses espaços.

À Concessionária Águas de Niterói por ter sido a minha escola diária, e possibilitado conhecer na prática o universo do saneamento e da Engenharia.

Por fim, ao meu orientador Paulo, por ter me auxiliado ao longo desse ano em todas as etapas de conclusão do curso.

## RESUMO

O tratamento de esgoto sanitário representa um dos grandes desafios do desenvolvimento sustentável para o Brasil. Os índices apresentados pelo Sistema Nacional de Informações sobre saneamento – SNIS apontam resultados alarmantes no que diz respeito à coleta e tratamento de esgoto em território nacional. Atualmente diversos são os processos disponíveis para o tratamento de efluentes, de modo que se faz necessário o estudo de suas particularidades para conhecimento das vantagens e desvantagens de cada aplicação. O presente trabalho apresenta conceitos da degradação biológica dos compostos orgânicos presentes nos esgotos domésticos; discorre sobre os processos biológicos mais utilizados para tratamento de efluentes no Brasil; e apresenta um estudo aprofundado de uma metodologia inovadora para o tratamento de efluentes domésticos, analisando os processos em um biorreator combinado de biofilme fixo anaeróbio-aeróbio, que utiliza meio suporte para imobilização dos microrganismos, localizado na cidade de Niterói no estado do Rio de Janeiro.

**Palavras-chave:** saneamento básico, tratamento de efluentes, esgoto sanitário, degradação biológica, biorreator combinado

## ABSTRACT

The treatment of sanitary sewage represents one of the great challenges of sustainable development for Brazil. The indexes presented by the National Sanitation Information System – SNIS point to alarming results regarding the sewer and treatment of wastewater in the national territory. Currently, there are several processes available for the treatment of effluents, so it is necessary to study their particularities to know the advantages and disadvantages of each application. The present work presents concepts of the biological degradation of organic compounds present in domestic sewage; discusses the most used processes for effluent treatment in Brazil; and presents an in-depth study of an innovative methodology for the treatment of domestic effluents, analyzing the processes in a combined anaerobic-aerobic biofilm bioreactor, which uses a support medium for the immobilization of microorganisms, located in the city of Niterói, state of Rio de Janeiro.

**Keywords:** basic sanitation, effluent treatment, sanitary sewage, biological degradation, combined bioreactor



## LISTA DE ILUSTRAÇÕES

<b>Figura 1:</b> População atendida com rede pública de esgoto no Brasil.....	14
<b>Figura 2:</b> Composição típica dos esgotos sanitários. ....	17
<b>Figura 3:</b> Etapas do tratamento preliminar.....	18
<b>Figura 4:</b> Esquema de um decantador primário. ....	19
<b>Figura 5:</b> Equipamento flotador em funcionamento. ....	20
<b>Figura 6:</b> Sequências metabólicas e grupos microbianos da digestão anaeróbia. ....	21
<b>Figura 7:</b> Esquema de um filtro biológico percolador. ....	25
<b>Figura 8:</b> Desenho esquemático de um reator UASB. ....	26
<b>Figura 9:</b> Esquema de um floco de lodo ativado.....	27
<b>Figura 10:</b> Esquema das unidades do Sistema de Lodos Ativados. ....	28
<b>Figura 11:</b> Modelos de aeradores mecânicos. ....	28
<b>Figura 12:</b> Fluxo de tratamento do lodo excedente.....	29
<b>Figura 13:</b> Variações do modelo de suporte Kaldnes. ....	30
<b>Figura 14:</b> Peças móveis em suspensão por ar difuso e por misturador, em tanque aerado e tanque anóxico respectivamente. ....	31
<b>Figura 15:</b> ETE Esplanada, localizada em Campos dos Goytacazes –RJ.....	33
<b>Figura 16:</b> Região de Maria Paula e adjacências, Niterói – RJ.....	34
<b>Figura 17:</b> Fluxograma das estações elevatórias na Bacia Maria Paula, Niterói – RJ.....	35
<b>Figura 18:</b> Localização da estação de tratamento de esgoto de Maria Paula, em Niterói –RJ.....	36
<b>Figura 19:</b> Fluxo de processo na ETE Maria Paula. ....	37
<b>Figura 20:</b> Equipamento de pré-tratamento compacto instalado no local.....	38
<b>Figura 21:</b> Tratamento preliminar reserva. ....	39
<b>Figura 22:</b> Corte esquemático de modelo tridimensional do sistema BRC na ETE Maria Paula. ....	39
<b>Figura 23:</b> Exemplo de módulo lamelar utilizado em unidades de decantação. ....	40
<b>Figura 24:</b> Amostras de efluente da ETE Maria Paula.....	41
<b>Figura 25:</b> Vigas em espera para estrutura de um novo módulo do reator. ....	42
<b>Figura 26:</b> Bacia de esgotamento da ETE Maria Paula. ....	43

<b>Figura 27:</b> Divergência entre os limites das camadas da bacia de esgotamento e dos setores censitários.....	43
<b>Figura 28:</b> Setores censitários ajustados proporcionalmente de acordo com a Bacia de esgotamento.	44

**LISTA DE TABELAS**

<b>Tabela 1:</b> Classificação dos sistemas em função da idade do lodo. ....	29
<b>Tabela 2:</b> Taxa geométrica de crescimento da cidade de Niterói.....	45
<b>Tabela 3:</b> Previsão de implementação do novo módulo BRC para a ETE Maria Paula. ....	45

## LISTA DE SÍMBOLOS OU NOMENCLATURA

BOA	Bactérias Oxidadoras de Amônia
BOM	Bactérias Oxidadoras de Nitrito
BRC	Biorreator Combinado
CONAMA	Conselho Nacional do Meio Ambiente
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IHM	Interface Homem Máquina
INEA	Instituto Estadual do Ambiente
MBBR	<i>Moving Bed Biofilm Reactor</i> (Reator de Leito Móvel com Biofilme)
NOP	Norma Operacional Padrão
NT	Norma Técnica
OD	Oxigênio Dissolvido
pH	Potencial Hidrogeniônico
PMSB	Plano Municipal de Saneamento Básico
PROCON	Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos
PVC	Policloreto de Vinila
RAE	Relatório de Acompanhamento de Efluentes
SES	Sistema de Esgotamento Sanitário
SIGeo	Sistema de Gestão da Geoinformação
SNIS	Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento
UASB	<i>Upflow Anaerobic Sludge Blanket</i> (Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente e Manta de Lodo)

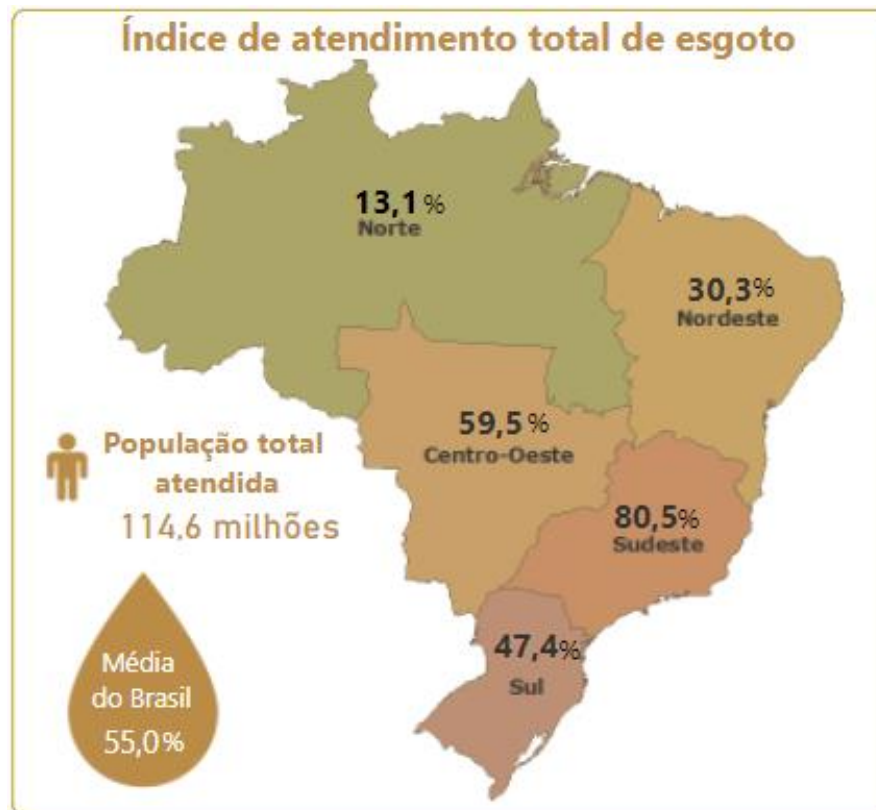
## SUMÁRIO

<b>1. INTRODUÇÃO</b>	<b>14</b>
1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS	14
1.2. OBJETIVO GERAL	15
1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	15
1.4. METODOLOGIA	16
<b>2. TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS</b>	<b>17</b>
2.1. NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO	17
2.1.1. <i>Tratamento Preliminar</i>	18
2.1.2. <i>Tratamento Primário</i>	19
2.1.3. <i>Tratamento Secundário</i>	19
2.1.4. <i>Tratamento Terciário</i>	19
2.2. DIGESTÃO ANAERÓBIA	20
2.3. NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO	22
2.4. PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS	24
2.4.1. <i>Filtro Biológico</i>	24
2.4.2. <i>Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – UASB</i>	26
2.4.3. <i>Lodos Ativados</i>	27
2.4.4. <i>Reator Biológico de Leito Móvel - MBBR</i>	30
2.5. TRATAMENTOS COMBINADOS DE ESGOTO	31
2.5.1. <i>Biorreator Combinado - BRC</i>	32
<b>3. ESTUDO DE CASO: ETE MARIA PAULA</b>	<b>34</b>
3.1. S.E.S. MARIA PAULA	34
3.2. CONCEPÇÃO DO PROJETO	35
3.2.1. <i>Tecnologia</i>	36
3.2.2. <i>Processos</i>	38
3.2.3. <i>Eficiência do tratamento</i>	40
3.3. PROPOSTA PRELIMINAR DE AMPLIAÇÃO	42
<b>4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	<b>47</b>
<b>5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS</b>	<b>48</b>

# 1. INTRODUÇÃO

## 1.1. CONSIDERAÇÕES INICIAIS

Atualmente no Brasil, o lançamento de esgoto doméstico bruto ainda configura a principal fonte de poluição dos corpos hídricos. Segundo o último relatório divulgado pelo Sistema Nacional de Informações Sobre Saneamento – SNIS, com referência ao ano de 2020, apenas 55% da população brasileira possui atendimento à rede coletora de esgoto, e desse efluente coletado apenas 50,8% recebe o devido tratamento. De acordo com os dados apresentados na Figura 1, as disparidades regionais são alarmantes, e servem para ratificar a desigualdade instaurada em território nacional.



**Figura 1:** População atendida com rede pública de esgoto no Brasil.

*Fonte:* SNIS (2020).

Diversos são os prejuízos causados pela falta de saneamento, e variam desde desequilíbrios no meio ambiente, como o fenômeno de eutrofização de lagos e lagoas, até mesmo consequências diretas para a população. Um sistema de saneamento ineficiente impacta

na saúde dos indivíduos, de modo que favorece a difusão das chamadas doenças de veiculação hídrica, causadas por substâncias e micro-organismos nocivos transportados pela água.

O caminho para a preservação dos corpos hídricos consiste sobretudo na coleta e tratamento do esgoto doméstico. Esse tratamento é realizado nas chamadas Estações de Tratamento de Esgoto, ou ETEs, que são as unidades operacionais responsáveis pela aplicação de processos com o intuito de remover os poluentes do efluente, e permitir um despejo seguro no corpo receptor.

As legislações ambientais são as partes responsáveis por exprimir as condições aceitáveis para o lançamento do efluente tratado, e estabelecem parâmetros e limites de qualidade adequados ao corpo receptor de acordo com sua capacidade suporte. No presente, as principais legislações atuantes no Brasil que abrangem a temática do saneamento são a CONAMA 430, a Lei nº 14.026, a NOP-INEA 45 e a NOP-INEA 08.

## **1.2. OBJETIVO GERAL**

O presente trabalho tem por objetivo analisar os processos do tratamento de efluentes domésticos em um biorreator combinado de biofilme fixo anaeróbio-aeróbio, que utiliza meio suporte para imobilização dos microrganismos.

## **1.3. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elencar considerações sobre os processos de tratamento biológicos de esgoto doméstico;
- Analisar os processos de remoção de poluentes em potencial do esgoto bruto, em reatores combinados anaeróbio-aeróbio;
- Apresentar um estudo de caso, avaliando a concepção e o desempenho da ETE Maria Paula, localizada em Niterói – RJ.

#### **1.4. METODOLOGIA**

O método adotado para a elaboração deste trabalho foi a pesquisa-ação, utilizando a busca por referências de textos já publicados na área do saneamento, aliada com o desenvolvimento de um estudo de caso, exemplificando uma aplicação real dos conceitos abordados ao longo da obra.

Segundo Thiollent (1997), a pesquisa-ação é um tipo de pesquisa concebida e realizada associada com uma ação ou resolução de um problema coletivo. Portanto, se mostrou uma metodologia adequada para abordar o estudo de caso de uma estação de tratamento.



## 2. TRATAMENTO DE ESGOTOS DOMÉSTICOS

O lançamento indiscriminado dos esgotos em corpos hídricos, segundo Jordão e Pessoa (2014), pode originar diversos inconvenientes, desde matérias orgânicas solúveis produzindo gostos e odores às fontes de abastecimento de água, até elementos nutritivos como fósforo e nitrogênio aumentando o processo de eutrofização dos lagos e pântanos. Por isso é fundamental que se tenha o devido tratamento e monitoramento da qualidade dos efluentes despejados na natureza, de acordo com as características particulares de cada corpo receptor.

### 2.1. NÍVEIS DE TRATAMENTO DE ESGOTO

As particularidades de cada região influenciam diretamente na composição do esgoto gerado, e estes aspectos constituintes podem variar consideravelmente, conforme exposto na Figura 2.

CONSTITUINTES	Concentrações (em mg/L, onde não indicados)		
	Forte	Médio	Fraco
1 Sólidos Totais	1200	720	350
1.1 Dissolvidos totais	850	500	250
1.1.1 Fixos	525	300	145
1.1.2 Voláteis	325	200	105
1.2 Suspensos totais	350	220	100
1.2.1 Fixos	75	55	20
1.2.2 Voláteis	275	165	80
2 Sólidos sedimentáveis (ml/l)	20	10	5
3 DBO <sub>5</sub> , 20°C	400	220	110
4 Carbono Total (TOC)	260	160	80
5 DQO	1000	500	250
6 Nitrogênio Total (como N)	85	40	20
6.1 Orgânico	35	15	8
6.2 Amônia livre	50	25	12
6.3 Nitritos	0	0	0
6.4 Nitratos	0	0	0
7 Fósforo total	15	8	7
7.1 Orgânico	5	3	1
7.2 Inorgânicos	10	5	3
8 Cloretos	100	50	30
9 Alcalinidade (como CaCO <sub>3</sub> )	150	100	50
10 Graxa	150	100	50

*Figura 2: Composição típica dos esgotos sanitários.*

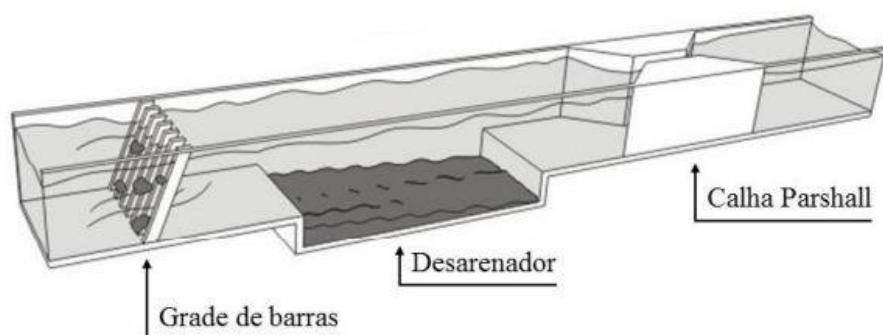
*Fonte: Gonçalves e Souza (1997).*

Segundo Jordão e Pessôa (2014), é comum classificar as instalações de tratamento em função do grau de redução dos sólidos em suspensão e da demanda bioquímica ou química de oxigênio resultante da eficiência de uma ou mais unidades de tratamento. Os níveis de tratamento são frequentemente classificados entre preliminar, primário, secundário e terciário, e os processos empregados nesses tratamentos irão variar de acordo com o tipo de tecnologia aplicada ao sistema.

### 2.1.1. Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar objetiva a remoção de sólidos grosseiros, ou seja, materiais como lixo e areia, presentes no esgoto doméstico e que precisam ser eliminados no início do processo. De acordo com Jordão e Pessôa (2014), esse nível de tratamento protege os dispositivos da estação a serem empregados nas etapas posteriores, como bombas, tubulações e outras peças.

O tratamento preliminar, conforme exemplificado na Figura 3, consiste em gradeamento para remoção de lixo, seguido de um desarenador para remoção da areia, e um dispositivo medidor de vazão. Em plantas com tecnologia mais avançada, pode-se ter também a remoção de gordura nessa etapa preliminar.

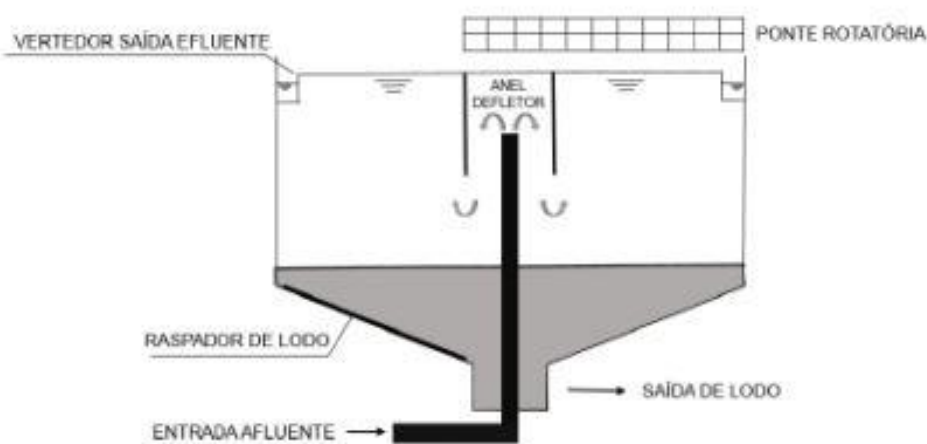


*Figura 3: Etapas do tratamento preliminar.*

*Fonte: Jordão e Volschan Jr. (2009).*

### 2.1.2. Tratamento Primário

O tratamento primário, segundo Von Sperling (1996), objetiva a remoção dos sólidos em suspensão sedimentáveis e materiais flutuantes. A principal tecnologia empregada são as unidades de sedimentação, representadas pelos decantadores que permitem a entrada do efluente pelo centro em um fluxo ascendente, conforme ilustrado na Figura 4; e devido à diferença de densidade das partículas, é possível separar o efluente clarificado do lodo primário gerado.



**Figura 4:** Esquema de um decantador primário.

*Fonte:* Thalles Lisboa (2015).

### 2.1.3. Tratamento Secundário

É nessa etapa que ocorre a remoção da matéria orgânica dissolvida, e da matéria orgânica em suspensão não removida no tratamento primário. De acordo com Jordão e Pessoa (2014), os processos configuram uma representação em ambientes e tempos controlados da degradação dos poluentes orgânicos que já ocorreria na natureza, porém em menor escala, e conta predominantemente com métodos biológicos de tratamento, que serão detalhados mais adiante.

### 2.1.4. Tratamento Terciário

O tratamento terciário, segundo com Von Sperling (1996), visa a remoção de contaminantes específicos ou a remoção complementar de poluentes. É o caso dos nutrientes

como nitrogênio e fósforo, que são eliminados a fim de proteger os corpos hídricos do fenômeno de eutrofização. Uma das unidades mais utilizadas no tratamento terciário é o flotor, ilustrado na Figura 5, que aplica métodos químicos e físicos para a remoção do nutriente fósforo.



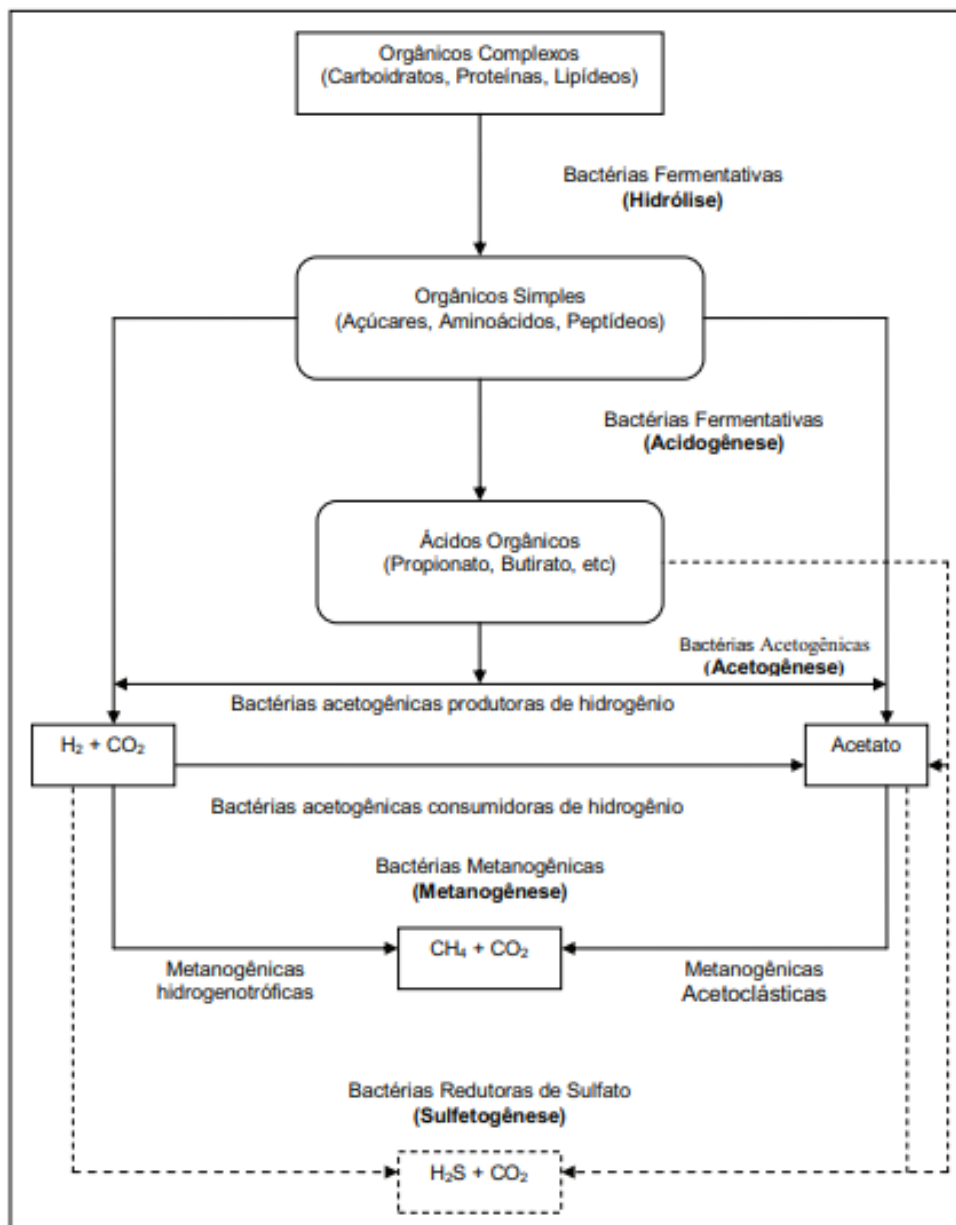
*Figura 5: Equipamento flotor em funcionamento.*

*Fonte: Resiclean Ambiental (2022).*

## 2.2. DIGESTÃO ANAERÓBIA

A digestão anaeróbia é um processo biológico natural, no qual a partir de um ecossistema com diversos grupos de microrganismos ocorre a degradação da matéria orgânica na ausência de oxigênio (CHERNICHARO, 1997). De acordo com Lettinga *et al* (1996), vários fatores podem afetar os processos que ocorrem na anaerobiose, relativos tanto com as características do meio (temperatura, pH, concentração de nitrogênio amoniacal e certos ácidos), como aspectos do próprio substrato (composição, tamanho das partículas e tempo de retenção no meio).

O processo é subdividido em rotas metabólicas, com participação de grupos microbianos de comportamentos fisiológicos diferentes, sendo destacados quatro principais além de uma etapa facultativa, conforme ilustrado na Figura 6.



**Figura 6:** Sequências metabólicas e grupos microbianos da digestão anaeróbia.

**Fonte:** Chernicharo (1997).

A primeira etapa da digestão anaeróbia é a hidrólise, caracterizada pela quebra da matéria orgânica complexa em compostos orgânicos mais simples, por meio da ação de exoenzimas das bactérias fermentativas hidrolíticas. A acidogênese é a etapa de conversão da matéria orgânica simples gerada na hidrólise em diversos subprodutos, principalmente ácidos orgânicos, por meio de bactérias fermentativas acidogênicas. Os produtos metabólicos gerados são fundamentais para as etapas subsequentes. A acetogênese consiste na produção de acetato por meio de bactérias acetogênicas que oxidam compostos orgânicos intermediários,

produzindo os principais substratos para os microrganismos metanogênicos (acetato, hidrogênio e dióxido de carbono). A metanogênese é a etapa final do processo de degradação anaeróbia, responsável pela conversão dos subprodutos da acetogênese em metano e dióxido de carbono. As bactérias metanogênicas envolvidas nesse processo são particularizadas entre acetoclásticas e hidrogenotróficas, dependendo do substrato que utilizam para seus processos metabólicos (acetato ou hidrogênio). As bactérias acetoclásticas são responsáveis por cerca de 70% da produção de todo metano no processo da metanogênese, por serem microrganismos predominantes na digestão anaeróbia (CHERNICHARO, 1997).

A sulfetogênese atua como uma etapa concorrente à metanogênese, nos casos onde o meio dispõe de sulfatos ou compostos de enxofre provenientes do substrato. As bactérias sulforedutoras também utilizam dos subprodutos da acetogênese para realizar seus processos metabólicos, gerando gás sulfídrico e gás carbônico. A sulfetogênese é a sequência metabólica preterida no processo de tratamento de esgotos, devido ao odor indesejado do gás sulfídrico, além das suas características corrosivas.

O processo de digestão anaeróbia possui como principais limitações a remoção de nutrientes e de alguns compostos orgânicos complexos, como a lignina presente no bagaço da cana-de-açúcar. Porém o metano gerado como subproduto do processo possui grande potencial energético, e é utilizado em diversos setores da indústria, estabelecendo grande vantagem para o processo.

### 2.3. NITRIFICAÇÃO E DESNITRIFICAÇÃO

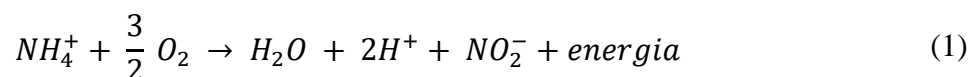
O nitrogênio é um nutriente presente na composição do esgoto doméstico, sob formas orgânicas e inorgânicas. Segundo Metcalf & Eddy (2016), a espécie nitrogenada amônia requer a sua digestão por meio de oxidação em processos biológicos aeróbios, devido aos efeitos que causa em corpos receptores relacionados à eutrofização dos corpos hídricos, que consiste no processo de poluição que diminui os níveis de oxigênio dissolvido na água levando à morte de vegetais e animais, impactando todo o ecossistema aquático.

Inicialmente, o nitrogênio orgânico presente no esgoto, quando em contato com solução aquosa é imediatamente hidrolisado à amônia gasosa, também denominada amônia livre (NH<sub>3</sub>).

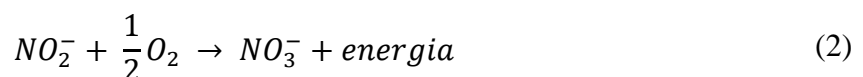
Essa amônia, devido às condições ácidas do meio inserido, que no caso dos efluentes típicos varia seu pH entre 5 e 9, é convertida à sua forma iônica ( $\text{NH}_4^+$ ).

A conversão da amônia iônica ( $\text{NH}_4^+$ ) à espécie nitrogenada nítrito ( $\text{NO}_2^-$ ) é um processo de extrema importância no tratamento de esgotos, conhecido como nitrificação. A conversão é desempenhada por espécies autotróficas de bactérias, sendo as *nitrosomonas* as maiores responsáveis pela oxidação da amônia à nítrito na primeira etapa do processo. Já as bactérias *nitrobacter* são em sua maioria responsáveis por oxidar o nítrito à nítrato na segunda etapa do processo de nitrificação. Ambas são bactérias aeróbias obrigatórias, pois utilizam o oxigênio como meio de sintetizar suas reações (METCALF & EDDY, 2016).

A primeira etapa do processo é conhecida como nitritação, na qual as bactérias oxidadoras de amônia (BOA) buscam a amônia e o oxigênio do meio e os convertem nos subprodutos água, ácido, nítrito e energia. Esse processo está representado pela Equação (1). O sistema precisa ter alcalinidade adequada para o ácido produzido na reação não desequilibrar o meio, diminuindo consideravelmente o pH e conseqüentemente prejudicando as bactérias envolvidas no processo. A água produzida é absorvida no sistema, enquanto a energia é utilizada pelas bactérias para crescimento e multiplicação. Já o nítrito produzido irá seguir para a próxima etapa do processo (DEZOTTI *et al.*, 2008).

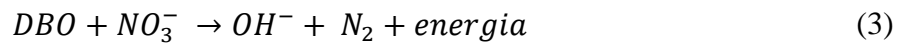


A nitração é a segunda etapa do processo, responsável pela transformação do nítrito em nítrato por meio de bactérias oxidadoras de nítrito (BON). De acordo com a Equação (2), essa reação ocorre com a transformação do nítrito mais o oxigênio do meio, resultando em nítrato e energia (DEZOTTI *et al.*, 2008).



De acordo com Bassin (2008), as bactérias oxidadores de amônia tem uma obtenção de energia maior do que as bactérias oxidadoras de nítrito, o que leva a uma maior concentração de BOA do que de BON no sistema.

O processo final para remover o nitrogênio do sistema é chamado de desnitrificação, e é realizado a partir de bactérias heterotróficas especializadas, conhecidas como bactérias desnitrificantes. Esse grupo de bactérias requerem condições específicas para desempenharem o processo, como a disponibilidade de alimento, que no caso do tratamento de esgotos será a matéria orgânica (DBO), e oxigênio para realizar o consumo da matéria orgânica. Em ambientes sem oxigênio dissolvido (OD), essas bactérias tem a capacidade de obter o oxigênio a partir da molécula de nitrato. Esse ambiente sem oxigênio é denominado zona anóxica, e é essencial para o processo de desnitrificação. De acordo com a Equação (3), a reação ocorre com a transformação de DBO e nitrato, resultando em base, nitrogênio gasoso e energia. O nitrogênio gasoso flota em bolhas finas para a superfície e conseqüentemente, para a atmosfera (METCALF & EDDY, 2016).



## 2.4. PROCESSOS BIOLÓGICOS DE TRATAMENTO DE ESGOTOS

Segundo Jordão e Pessoa (2014), os processos biológicos são aqueles que dependem da ação de microrganismos presentes no esgoto para a efetividade do tratamento. Visam reproduzir em ambientes controlados, como tanques, os fenômenos biológicos observados em natureza, adaptando-os para necessidades particulares.

A seguir serão descritos alguns dos principais processos biológicos de tratamento, como o Filtro Biológico, Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – UASB, Lodos Ativados e Reator Biológico de Leito móvel – MBBR.

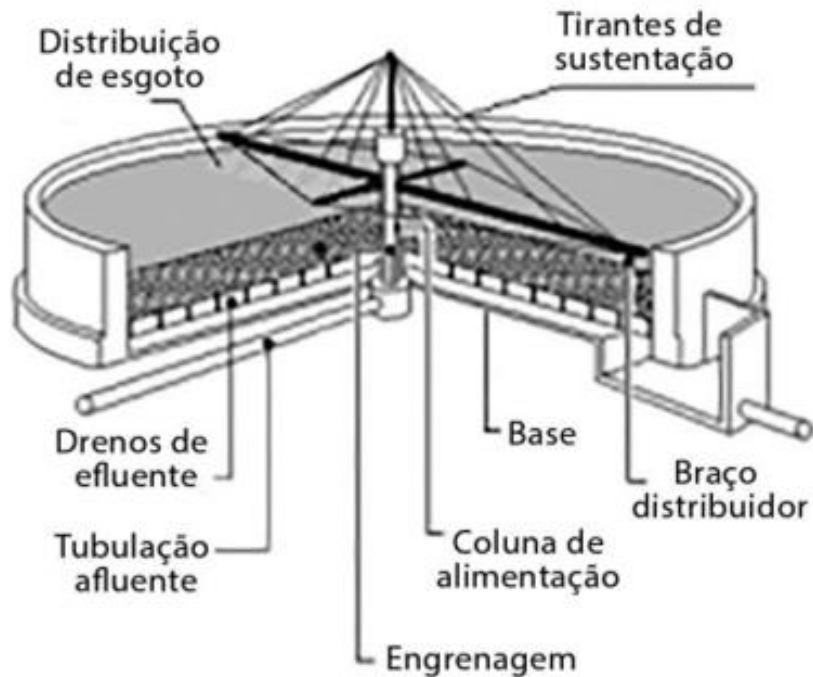
### 2.4.1. Filtro Biológico

As unidades de filtração biológica utilizam processos de oxidação bioquímica para o tratamento de efluentes, sendo caracterizadas pela alimentação e percolação contínua do esgoto através do meio suporte, de modo que a massa biológica denominada zooglêia se adere, proporcionando o contato da biomassa com o esgoto e uma intensa atividade biológica (JORDÃO E PESSÔA, 2014).

O sistema de um filtro biológico convencional é caracterizado por um mecanismo de distribuição dos esgotos, existência de meio suporte e de um sistema de drenagem do efluente,



conforme ilustrado na Figura 7. O meio suporte citado é um material empregado com a finalidade de agregar a biomassa, usualmente composto de pedregulhos, cascalhos, pedra britadas, escórias de fornos e outros materiais inertes. Recentemente o plástico PVC tem sido utilizado como mídia suporte, por possuir maior coeficiente de vazios e superfície específica maior que a das pedras, proporcionando uma alta capacidade de recebimento de carga orgânica (JORDÃO E PESSÔA, 2014).



*Figura 7: Esquema de um filtro biológico percolador.*

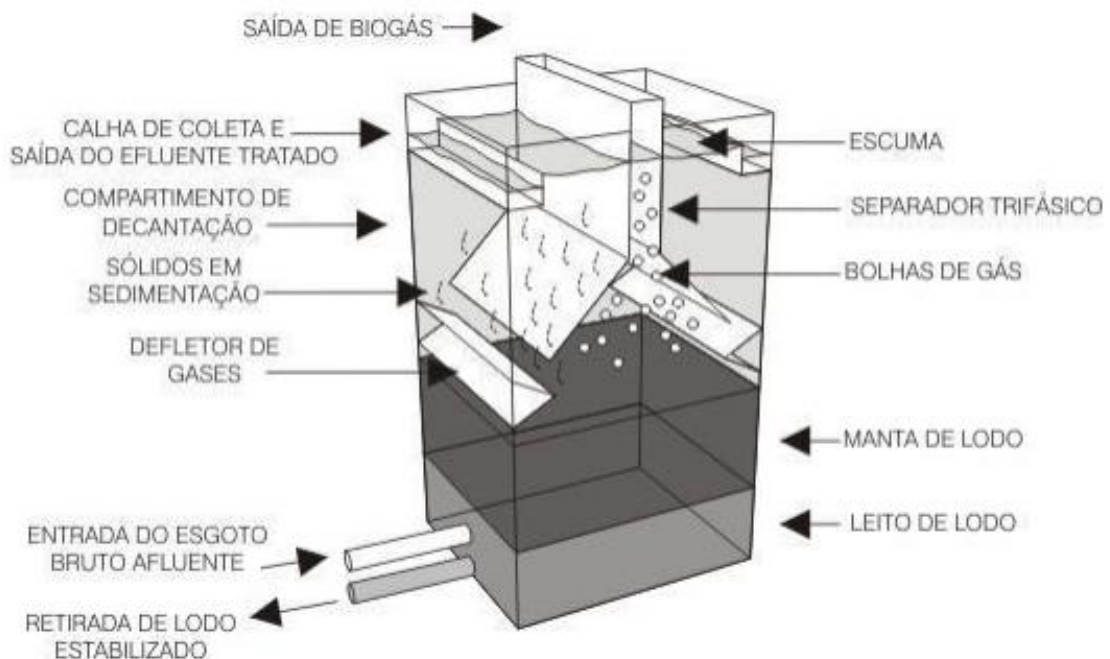
*Fonte: Adaptado de Jordão e Pessoa (2014).*

Tipicamente consideram-se duas classificações para os filtros biológicos, sendo o de baixa carga aquele que recebe uma baixa taxa de DBO, de modo que o lodo gerado sai parcialmente estabilizado pois as bactérias passam a utilizar matéria orgânica do próprio material celular para subsistência devido à escassez de alimento. Já os sistemas de alta carga são menos eficientes, sendo comum a aplicação de técnicas para otimizar o processo como a recirculação do efluente e execução de filtros em série. Os sistemas de baixa carga ocupam uma maior área, porém são mais simples operacionalmente e possuem eficiência de remoção de DBO da ordem de 85 a 93%. Já os sistemas de alta cargas possuem eficiência entre 80 a 90% (VON SPERLING, 1996).

#### 2.4.2. Reator Anaeróbio de Fluxo Ascendente – UASB

Os processos biológicos anaeróbios, segundo Foresti *et al* (1999), são amplamente difundidos nos países tropicais, devido ao clima e às altas temperaturas que favorecem essa modalidade de degradação da matéria orgânica. A tecnologia UASB (*Upflow Anaerobic Sludge Blanket*), utiliza a digestão anaeróbia como princípio do processo de tratamento, ou seja, a decomposição da matéria orgânica se dá pela transformação de longas cadeias de carbono solúvel no esgoto em gases, metano e carbônico principalmente.

O Reator UASB pode ser classificado como um sistema de alta taxa por apresentar grande capacidade de retenção de biomassa ativa, mesmo com baixos tempos de detenção hidráulica. O processo é caracterizado por um perfil de sólidos no reator em gradiente, variando desde uma camada densa ao fundo, denominada leito de lodo, até partículas mais dispersas e leves em uma região denominada manta de lodo, conforme ilustrado na Figura 8. A mistura do sistema é garantida pelo fluxo ascendente do esgoto e pelo gás gerado no interior do reator. Esse movimento das bolhas de gás ocasiona certo carreamento do lodo, que é contido pela estrutura do separador trifásico, responsável pela segmentação das partes sólidas, líquidas e gasosas no topo do reator (CHERNICHARO, 1997).



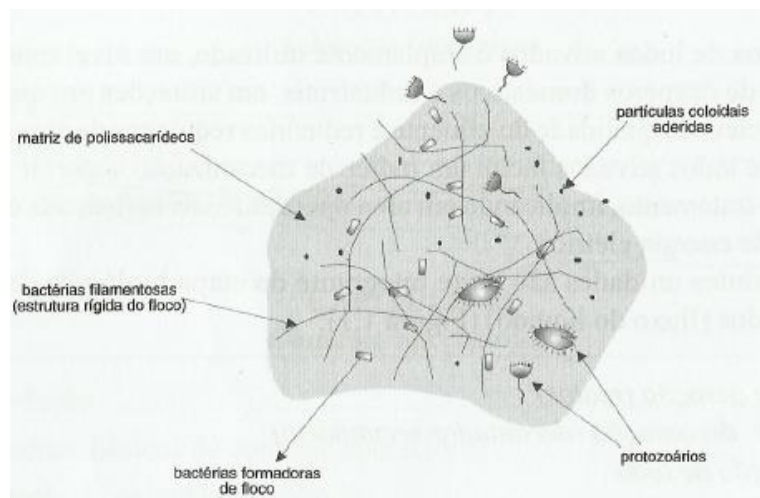
**Figura 8:** Desenho esquemático de um reator UASB.

**Fonte:** Jordão e Volschan Jr. (2009).

Uma das principais vantagens desse método de tratamento é a eficiência de remoção da matéria orgânica aliada ao baixo consumo de energia elétrica, assim como a baixa produção de lodo e a simplicidade construtiva e operacional. Algumas desvantagens a serem consideradas são a baixa capacidade de tolerar cargas tóxicas, a geração de odor devido aos gases gerados nas reações anaeróbias de degradação, e a frequente necessidade de uma etapa de pós tratamento devido à sua eficiência de remoção de matéria orgânica ser da ordem de 65 a 75% (CHERNICHARO, 1997).

### 2.4.3. Lodos Ativados

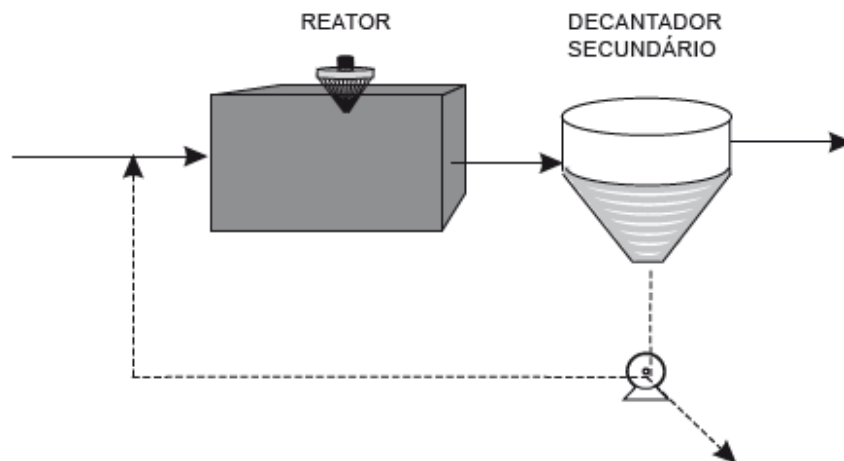
De acordo com Jordão e Pessôa (2014), o lodo ativado pode ser definido como um floco, ilustrado na Figura 9, produzido no esgoto bruto e acumulado pelo crescimento de bactérias na presença de oxigênio dissolvido.



**Figura 9:** Esquema de um floco de lodo ativado.

**Fonte:** Von Sperling (2002).

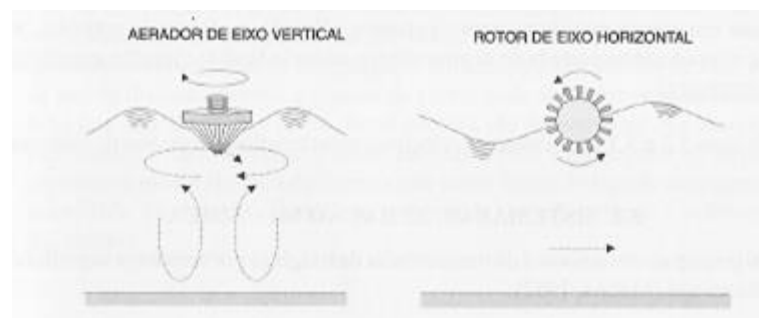
O processo de tratamento é caracterizado pela aeração e mistura do esgoto afluyente com o lodo ativado. Esse procedimento ocorre nos chamados reatores, e a partir daí, conforme a Figura 10, o sistema segue para uma etapa de decantação na qual o lodo ativado é em sua maioria recirculado para o sistema, o excesso de lodo é destinado para tratamento e descarte, e o efluente tratado final segue para lançamento no corpo receptor (VON SPERLING, 2002).



**Figura 10:** Esquema das unidades do Sistema de Lodos Ativados.

**Fonte:** Von Sperling (2002).

O oxigênio dissolvido no meio é essencial para o funcionamento do método, visto que se trata de um processo biológico aeróbio de tratamento. Essa aeração é feita por sistemas que podem apresentar diversas formas de configuração, conforme ilustrado na Figura 11. As características irão variar desde a forma pela qual o ar é introduzido e os tipos de bolhas formadas, até mesmo a distribuição e o posicionamento dos equipamentos.



**Figura 11:** Modelos de aeradores mecânicos.

**Fonte:** Von Sperling (2002).

Os sistemas de lodos ativados também podem ser classificados de acordo com a idade do lodo, ou seja, o tempo de retenção dos sólidos no sistema. A Tabela 1 ilustra as principais configurações de idade do lodo praticadas no tratamento de esgotos domésticos.

**Tabela 1:** Classificação dos sistemas em função da idade do lodo.

Idade do lodo	Carga de DBO aplicada por unidade de volume	Faixa de idade do lodo	Denominação usual
Reduzidíssima	Alíssima	Inferior a 3 dias	<i>Aeração modificada</i>
Reduzida	Alta	4 a 10 dias	<i>Lodos ativados convencional</i>
Intermediária	Intermediária	11 a 17 dias	-
Elevada	Baixa	18 a 30 dias	<i>Aeração prolongada</i>

**Fonte:** Von Sperling (2002).

De modo convencional, o sistema de lodos ativados é caracterizado pela necessidade de uma etapa prévia de decantação primária, a fim de minimizar a carga orgânica que chega no reator e ocasionar uma economia no volume do tanque e na energia para aeração. Nesse tipo de sistema, o excesso de lodo gerado requer um processamento específico devido à alta carga orgânica ainda presente no material, e segue para uma etapa de estabilização, ou seja, remoção da matéria orgânica, antes de sua disposição final. Esse processo ocorre nos chamados digestores, e o fluxo do tratamento de lodo segue conforme a Figura 12. Já no sistema de aeração prolongada, a biomassa é mantida no sistema por um período mais longo, podendo receber a carga orgânica diretamente do esgoto bruto, sem a necessidade de um tratamento primário. Devido ao grande tempo de retenção dos sólidos no sistema, e a grande eficiência na degradação da DBO, as bactérias passam a utilizar matéria orgânica do próprio material celular para subsistência. Desse modo, o lodo gerado nos sistemas de aeração prolongada possui como particularidade a sua estabilização, dispensando a necessidade de um posterior tratamento biológico do lodo, restando apenas o processo de remoção da umidade para possibilitar o descarte (VON SPERLING, 2002).



**Figura 12:** Fluxo de tratamento do lodo excedente.

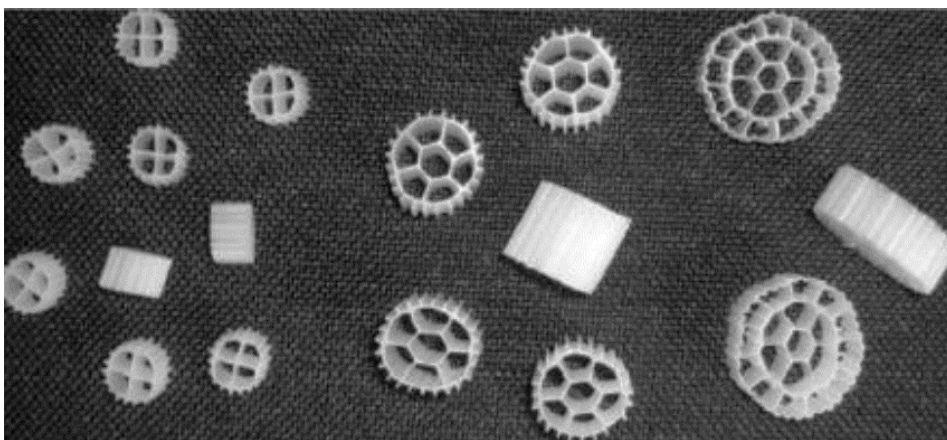
**Fonte:** adaptado de Von Sperling (2002).

Uma das principais vantagens desse método de tratamento é a sua elevada eficiência na remoção de DBO, que varia da ordem de 85 a 93% nos sistemas convencionais, 93 a 98% nos sistemas de aeração prolongada; assim como a obtenção da nitrificação e flexibilidade operacional, permitindo diversos tipos de arranjo do sistema. Algumas desvantagens a serem consideradas são a baixa eficiência na remoção de coliformes, elevados custos de implantação e operação, assim como o elevado consumo de energia (VON SPERLING, 1996).

#### 2.4.4. Reator Biológico de Leito Móvel - MBBR

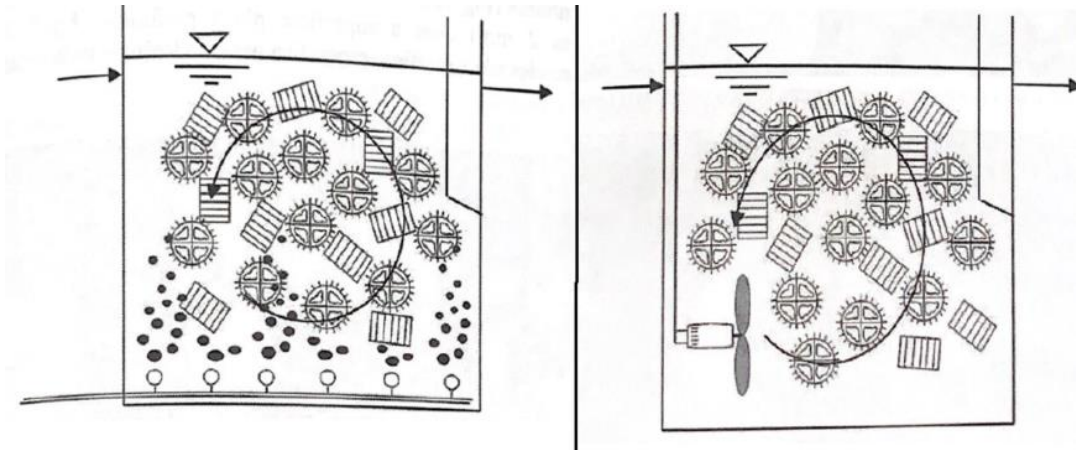
A tecnologia MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*) surge com o intuito de otimizar o processo de lodos ativados, aumentando o contato do efluente com a biomassa de modo a possibilitar uma maior eficiência do processo. O método é caracterizado pela utilização de meios suportes flutuantes no tanque de aeração, que fornecem uma evolução no desempenho do processo, sem alterar a sua estrutura inicial.

Usualmente esse meio suporte é configurado por uma mídia fabricada em material plástico, em formatos semelhantes a um carretel ou cilindro, e apresenta sulcos que proporcionam uma superfície favorável para a aderência da biomassa. Esse corresponde ao princípio fundamental para a aplicabilidade do processo. Na Figura 13 estão representados alguns modelos de meio suporte utilizados em aplicações variadas, desde tanques aerados até reatores anóxicos, que irão requerer métodos de mistura distintos, conforme a Figura 14 (JORDÃO E PESSÔA, 2014).



**Figura 13:** Variações do modelo de suporte Kaldnes.

**Fonte:** Jordão e Pessôa (2014).



**Figura 14:** Peças móveis em suspensão por ar difuso e por misturador, em tanque aerado e tanque anóxico respectivamente.

*Fonte:* adaptado de Jordão e Pessôa (2014).

Dentre as principais vantagens desse método, que possui parâmetros operacionais e de controle semelhantes ao processo de lodos ativados, estão a elevação da atividade microbiana e aumento do tempo de retenção celular. Tais aspectos possibilitam uma redução do volume do tanque de aeração, e o processo surge também como uma alternativa para o aumento da capacidade de tratamento de uma estação sem a necessidade de grandes alterações estruturais. Em consequência, a maior quantidade de biomassa presente no tanque requer maior concentração de oxigênio dissolvido no meio, gerando um aumento no consumo de energia devido à aeração ser intensificada. Uma estratégia para contornar esse inconveniente é o uso de bolhas de oxigênio médias e grossas, possibilitado apenas pela existência da mídia suporte (RUSTEN *et al*, 2006; JORDÃO & PESSÔA, 2014).

## 2.5. TRATAMENTOS COMBINADOS DE ESGOTO

Segundo Jordão e Pessôa (2014), a escolha de uma Estação de Tratamento de Esgoto no século XXI parte de uma análise não apenas dos requisitos ambientais, de saúde pública, estéticos e legais, mas também considera as novas tecnologias, o mercado econômico e os anseios da comunidade. Aspectos como automação, baixa produção de lodo e operacionalidade surgem como parâmetros decisivos na escolha das tecnologias e no dimensionamento de novas estações.

Apesar das vantagens identificadas na tecnologia UASB, sua eficiência de remoção de DBO fica limitada aos 75%. Nas situações em que o órgão regulador estabelece padrões muito restritivos para o lançamento do efluente tratado, ou nos casos em que se tem baixa capacidade de diluição por parte do corpo receptor, torna-se necessário utilizar o tratamento aeróbio como complemento ao anaeróbio (CHERNICHARO, 1997).

São diversas as vantagens de se utilizar o tratamento combinado anaeróbio e aeróbio em comparação a uma estação convencional com apenas uma metodologia. Segundo Chernicharo (1997), os decantadores primários, adensadores de lodo e digestores podem ser todos substituídos pelo próprio reator UASB, que possui como característica a estabilização do lodo gerado. Além disso, a eficiência na remoção de DBO desse reator permite uma redução de volume aproximadamente pela metade, em relação aos reatores aeróbios e decantadores secundários empregados na sequência do processo de tratamento. O consumo de energia para aeração no sistema aeróbio também pode sofrer uma redução de até 70%, e os demais custos operacionais da estação também se mostram altamente atrativos.

### **2.5.1. Biorreator Combinado - BRC**

O sistema BRC é caracterizado por um reator de leito fixo e fluxo ascendente compreendendo uma etapa anaeróbia de tratamento seguida por uma etapa aeróbia, combinadas em um mesmo reator. O processo também faz uso de mídia suporte para promover o aumento da concentração de biomassa no reator biológico, proporcionando assim o aumento da capacidade do reator quanto a remoção de sólidos suspensos, matéria orgânica e nitrogênio amoniacal.

O método inicia com a entrada do efluente no reator em fluxo ascendente, distribuído pelo fundo do tanque na zona anaeróbia, que possui um leito de biomassa imobilizada, onde ocorre a digestão inicial de compostos orgânicos complexos. O leito fixo possibilita velocidades ascensionais elevadas (taxa de aumento superior a 100%), elevando a capacidade de tratamento do tanque. Após a etapa anaeróbia, o efluente segue para uma zona aeróbia de leito fixo, com inserção de oxigênio no meio e mistura proporcionados por ejetores de ar, gerando as condições necessárias para que ocorra a digestão aeróbia, com degradação da matéria orgânica remanescente e remoção da amônia por processos de nitrificação (ARAÚJO *et al*, 2017).



O processo apresenta como principais vantagens a ausência de odores, devido à sobreposição das etapas anaeróbia e aeróbia de modo que há oxidação do gás sulfídrico gerado; baixa geração de lodo; e redução considerável do volume dos tanques, característica significativa para locais com pouca disponibilidade de área, como exemplo da ETE Esplanada ilustrada na Figura 15, possuindo capacidade nominal de tratamento de 180 L/s.



*Figura 15: ETE Esplanada, localizada em Campos dos Goytacazes –RJ.*

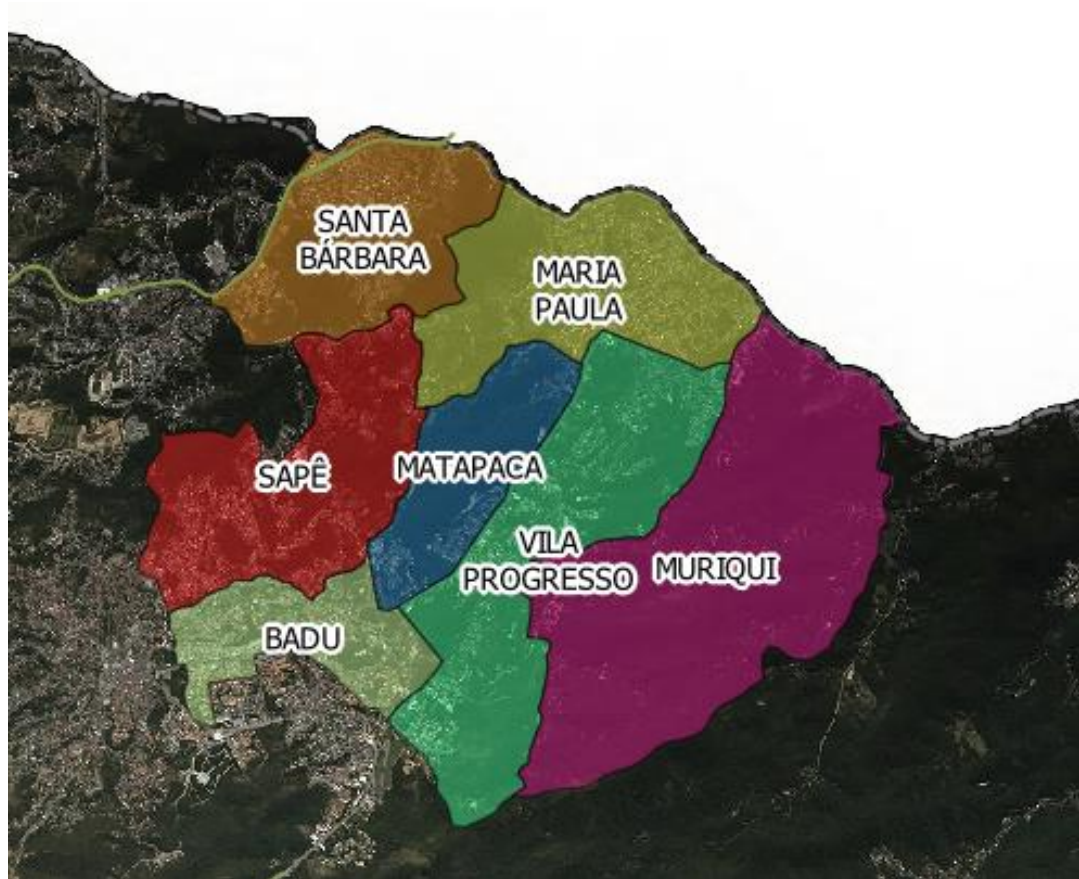
*Fonte: Grupo Águas do Brasil (2020).*

Como desvantagem, o processo apresenta a desnitrificação incompleta, devido a aeração contínua na zona aeróbia do reator, o que pode ser um limitante para utilização do sistema em locais com padrões ambientais mais restritivos. Além disso ainda há um elevado consumo de energia elétrica para proporcionar a aeração necessária no tanque.

### 3. ESTUDO DE CASO: ETE MARIA PAULA

#### 3.1. S.E.S. MARIA PAULA

Maria Paula corresponde ao nome de um bairro localizado na cidade de Niterói, no estado do Rio de Janeiro, situado na região limítrofe do município, fazendo divisa com a cidade de São Gonçalo, conforme ilustrado na Figura 16.



*Figura 16: Região de Maria Paula e adjacências, Niterói – RJ.*

*Fonte: Autora (2022).*

De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB (2020), a bacia de esgotamento de Maria Paula contempla integralmente ou parcialmente os bairros de Muriqui, Vila Progresso, Maria Paula, Matapaca, Badu, Sapê e Santa Bárbara, sendo constituída por aproximadamente 50km de rede coletora, 32 estações elevatórias de esgoto, e 1 estação de tratamento de esgoto, conforme exposto na Figura 17, sob gestão da Concessionária Águas de Niterói – Grupo Águas do Brasil.



*Figura 17: Fluxograma das estações elevatórias na Bacia Maria Paula, Niterói – RJ.*

*Fonte: Plano Municipal de Saneamento Básico - PMSB (2020).*

### 3.2. CONCEPÇÃO DO PROJETO

Com o objetivo de atender às diretrizes de lançamento estabelecidas pela legislação vigente, representada no período principalmente pela CONAMA 430 e NT-202, o projeto foi idealizado em meio ao desafio de atingir o nível de tratamento secundário, em uma área de aproximadamente 2.600 m<sup>2</sup> e adensada, conforme ilustrado na Figura 18. Além disso, foi preciso ponderar os anseios da comunidade local, representados principalmente por uma escola municipal e um condomínio residencial localizados no entorno do terreno da estação, de modo que o projeto considerasse os impactos causados pela geração de odor e ruído, além da logística operacional (BIOPROJ, 2015).



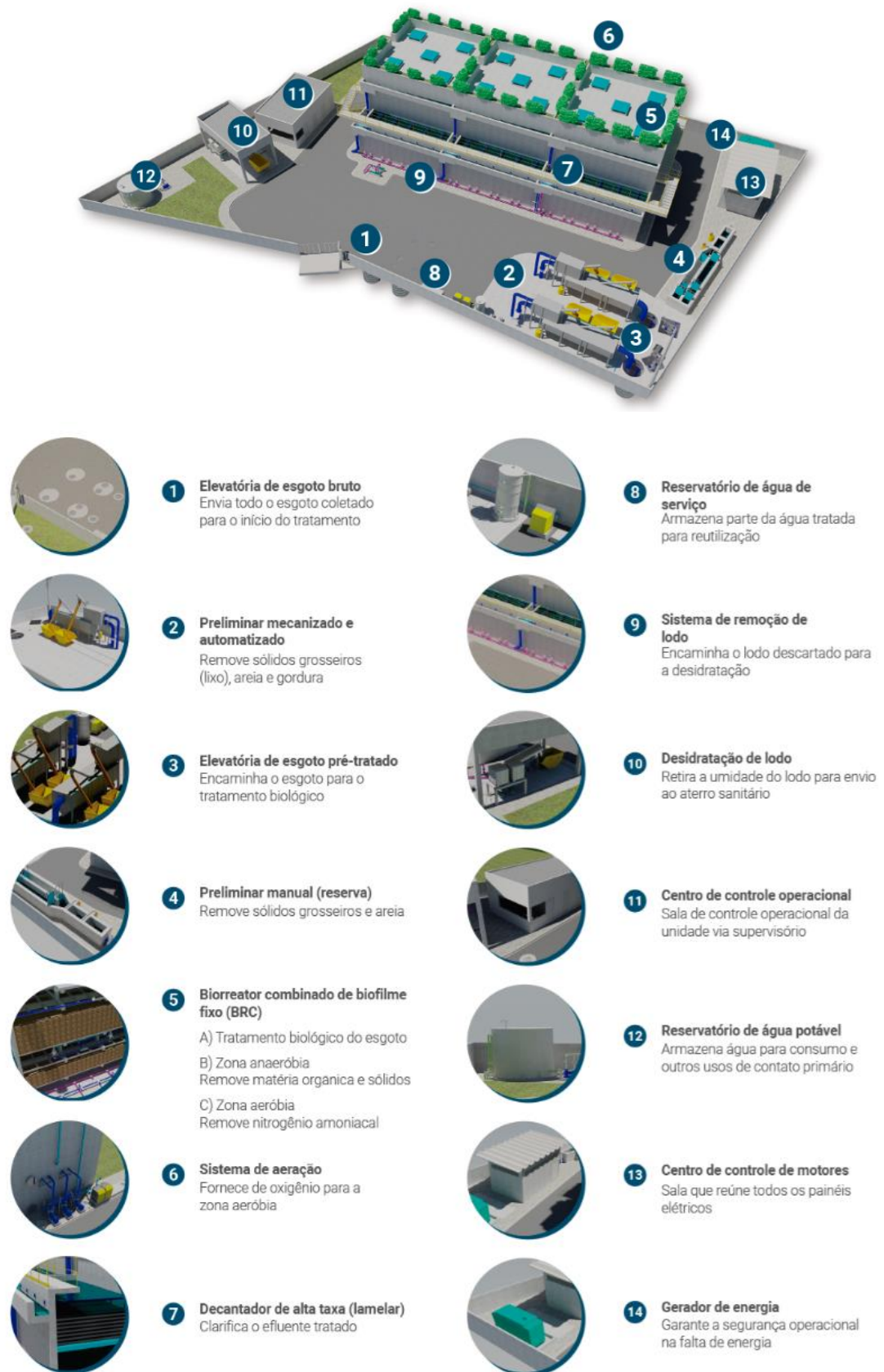
*Figura 18: Localização da estação de tratamento de esgoto de Maria Paula, em Niterói –RJ.*

*Fonte: Autora (2022).*

### 3.2.1. Tecnologia

A alternativa escolhida para o caso da ETE Maria Paula foi a implantação de uma estação de tratamento de esgoto a partir do sistema de Biorreator Combinado Anaeróbio-Aeróbio – BRC, por apresentar uma otimização da área de ocupação do terreno; redução dos custos de implantação devido a sua característica modular que acompanha o crescimento populacional; redução dos custos de operação devido à baixa produção de lodo; simplicidade de operação, possibilitando o monitoramento de forma remota, sem necessidade de funcionários fixos atuando no local; redução de odores que poderiam afetar a comunidade no entorno.

A estação foi inaugurada no ano de 2016, e seu processo pode ser explicitado por um fluxo simples, conforme ilustrado na Figura 19, de modo que sua operacionalidade possibilita a partir de processos de automação o monitoramento e controle da estação de forma remota, via IHM disponível para visualização e intervenção em outra estação de tratamento da cidade, a ETE Itaipu.



**Figura 19:** Fluxo de processo na ETE Maria Paula.

*Fonte: adaptado de BIOPROJ (2022).*

O projeto conta com a atuação e de um pequeno para imobilização de biomassa, constituído de poliuretano e polipropileno, que possibilita o aumento da quantidade de biomassa aderida presente nos reatores e conseqüentemente o aumento da capacidade de tratamento.

### 3.2.2. Processos

O sistema inicia pela estação elevatória de esgoto bruto, que recebe todo o efluente coletado na bacia de esgotamento e encaminha o mesmo para o tratamento preliminar, processo físico de tratamento desempenhado por equipamento compacto, de modelo ilustrado na Figura 20. Segundo Castro (2022), a tecnologia combina sistemas de filtragem de sedimentos; lavagem, desidratação e compactação de resíduos; remoção e descarte de areia; e separação de gordura. Além disso, a unidade conta com um sistema de tratamento preliminar convencional, utilizado apenas em caso de manutenção no equipamento principal, ilustrado na Figura 21. Posteriormente o esgoto sanitário segue por meio de elevação mecânica para o tratamento biológico, realizado no módulo do reator BRC.



*Figura 20: Equipamento de pré-tratamento compacto instalado no local.*

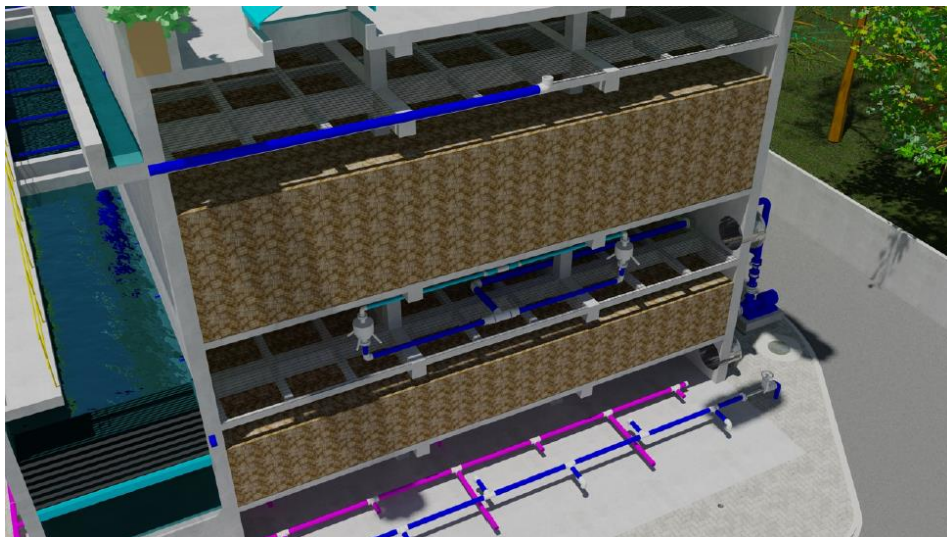
*Fonte: PROMINAS (2022).*



*Figura 21: Tratamento preliminar reserva.*

*Fonte: BIOPROJ (2015).*

No reator BRC o fluxo hidráulico ocorre de forma ascendente, com o efluente passando pela etapa anaeróbia e posteriormente pela etapa aeróbia, conforme ilustrado na Figura 22. A zona anaeróbia é o local onde ocorre a digestão anaeróbia dos compostos orgânicos complexos, gerando uma eficiência de remoção de até 60% da DBO, com a utilização de mídia suporte para proporcionar um leito fixo de biomassa. A mídia suporte evita o carreamento do lodo no fluxo, eliminando assim a necessidade do separador trifásico comum em outros sistemas anaeróbios, como o reator UASB (BIOPROJ, 2015).

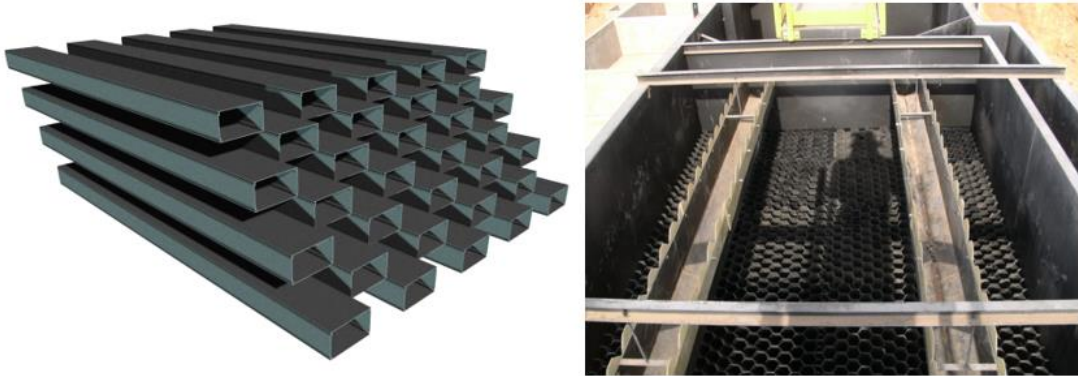


*Figura 22: Corte esquemático de modelo tridimensional do sistema BRC na ETE Maria Paula.*

*Fonte: BIOPROJ (2015).*

Em seguida o esgoto sanitário segue o fluxo ascendente e passa para a zona aeróbia, a partir da injeção de oxigênio por meio de sopradores de ar e malhas de difusores de membrana tubulares de bolha finas, que viabilizam a oxidação aeróbia da matéria orgânica remanescente, nitrogênio amoniacal, ácido sulfídrico e ácidos orgânicos que são os geradores de odor desagradável; também em um leito fixo de biomassa (BIOPROJ, 2015).

Após o tratamento biológico o efluente é direcionado para o decantador secundário lamelar de alta taxa, onde ocorre o processo físico que promove a separação por gravidade do efluente clarificado e dos sólidos suspensos remanescentes. O sistema de lamelas utilizado nesse processo é responsável por aumentar a área superficial, conforme ilustrado na Figura 23, otimizando o processo de decantação (BIOPROJ, 2015).



**Figura 23:** Exemplo de módulo lamelar utilizado em unidades de decantação.

**Fonte:** adaptado de ECOSAN (2022).

### 3.2.3. Eficiência do tratamento

Segundo Jordão e Pessôa (2014), o grau e a eficiência de uma ETE serão sempre definidos em função das características do corpo receptor, assim como da utilização da água a jusante do ponto de lançamento. No caso da ETE Maria Paula, o efluente tratado é destinado ao Rio Pendotiba, e o corpo receptor foi determinante para a definição do nível secundário de tratamento da estação, pelo órgão ambiental, por não haver grande necessidade da remoção de nutrientes como amônia e fósforo.

No Rio de Janeiro a eficiência das estações de tratamento é monitorada pelo Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos – PROCON ÁGUA, sistema utilizado pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA para acompanhar as características qualitativas e quantitativas dos efluentes líquidos tratados. No ano de 2021, o Relatório de Acompanhamento de Efluentes



Líquidos (RAE) indicou uma eficiência de 92% de remoção da carga orgânica realizada pela ETE Maria Paula, e 90% para os sólidos suspensos totais. Esse resultado pode ser observado na Figura 24, que ilustra amostras coletadas na entrada e na saída da estação, de esgoto bruto e efluente tratado, respectivamente.



*Figura 24: Amostras de efluente da ETE Maria Paula.*

*Fonte: Autora (2022).*

A eficiência do tratamento na estação possibilita a utilização do efluente tratado para outros fins além da disposição no corpo hídrico receptor. A chamada “água de reúso” atualmente é utilizada para fins que não exigem o emprego de água potável, como processos empregados nos próprios sistemas da estação, irrigação e lavagem de ruas.

Apesar de configurar uma alternativa viável para minimizar os problemas da escassez de água, e promover a conservação dos recursos hídricos, atualmente não existem legislações específicas e padrões reguladores para monitorar a qualidade da água de reúso e a segurança de sua utilização. O Decreto Estadual Nº 47.403, de 15 de dezembro de 2020, dispõe sobre a política de reúso de água e prevê a regulamentação de normas operacionais para critérios e parâmetros de qualidade, que deverão ser elaboradas pelo Instituto Estadual do Ambiente – INEA.

### 3.3. PROPOSTA PRELIMINAR DE AMPLIAÇÃO

Atualmente a estação opera em sua primeira fase de projeto e uma unidade do biorreator instalada, com capacidade de atendimento nominal de 35 L/s e vazão máxima de pico de 63 L/s.

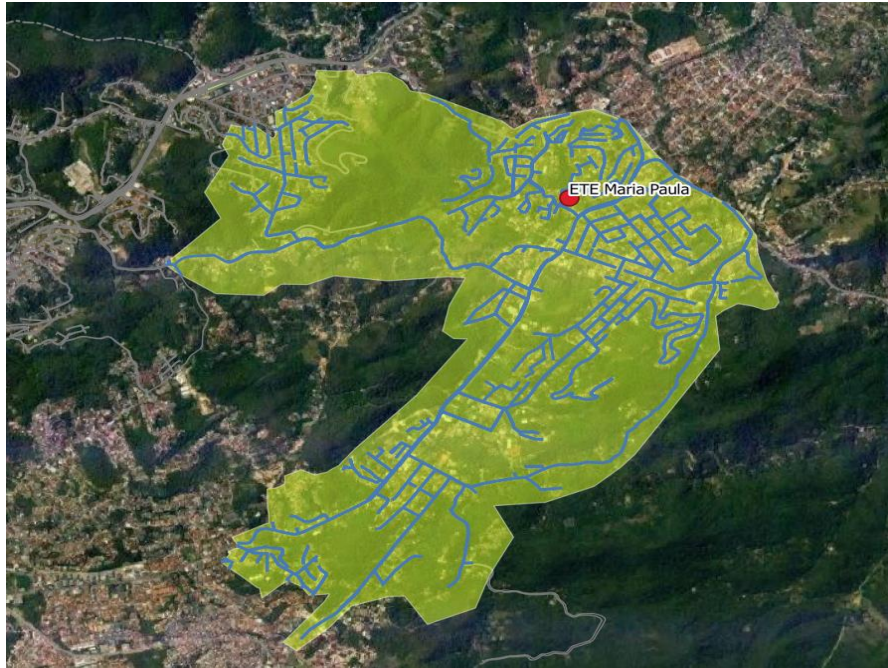
O projeto foi elaborado de modo a possibilitar a implantação de mais 2 módulos de reatores BRC no local, possibilitando uma capacidade nominal de tratamento de até 105 L/s, com pico de até 189 L/s. Atualmente é possível observar no reator existente as vigas em espera, preparadas para uma futura construção dos demais reatores, conforme ilustrado na Figura 25. A ampliação da ETE deverá ocorrer de acordo com a necessidade promovida pelo crescimento demográfico da região.



*Figura 25: Vigas em espera para estrutura de um novo módulo do reator.*

*Fonte: BIOPROJ (2016).*

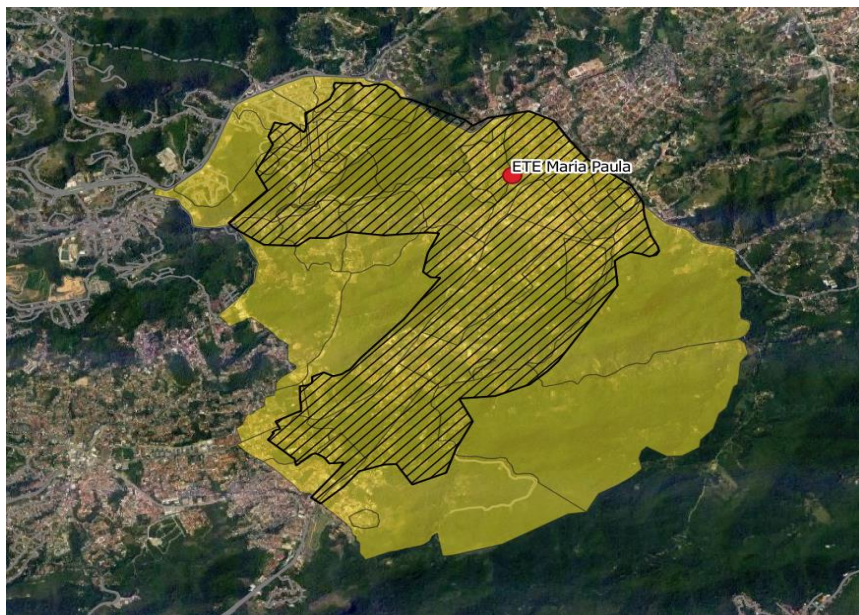
A bacia de esgotamento utilizada para a elaboração da proposta, ilustrada na Figura 26, foi desenvolvida com o auxílio do software de georreferenciamento QGIS, de acordo com os dados de rede coletora de esgoto disponibilizados no portal do Sistema de Gestão da Geoinformação de Niterói – SIGeo.



**Figura 26:** Bacia de esgotamento da ETE Maria Paula.

*Fonte:* Autora (2022).

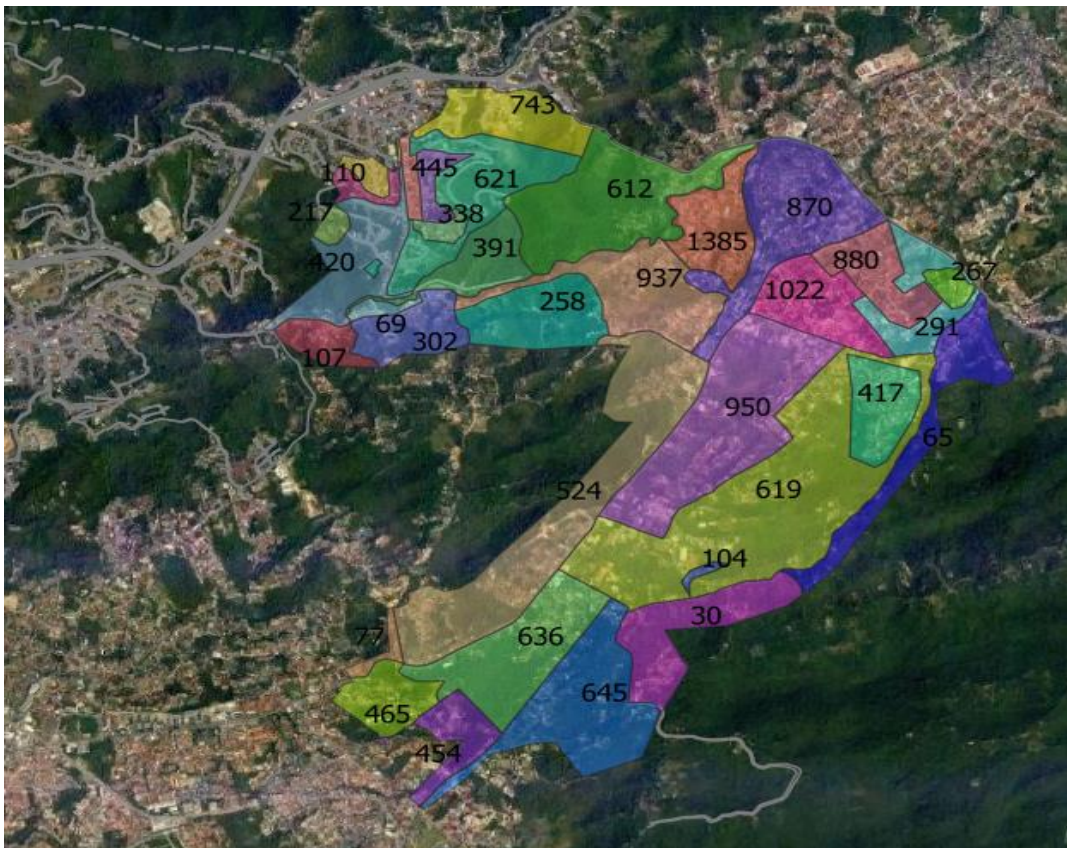
O polígono da bacia foi sobreposto à camada de setores censitários da cidade de Niterói, com referência ao ano de 2022, também disponibilizada no Sistema de Gestão da Geoinformação de Niterói – SIGeo. Deste modo, ficou evidente uma divergência entre os limites das camadas, conforme ilustrado na Figura 27.



**Figura 27:** Divergência entre os limites das camadas da bacia de esgotamento e dos setores censitários.

*Fonte:* Autora (2022).

Foi realizada a compatibilização das camadas, de modo a estimar o número total de habitantes na bacia de esgotamento, conforme ilustrado na Figura 28. A partir das informações obtidas da camada ajustada de setores censitários, obteve-se o total de 15.982 habitantes para a região. De acordo com o Plano Municipal de Saneamento Básico – PMSB (2020), com referência à cidade de Niterói, considerou-se uma geração per capita de esgoto de 156,10 L/hab/d, resultando em uma vazão de esgoto de 28,87 L/s na bacia de esgotamento, conforme explicitado na Equações (4) e (5).



**Figura 28:** Setores censitários ajustados proporcionalmente de acordo com a Bacia de esgotamento.

*Fonte:* Autora (2022).

$$15982 * 156,10 = 2494790,2 \text{ L/dia} \quad (4)$$

$$\frac{2494790,2}{86400} = 28,87 \text{ L/s} \quad (5)$$

Segundo o Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano – PDDU (2015), Niterói apresentou uma taxa geométrica de crescimento de 0,6% ano, em relação aos censos

demográficos de 2000 e 2010 divulgados pelo IBGE. Considerando-se a estimativa do IBGE de 515.317 habitantes para o ano de 2020, verifica-se que essa taxa se mantém, conforme explicitado na Tabela 2.

**Tabela 2:** Taxa geométrica de crescimento da cidade de Niterói.

	<b>2000</b>	<b>2010</b>	<b>2020</b>	<b>Taxa geométrica de crescimento</b>
<b>Habitantes</b>	459.451	487.562	515.317	0,6%

*Fonte: Autora (2022)*

A partir da taxa obtida, foram calculadas as previsões para a necessidade de implementação dos módulos futuros, apresentada na Tabela 3.

**Tabela 3:** Previsão de implementação do novo módulo BRC para a ETE Maria Paula.

<b>Ano</b>	<b>População (hab)</b>	<b>Vazão média de esgoto (L/s)</b>
Atual (2022)	15.982	28,87 L/s
2º módulo (2056)	19.372	35,0 L/s

*Fonte: Autora (2022)*

Os resultados obtidos indicam uma relativa estabilidade na configuração atual da estação, de modo que cabem as seguintes ressalvas na presente proposta preliminar:

- Foi considerada a proporcionalidade de área, e conseqüentemente da população, dos setores censitários com limites diferentes da bacia de esgotamento sanitário contribuinte à ETE Maria Paula, de forma a obter uma população aproximada nesses setores censitários que contribuam para a ETE em questão;
- O coeficiente per capita de esgoto adotado deverá ser avaliado para períodos futuros, verificando-se tendências e mudanças no padrão de consumo da população.
- Os dados populacionais deverão ser verificados e ajustados quando houver a divulgação do novo censo em desenvolvimento, inclusive para elaboração de propostas relativas ao terceiro módulo e à saturação da bacia.

- Segundo matéria divulgada pela BBC News Brasil (2020), estima-se um pico da população brasileira para o ano de 2043, e a partir deste período as taxas entrariam em uma queda acentuada devido a uma série de transformações sociais.

## 4. CONCLUSÃO E CONSIDERAÇÕES FINAIS

A problemática do saneamento no Brasil é evidenciada nos dados mais relevantes publicados sobre o assunto. É necessário despertar o senso de urgência para alcançar transformações profundas na sociedade, e alavancar os investimentos na área.

Os processos biológicos representam uma das alternativas mais utilizadas no Brasil no tratamento de efluentes sanitários. Seus procedimentos podem ser praticados tanto em ambientes de anaerobiose como na presença de oxigênio, e devido à sua capacidade de assumir diversas configurações, podem ser desenvolvidos de modo a otimizar as vantagens e minimizar as desvantagens de cada método para aplicação.

O Biorreator Combinado – BRC revelou-se como uma importante inovação tecnológica na implementação de estações de tratamento de esgotos compactas, além de solucionar diversos problemas como a otimização de espaço, geração de odores e de lodo. Estudos complementares devem ser realizados a fim de solucionar a questão da remoção do parâmetro nitrogênio total, ainda ineficiente na configuração do sistema BRC.

A previsão da implementação do segundo módulo do reator mostrou-se longínqua, avaliada para o ano de 2056, de acordo com as projeções futuras considerando-se o alcance da vazão de 35 L/s, correspondendo à vazão nominal do módulo. O atual reator atende satisfatoriamente à bacia de esgotamento sanitário de Maria Paula, considerando-se um horizonte de 20 anos de projeto, período amplamente adotado na área de saneamento.

Entretanto estudos internacionais mais recentes estimam que a população brasileira irá sofrer uma queda nas taxas de crescimento populacional, devido a mudanças sociais, de modo que a população iria decair, interferindo também na implementação de um novo módulo. Essas previsões necessitam de atualização conforme novos dados forem divulgados, como o censo 2020 do IBGE que se encontra atualmente em atraso.

O reator BRC mostrou-se um sistema satisfatório de tratamento de esgotos para o caso estudado, com a limitação da remoção de nitrogênio total e sugestão para estudos futuros, a fim de possibilitar a implementação dessa tecnologia em locais que tenham uma legislação mais restritiva ou um corpo receptor mais sensível.

## 5. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AMPLA ASSESSORIA E PLANEJAMENTO LTDA. **Plano Municipal de Saneamento Básico** - PMSB. Niterói: Prefeitura Municipal de Niterói, 2020.

ARAÚJO, T. L. S.; ARAÚJO, P. L. S.; ARAÚJO JR, M. M.; NERY, V. D. **Biorreator combinado anaeróbio-aeróbio de leito fixo para tratamentos de esgoto sanitário**. São Carlos, ABES, 2017.

BASSIN, J. P. **Nitrificação de efluentes salinos em reatores de leito móvel com biofilme e biorreatores agitados**. Rio de Janeiro: COPPE/UFRJ, 2008.

BIOPROJ Tecnologia Ambiental. **Descritivo Básico de Processo** - ETE Maria Paula. Rio de Janeiro, Concessionária Águas de Niterói – Grupo Águas do Brasil, 2015.

BIOPROJ Tecnologia Ambiental. **Implantação de Estação Modular Compacta de Alto Desempenho** – ETE Maria Paula. São Carlos: BIOPROJ Tecnologia Ambiental, 2016.

BIOPROJ Tecnologia Ambiental. **Manual de Operação** - ETE Maria Paula. Rio de Janeiro, Concessionária Águas de Niterói – Grupo Águas do Brasil, 2015.

CASTRO, R. A. **Monitoramento de Efluentes em Estações de Tratamento de Esgotos: Uma Abordagem Sistêmica e Ambiental**. Niterói: UFF, 2022.

CHERNICHARO, C.A.L. **Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias: Reatores Anaeróbios**. Belo Horizonte: Segrac, 1997.

DADOS ABERTOS OPEN DATA. **Sistema de Gestão da Geoinformação Niterói**. Disponível em: <<https://www.sigeo.niteroi.rj.gov.br/pages/dados-abertos>>. Acesso em: 09 de julho de 2022.

DECANTADOR LAMELAR COM MÓDULOS TUBULARES – MTD. **Ecosan Soluções**. Disponível em: <<https://ecosan.com/solucoes/equipamentos/decantadores/decantador-lamelar-com-modulos-tubulares-mtd/>>. Acesso em: 02 de julho de 2022.

DEZOTTI, M.; Bassin, J.P., Bila, D.M., et al. **Processos e Técnicas para o Controle Ambiental de Efluentes**, Rio de Janeiro: E-papers Serviços Editoriais Ltda., 2008.

ENTENDA COMO FUNCIONA A FLOTAÇÃO NO TRATAMENTO DE EFLUENTES. **RESICLEAN Ambiental**. Disponível em: <<https://www.resiclean.com.br/flotacao-tratamento-de-efluentes/>>. Acesso em: 02 de julho de 2022.

ESTIMATIVAS DA POPULAÇÃO. **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE**. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas/sociais/populacao/9103-estimativas-de-populacao.html?edicao=28674&t=resultados>>. Acesso em: 10 de julho de 2022.

FORESTI, E.; FLORÊNCIO, L.; HAANDEI, A.V.; ZAIAT, M.; CAVALCANTI, P.F.F. **Tratamento de Esgotos Sanitários por Processo Anaeróbio e Disposição Controlada no Solo**. Rio de Janeiro: RiMa Artes e Textos, 1999.

FUNDAÇÃO GETÚLIO VARGAS. **Apoio à Revisão do Plano Diretor de Desenvolvimento Urbano (PDDU) do Município de Niterói**. Niterói: Prefeitura Municipal de Niterói, 2016.



GONÇALVES, F. B. e SOUZA, A.P. **Disposição oceânica de esgotos sanitários**: história, teoria e prática. Rio de Janeiro: ABES, 1997.

JORDÃO, E. P., PESSÔA, C. A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. Rio de Janeiro. ABES. 2014

JORDÃO, E.P; VOLSCHAN JR., I. **Tratamento de Esgotos Sanitários em Empreendimento Habitacionais**. Brasília: CAIXA, 2009.

LETTINGA, G.; HULSHOFF POL, L. W.; ZEEMAN G. **Biological wastewater treatment - Part I: Anaerobic wastewater treatment - Lecture notes**. Wageningen: Agricultural University, 1996.

LISBOA, Thalles P. **Notas de Aula - Química das Águas**. Juiz de Fora: UFJF, 2015.

METCALF & EDDY, INC. **Tratamento de Efluentes e Recuperação de Recursos**. Porto Alegre: AMGH, 2016.

NITERÓI, PETRÓPOLIS E CAMPOS SEGUEM NA LIDERANÇA DO RANKING DO TRATA BRASIL NO ESTADO. **Grupo Águas do Brasil**. Disponível em: <<https://www.grupoaguasdobrasil.com.br/blog/niteroi-petropolis-e-campos-seguem-na-lideranca-do-ranking-do-trata-brasil-no-estado/>>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

POPULAÇÃO DO BRASIL DEVE ENCOLHER EM QUASE 50 MILHÕES ATÉ O FIM DO SÉCULO, APONTA ESTUDO. **BBC News Brasil**, 2020. Disponível em: <<https://www.bbc.com/portuguese/brasil-53412547>>. Acesso em: 14 de julho de 2022.

PTRAT. **Prominas Brasil Equipamentos**. Disponível em: <<http://www.prominasbrasil.com.br/produto/saneamento/ptrat/ptrat>>. Acesso em: 30 de junho de 2022.

RIO DE JANEIRO. **Decreto Nº 47.403** - Política de reúso de água para fins não potáveis. Rio de Janeiro: Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro, 2020.

RUSTEN B.; EIKEBROKK, B., YNGVE U., EIVIND L. **Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors**. Oslo: Aquacultural Engineering, 2006.

SNIS. **Diagnóstico Temático Serviços de Água e Esgoto**. Brasília: Secretaria Nacional de Saneamento - SNS, 2020.

Tecnologia. **BIOPROJ Tecnologia Ambiental**. Disponível em: <<http://bioproj.tecnologia.ws/tecnologia>>. Acesso em: 05 de julho de 2022.

THIOLLENT, Michel. **Pesquisa-Ação nas Organizações**. São Paulo: Atlas, 1997

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos**. Belo Horizonte: DESA-UFMG, 1996.

VON SPERLING, M. **Lodos Ativados**: Princípios do tratamento biológico de águas residuárias. Belo Horizonte: Universidade de Minas Gerais, 2002.