



Universidade Federal  
do Rio de Janeiro

---

Escola Politécnica

Avaliação da Adequação de uma Estação de Tratamento de  
Efluentes Industriais e Sanitários de uma Indústria de Biscoitos e  
Massas Alimentícias (IBMA)

Natália da Veiga Bonavita Teixeira

2017

AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS E SANITÁRIOS DE UMA INDÚSTRIA DE BISCOITOS E  
MASSAS ALIMENTÍCIAS (IBMA)

Natália da Veiga Bonavita Teixeira

Projeto de Graduação apresentado ao Curso de Engenharia Ambiental da Escola Politécnica, Universidade Federal do Rio de Janeiro, como parte dos requisitos necessários à obtenção do título de Engenheira.

Orientadora: Dr<sup>a</sup>. Juacyara Carbonelli Campos

Rio de Janeiro

Outubro

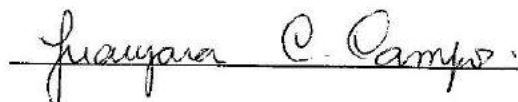
2017

AVALIAÇÃO DA ADEQUAÇÃO DE UMA ESTAÇÃO DE TRATAMENTO DE  
EFLUENTES INDUSTRIAIS E SANITÁRIOS DE UMA INDÚSTRIA DE BISCOITOS E  
MASSAS ALIMENTÍCIAS (IBMA)

Natália da Veiga Bonavita Teixeira

PROJETO DE GRADUAÇÃO SUBMETIDO AO CORPO DOCENTE DO CURSO DE  
ENGENHARIA AMBIENTAL DA ESCOLA POLITÉCNICA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO  
RIO DE JANEIRO COMO PARTE DO REQUISITOS NECESSÁRIOS PARA A OBTENÇÃO DO  
GRAU DE ENGENHEIRO AMBIENTAL.

Examinado por:



Profa. Juacyara Carbonelli Campos, D. Sc.

Orientadora



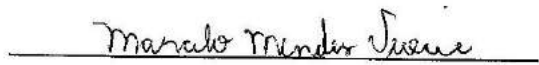
Mauro de Carvalho Moreira, Eng. Químico

Coorientador



Profa. Iene Christie Figueiredo, D. Sc.

Escola Politécnica, UFRJ



Prof. Marcelo Mendes Viana, D. Sc.

DPI/Escola de Química, UFRJ

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL

OUTUBRO de 2017

Teixeira, Natália da Veiga Bonavita

Avaliação da Adequação da Operação de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitários de uma Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias/ Natália da Veiga Bonavita Teixeira. - Rio de Janeiro: UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2017.

XIV, p.118: il.: 29,7 cm.

Orientadora: Juacyara Carbonelli Campos

Coorientador: Mauro de Carvalho Moreira

Projeto de Graduação - UFRJ/ Escola Politécnica/ Curso de Engenharia Ambiental, 2017.

Referências Bibliográficas: p. 108 - 116

1. Tratamento de Efluentes 2. Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias 3. Avaliação de Desempenho I. Veiga Bonavita Teixeira, Natália. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro, Escola Politécnica, Curso de Engenharia Ambiental. III. Título

## **AGRADECIMENTOS**

Agradeço imensamente aos meus pais, Arrenaldo e Rosecler e à minha cachorrinha Luna. Obrigada por terem dedicado a vida de vocês para me proporcionarem sempre o melhor, melhores oportunidade e se cheguei até aqui foi por conta da garra e persistência de vocês. Essa vitória é nossa!

A família Veiga que sempre esteve presente na minha vida, e que me deram muito apoio nesta minha trajetória.

A professora Juacyara, que aceitou este desafio comigo, com total disponibilidade e empenho.

Ao Mauro, Gilmar e Gelma por terem me dado a oportunidade de apresentar todo um trabalho realizado pela equipe. Aos operadores da estação, Adelmo, André e Eduardo pois sem eles não teríamos chegado a lugar algum e por permanecerem me ensinando cada dia mais.

Aos meus amigos do CMRJ, que me acompanharam desde o sofrimento para entrar na faculdade até a ansiedade para conclusão.

Aos amigos que fiz durante a faculdade. Obrigada por cada ajuda, cada explicação e descontração.

Aos profissionais da Controllab que me ajudaram muito a evoluir profissionalmente.

E obrigada UFRJ, por todas as experiências vividas por conta desse curso de graduação. Reprovações, greves, intercâmbio, tudo valeu a pena e acrescentou muito em meu crescimento profissional e pessoal. A todos os professores que passaram por minha vida e me inspiraram. Muito obrigada por estarem sempre dispostos a passar conhecimento, aprendizado e histórias de vida.

## **Resumo do Projeto de Graduação apresentado à Escola Politécnica/ UFRJ como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de Engenheiro Ambiental.**

Avaliação da Adequação da Operação de uma Estação de Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitários de uma Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias.

Natália da Veiga Bonavita Teixeira

Outubro/2017

Orientadora: Profa. Juacyara Carbonelli Campos

Coorientador: Mauro de Carvalho Moreira

Curso: Engenharia Ambiental

A partir da década de 20, as indústrias de transformação foram se tornando cada vez mais importantes para o cenário econômico brasileiro. Incluídas nessa evolução industrial estão as indústrias alimentícias, que chegaram a liderar a participação no mercado. Assim como praticamente todas as atividades antrópicas envolvem o consumo de água, o processo industrial não é diferente. O volume de água demandada por essas indústrias de alimentos é tão grande quanto a geração de efluentes industriais (provenientes de lavagem de pisos, do próprio processo, sistemas de refrigeração e geração de vapor). Devido às exigências legais, as indústrias tornaram-se responsáveis pelo tratamento desses efluentes gerados, através de estações de tratamento instaladas nas próprias fábricas. Este trabalho tem como objetivo analisar ações e o desempenho de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) industriais e sanitários de uma indústria de biscoitos e massas alimentícias. Foram analisados os sistemas de tratamento existentes: físico-químico para efluente industrial e biológico para o sanitário, bem como todas as ações realizadas para adequação da operação da ETE, tais como: estudo de caracterização do efluente; inspeção de campo; análise dos processos produtivos e suas adversidades; e mudanças no layout da planta. Com isso, pode-se: avaliar a evolução do desempenho da ETE e propor recomendações de melhorias para que a indústria em um futuro próximo esteja adequada para ser certificada através do PROCON ÁGUA ( de acordo com a DZ-942. R-7 do INEA/RJ), garantindo, assim, o atendimento às exigências legais estabelecidas pelo órgão ambiental.

**Abstract of Undergraduated Project presented to POLI/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Engineer.**

Evaluation of the Adequacy of an Industrial and Sanitary Effluent Treatment Plant's Operation for a Biscuit and Pasta Industry.

Natália da Veiga Bonavita Teixeira

Outubro/2017

Advisor: Profa. Juacyara Carbonelli Campos

Course: Environmental Engineering

From the 1920s, manufacturing industries became increasingly important for the Brazilian economy. The food industries are included in this industrial evolution, which led market share. Just as practically all antropic activities involve water consumption, the industrial process is no different. The volume of water demanded by these food industries is as great as the generation of industrial effluents (from floor washing, process itself, refrigeration systems and steam generation). Due to the legal requirements, the industries became responsible for the treatment of these generated effluents, through treatment plants installed in the own factories. This work aims to analyze actions and the performance of an industrial and sanitary wastewater treatment plant (WTP) of a biscuit and pasta industry. The existing treatment systems: physical-chemical for industrial and biological effluent for the sanitary, were analyzed, as well as all the actions taken to adjust the operation of the WTP, such as: treatability study and effluent characterization; factory inspection; analysis of productive processes and their adversities; also changes in plant's layout. With this, it is possible to: evaluate the evolution of the WTP performance and propose recommendations for improvements so that the industry in the near future is suitable to be certified through PROCON ÁGUA (according to DZ-942. INEA/RJ), thus ensuring compliance with legal requirements established by the environmental agency.

## SUMÁRIO

<b>1.</b>	<b>Introdução.....</b>	<b>15</b>
<b>2.</b>	<b>Objetivos.....</b>	<b>18</b>
<b>2.1.</b>	<b>Objetivo Geral.....</b>	<b>18</b>
<b>2.2.</b>	<b>Objetivos Específicos .....</b>	<b>18</b>
<b>3.</b>	<b>Revisão Bibliográfica .....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.</b>	<b>Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias.....</b>	<b>19</b>
<b>3.1.1.</b>	<b>Geração de Efluentes Industriais .....</b>	<b>21</b>
<b>3.2.</b>	<b>Alternativas de tratamento de efluentes.....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.1.</b>	<b>Tratamento Preliminar .....</b>	<b>24</b>
<b>3.2.2.</b>	<b>Tratamento Primário .....</b>	<b>26</b>
<b>3.2.3.</b>	<b>Tratamento Secundário .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3.1.</b>	<b>Tratamento Biológico - Aspectos Gerais.....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3.1.1.</b>	<b>Considerações iniciais .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3.1.2.</b>	<b>Classificação dos processos biológicos .....</b>	<b>29</b>
<b>3.2.3.1.3.</b>	<b>Remoção da Matéria Orgânica.....</b>	<b>33</b>
<b>3.2.3.1.4.</b>	<b>Remoção de Nutrientes .....</b>	<b>35</b>
<b>3.2.3.1.4.1.</b>	<b>Remoção Biológica de Nitrogênio .....</b>	<b>36</b>
<b>3.2.3.1.4.2.</b>	<b>Remoção Biológica de Fósforo.....</b>	<b>42</b>



3.2.3.2.	Sistema de lodos ativados.....	43
3.2.3.3.	Sistema de reatores aeróbios com biofilme - MBBR .....	45
3.2.3.3.1.	Aspectos Operacionais .....	46
3.2.3.3.1.1.	Agitação, Aeração e Regime de Oxigenação .....	46
3.2.3.3.1.2.	Meio suporte.....	48
3.2.3.3.1.3.	Formação de biofilme .....	51
3.2.3.3.1.4.	TRH.....	53
3.2.3.3.1.5.	Degradação da matéria orgânica e nitrogenada .....	54
3.2.3.3.2.	Aplicações e configurações da tecnologia MBBR .....	55
3.2.3.3.2.1.	Sistema MBBR único estágio e em dois estágios: em série e em paralelo.....	56
3.2.3.3.2.2.	Sistema MBBR em combinação com lodos ativados .....	57
3.2.3.3.2.3.	Sistema MBBR com objetivos múltiplos .....	58
3.2.3.3.2.3.1.	Remoção de matéria orgânica e nitrificação.....	58
3.2.3.3.2.3.2.	Remoção de matéria orgânica e de fósforo .....	59
3.2.3.3.2.3.3.	Remoção de matéria orgânica e desnitrificação.....	60
3.2.4.	Tratamento Terciário.....	61
4.	Materiais e métodos .....	63
4.1.	Objeto de Estudo.....	63
4.2.	Estação de Tratamento de Efluentes da IBMA .....	63
4.3.	Sistema de tratamento físico-químico .....	65

<b>4.4. Sistema de tratamento biológico .....</b>	<b>68</b>
<b>4.5. Metodologia Analítica .....</b>	<b>74</b>
<b>5. Resultados e discussão.....</b>	<b>78</b>
<b>5.1. Descrição das ações realizadas e análise do desempenho da ETE .....</b>	<b>78</b>
<b>5.1.1. Geração de volumes de efluente industrial e lodo.....</b>	<b>80</b>
<b>5.1.2. Ações de inspeção de campo e resultados.....</b>	<b>86</b>
<b>5.1.3. Modificações na planta da ETE e nas linhas de descarte de efluentes.....</b>	<b>94</b>
<b>5.2. Indicador de desempenho da ETE .....</b>	<b>104</b>
<b>6. Conclusão.....</b>	<b>107</b>
<b>7. Referências Bibliográficas.....</b>	<b>108</b>
<b>8. Apêndices .....</b>	<b>117</b>
<b>9. Anexos .....</b>	<b>119</b>

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1: Distribuição percentual de água no planeta (Fonte: MMA, Manual de Educação para o Consumo Sustentável - Água, 2005).....	155
Figura 3.1 : Gradeamento da ETE Ponta Negra e de João Câmara no RN (Fonte: CAERN - Companhia de águas e esgotos do estado do Rio Grande do Norte, 2014).....	255
Figura 3.2: Configurações de decantadores circulares e retangulares (Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2005).....	27
Figura 3.3: Representação Esquemática da Floculação (Fonte: MENDES, 2013) .....	28
Figura 3.4: Classificação dos reatores biológicos quanto ao tipo de biomassa empregada (Fonte: adaptado de CARMINATI, 2016) .....	311
Figura 3.5: Diferentes tipos de crescimento e sustentação da biomassa (Fonte: adaptado de ALMADA, 2012).....	312
Figura 3.6: Etapas envolvidas na remoção do poluente (adaptado de SANT'ANNA JR., 2010) .....	344
Figura 3.7: Etapas envolvidas na biodegradação do poluente (Adaptado SANT'ANNA JR., 2010) .....	355
Figura 3.8: Representação esquemática de configuração de Lodos Ativados (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011) .....	43
Figura 3.9: Classificação dos reatores MBBR quanto ao modo de agitação - Agitação Pneumática (Fonte :adaptado de RUSTEN et al, 2006).....	477
Figura 3.10: Diferença entre a densidade de peças considerando o empolamento (a) e o não empolamento (b) (Fonte: OLIVEIRA, 2008) .....	49
Figura 3.11: Principais efeitos que afetam a dinâmica dos sólidos no biofilme (Fonte própria, adaptado de CARMINATI, 2016) .....	522
Figura 3.12: Fluxo de substratos e produtos em um sistema com biofilme (CARMINATI, 2016, adaptado de WIK, 1999) .....	533
Figura 3.13: Esquema do biofilme no suporte e das reações envolvidas na conversão de substâncias químicas (Fonte: ALMADA, 2012, adaptado de VON SPERLING, 2006) .....	544
Figura 3.14: Representação esquemática de configuração de MBBR em único estágio (Fonte : adaptado de DEZOTTI et al., 2011) .....	566
Figura 3.15: Representação esquemática de configuração de MBBR em dois estágios em série (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011).....	566
Figura 3.16: Representação esquemática de configuração de MBBR em dois estágios em paralelo (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011) .....	577

Figura 3.17: Representação esquemática de configuração de MBBR em consonância com processo de lodos ativados (LA) (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011) .....	577
Figura 3.18: Representação esquemática de configuração de MBBR em consonância com processo de lodos ativados (LA) (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011) .....	58
Figura 3.19: Representação esquemática de configuração de MBBR em dois estágios em série de forma a realizar a nitrificação (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011).....	59
Figura 3.20: Representação esquemática de configuração de MBBR incluindo etapa físico química pós reator com objetivo de remoção de fósforo (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)59	
Figura 3.21: Representação esquemática de configuração de MBBR no sistema de pré desnitrificação (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011) .....	600
Figura 3.22: Representação esquemática de configuração de MBBR no sistema de pós desnitrificação (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011) .....	611
Figura 4.1: Estação de Tratamento de Efluentes da IBMA(Fonte Própria). .....	644
Figura 4.2: Fluxograma do sistema físico químico da ETE da IBMA (Fonte Própria).....	655
Figura 4.3: Relatos fotográficos do sistema de tratamento físico químico da ETE da IBMA(Fonte Própria) .....	667
Figura 4.4: Fluxograma do sistema biológico da ETE da IBMA (Fonte Própria). .....	69
Figura 4.5: Relatos fotográficos do sistema de tratamento biológico da ETE da IBMA (Fonte Própria).....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 0
Figura 4.6: MBBR 1 e 2 (Fonte Própria). .....	711
Figura 4.7 - Biomídia AMB Bio (Fonte Própria). .....	722
Figura 4.8: Decantador Biológico - Tanque 804 (Fonte Própria) .....	73
Figura 4.9: pHmetro handylab (Fonte Própria) .....	75
Figura 4.10: Termômetro digital (Fonte própria) .....	75
Figura 4.11: Medidor linear (Fonte Própria).....	76
Figura 5.1: Esquema representativo das ações realizadas (descritas nos itens 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3) para a otimização da ETE (Fonte própria).....	79
Figura 5.2: Resultado da geração de efluente industrial total, tratado e descartado em m³ por dia durante o mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria).....	82
Figura 5.3: Resultado em porcentagem do total de efluente gerado, tratado e descartado no mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria). .....	83
Figura 5.4: Resultado do monitoramento da altura lodo e as médias esperadas nos Tanques, Reatores MBBR e Decantador durante o mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria).....	85
Figura 5.5: Ilustração de uma masseira (Fonte própria) .....	86

Figura 5.6: Área de lavagem das masseiras e detalhe para o hidrômetro instalado (Fonte própria) .....	87
Figura 5.7: Resultado do monitoramento da lavagem das masseiras durante o mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria). .....	87
Figura 5.8: Tanques de mistura das soluções de ovos e sêmola (Fonte própria) .....	88
Figura 5.9: Trafilas de massas longas e curtas (Fonte própria).....	89
Figura 5.10: Máquinas B e C de lavagem das trafilas (Fonte própria) .....	89
Figura 5.11: Máquina B operando com a boia em funcionamento, controlando a vazão de entrada e boia da máquina C (Fonte própria).....	90
Figura 5.12: Filtro da bomba de alimentação do sistema físico químico da ETE (Fonte própria) .....	91
Figura 5.13: Acompanhamento do sistema de tratamento físico químico de efluentes industriais de Janeiro a Julho (Fonte própria). .....	92
Figura 5.14: Geração de lodo referente ao mês de Março 2017, com as alturas médias estabelecidas sendo alcançadas(Fonte própria). .....	95
Figura 5.15: Comparação da geração de lodo dos meses de Janeiro e Março, adequando-se às alturas médias estabelecidas (Fonte própria).....	96
Figura 5.16: Decantador biológico com uma "manta" superficial de lodo: bulking do lodo (Fonte própria) .....	97
Figura 5.17: Alta concentração de sólidos sedimentáveis na entrada do Reator MBBR (Fonte própria) .....	99
Figura 5.18: Análise de sólidos sedimentáveis da amostra de saída do decantador biológico antes da dosagem de nutrientes (Fonte Própria) .....	10000
Figura 5.19: Análise de sólidos sedimentáveis da amostra de saída do decantador biológico depois da dosagem de nutrientes(Fonte Própria).....	10101
Figura 5.20: Teste dos geobags (Fonte própria) .....	<b>Erro! Indicador não definido.</b> 03
Figura 5.21: Resultados do Indicador: Total Efluente Industrial (m <sup>3</sup> ) / Produção Total (ton) durante o primeiro semestre de 2017 e sua meta estabelecida (Fonte própria) .....	10505

## LISTA DE TABELAS

Tabela 3.1: Resumo total de vendas em bilhões de reais de 2012 a 2016 (Fonte: ABIMAPI & NIELSEN, 2017) .....	211
Tabela 3.2: Resumo total de vendas em milhões de toneladas de 2012 a 2016 (Fonte: ABIMAPI & NIELSEN, 2017) .....	211
Tabela 3.3: Resumo de consumo per capita em quilos por ano de 2012 a 2016 (Fonte: ABIMAPI & NIELSEN, 2017) .....	211
Tabela 3.4: Possibilidades de doadores e receptores de elétrons nos processos biológicos. (Adaptado de VON SPERLING, 2005).....	30
Tabela 3.5: Condições ambientais favoráveis aos processos biológicos aeróbios a anaeróbios. (Adaptado de VON SPERLING, 2005).....	300
Tabela 3.6: Condições favoráveis de Nitrificação e Desnitrificação (adaptado de JORDÃO, 2005; VON SPERLING, 2002b) .....	411
Tabela 3.7: Parâmetros Operacionais do sistema de lodos ativados (adaptado de VON SPERLING, 2005).....	444
Tabela 3.8: Especificações de alguns suportes para leito móvel em MBBR (SALVETTI et al., 2006; VEOLIA, 2011; BIOWATER, 2011; DAS, 2012) .....	49
Tabela 4.1: Produção total de biscoitos e massas no primeiro semestre de 2017 (Fonte: IBMA, 2017) .....	633
Tabela 4.2: Parâmetros analisados e seus respectivos limites de lançamento (Fonte: NT202 R10, DZ's 205 R6 e 215 R4, INEA).....	644
Tabela 4.3: Parâmetros de projeto para dimensionamento do sistema biológico (Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto Executivo de Tratamento de Esgoto Sanitário, 2014). .....	73
Tabela 4.4: Parâmetros analisados e métodos de medição (Fonte própria).....	74
Tabela 4.5: Dados Dimensões Tanque 800 (Fonte: IBMA, 2017) .....	77
Tabela 4.6: Dados operacionais bomba de alimentação da ETDI (Fonte: IBMA, 2017) .....	77
Tabela 5.1: Compilação de informações para balanço de massa (Fonte: IBMA, 2017).....	811
Tabela 5.2: Resultados de DBO e DQO na entrada do reator MBBR e saída do decantador biológico nos meses de Março e Abril.....	97
Tabela 5.3: Resultados das análises de DBO e DQO na entrada do reator MBBR e saída do decantador referente aos meses de Março, Abril, Maio e Junho.....	10101

Tabela 8.1: Resultados do monitoramento da Máquina B de lavagem das trafilas durante um dia de produção (Fonte: IBMA, 2017) .....	117
Tabela 8.2: Resultados do monitoramento da Máquina C de lavagem das trafilas durante um dia de produção (Fonte: IBMA, 2017) .....	117
Tabela 8.3: Resultados do monitoramento dos tanques das salas de preparo das soluções durante um dia de produção (Fonte: IBMA, 2017).....	118
Tabela 8.4: Resultado dos volumes gerados e descartados pela sala de preparo de soluções e máquinas de lavagem das trafilas (Fonte: IBMA, 2017). .....	118

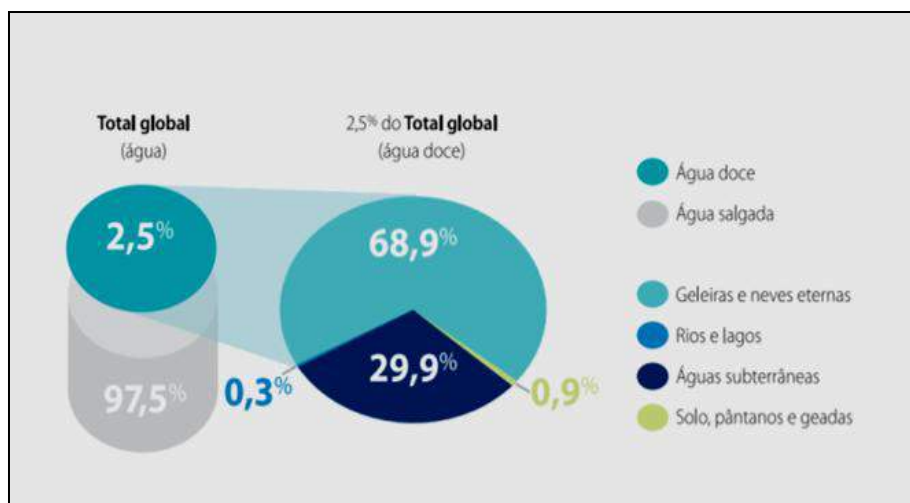
### **LISTA DE QUADROS**

Quadro 3.1: Sistemas de MBBR e seus parâmetros operacionais para diferentes efluentes (adaptado de CARMINATI, 2016) .....	555
---	-----

## 1. Introdução

A água é um dos recursos naturais mais importantes para a sobrevivência de todas as espécies da Terra, além de ser fundamental para o progresso econômico. É o componente inorgânico mais abundante na matéria viva, por exemplo: no organismo humano, representa cerca de 70% da massa corporal, além de atuar nas reações químicas e manutenção da temperatura.

Do volume total de água presente no planeta (cerca de  $1,38 \times 10^{18} \text{ m}^3$ ) apenas 2,5% corresponde a água doce. Dentro desta categoria, temos que apenas 31,1% compreende as águas subterrâneas, vapor atmosférico, rios e lagos, além dos pântanos e solo. Em síntese, apenas 0,01% da água total disponível pode ser encontrada sob forma superficial, a qual é extraída mais facilmente para consumo (ONU, 2013). A Figura 1.1 ilustra essa relação percentual de água no planeta.



**Figura 1.1: Distribuição percentual de água no planeta (Fonte: MMA, Manual de Educação para o Consumo Sustentável - Água, 2005)**

De acordo com a UNESCO, atualmente, mais de 6 bilhões de pessoas em todo o mundo utilizam cerca de 54% da água doce disponível em rios, lagos e aquíferos. Quando a demanda por água em determinada região ultrapassa sua capacidade de renovação, está caracterizado um cenário chamado de estresse hídrico (FERREIRA, 2013). Ou seja, surge a necessidade de criar alternativas para a falta de água, tais como importação ou mecanismos políticos de controle e diminuição do consumo (leis mais restritivas, campanhas de conscientização),



afetando a população, animais e todo um sistema econômico e social (mudanças de hábitos, comportamento e atividades econômicas).

Atualmente, nosso planeta passa por esse estresse hídrico. Muitos locais utilizam a água de maneira descontrolada e já estão passando por problemas de escassez (exemplo da crise hídrica do Estado de São Paulo no ano de 2015) e em outros, realmente, não há mais água disponível, sendo empregadas novas técnicas para captação de água (um modelo é o processo de dessalinização da água do mar em Israel). Portanto, é fundamental conhecer os principais usos e consumos de água, bem como sua qualidade exigida, para então trabalhar propostas de preservação, descontaminação, tratamento, reciclagem e reutilização da água.

No Brasil, de acordo com pesquisa realizada pela Agência Nacional de Águas (ANA) em 2013, os maiores consumidores de água são os setores de: agricultura (72% do total), seguida pela pecuária (11%), consumo urbano (9%) e industrial responsável por 7% da demanda total de água, uma vazão cerca de 81,31 m<sup>3</sup>/s.

Assim, é notável que o setor industrial é um grande consumidor de água em nosso país. Para este segmento a água pode ser utilizada:

- ✓ No próprio processo, como matéria prima;
- ✓ Limpeza dos equipamentos;
- ✓ Geração de vapor e refrigeração.

Inseridas neste setor estão as Indústrias de Alimentos e Bebidas. A nível mundial, de acordo com RESOURCEMATICS (2012) este segmento demanda 30,80 bilhões de m<sup>3</sup> de água (cerca de 4% do total).

Mais especificamente a respeito das indústrias alimentícias, atualmente, no Brasil, há mais de 45.000 empresas do ramo, gerando mais de 1 (um) milhão de empregos diretos (FIESP/DEPECON, 2017). Por conta de sua representatividade no cenário industrial brasileiro, a produção de alimentos consequentemente, é responsável por um alto consumo de água, acima de 100.000 m<sup>3</sup> por ano (IBMA, 2017).

Os produtos líquidos gerados pelo processo industrial são chamados de efluentes industriais. Quando há um alto consumo de água, como consequência, resulta-se uma grande geração de efluentes, como é o caso das Indústrias Alimentícias.

Só na cidade do Rio de Janeiro, de acordo com estatísticas apresentadas pela Prefeitura em 2015, foi estimada uma geração total de 6.770.340,58 m<sup>3</sup> de efluentes industriais por ano (18.548,88 m<sup>3</sup>/dia), sendo 13% (cerca de 2411,35 m<sup>3</sup>/dia) gerado pelas Indústrias Alimentícias localizadas no município (SMAC, 2015). Enquadrada na participação de geração de despejos industriais, está o objeto de estudo deste presente trabalho: uma Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias - IBMA, localizada no Estado do Rio de Janeiro.

Assim, faz-se necessário a caracterização do efluente gerado, para que avalie-se as tecnologias mais adequadas e viáveis a serem utilizadas para seu tratamento, as quais irão variar de acordo com a finalidade desejada (VON SPERLING, 2005) ou analisar a eficiência dos sistemas já existentes. A avaliação de desempenho de uma estação de tratamento de efluentes (ETE) leva em conta análises de caracterização do efluente (tais como: parâmetros físico-químicos, balanço de massa, volume de efluente gerado e tratado, cinética do lodo, e indicadores que correlacionam a produção fabril e a geração de efluentes, como será apresentado posteriormente). Além disso, é fundamental reconhecer o processo industrial em si, determinando o "caminho da água" dentro da indústria até sua chegada na ETE.

Portanto, em 2015, devido a uma maior preocupação com a poluição ambiental e de forma a atender às exigências legais de condições e padrões de lançamento de efluentes determinadas pelos órgãos ambientais, a empresa providenciou a construção de uma estação de tratamento de efluentes, que é responsável por tratar os efluentes industriais e sanitários gerados. No caso da IBMA em questão, há um sistema de tratamento físico-químico do efluente industrial e um de tratamento biológico do efluente sanitário e industrial tratado através da tecnologia de Reator de Leito Móvel com Biofilme (MBBR). Por necessitarem de menores áreas de instalação, essa alternativa apresentou-se como a mais viável (além de tantas outras vantagens), apesar do uso do mecanismo de MBBR ainda ser incipiente no Brasil.

## **2. Objetivos**

### **2.1. Objetivo Geral**

Avaliar as ações realizadas, no período de Janeiro a Julho de 2017, para adequação e melhoria do funcionamento de uma estação de tratamento de efluentes industriais e sanitários de uma Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias (denominada no presente trabalho como IBMA) localizada no estado do Rio de Janeiro, a fim de alcançar a eficiência do sistema de tratamento.

### **2.2. Objetivos Específicos**

- Analisar as ações que foram realizadas durante o primeiro semestre de 2017 de forma a identificar pontos críticos de maior consumo de água dentro da fábrica através de inspeções de campo;
- Analisar o desempenho da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitários, comparando seu projeto com a real situação de geração de efluentes e manejo do lodo produzido, relatando medidas já realizadas e propondo outras para aumentar eficiência dos sistemas de tratamento da ETE;
- Discutir o indicador proposto, que correlaciona os números totais de produção de biscoitos e massas com a quantidade de efluente industrial gerado.

Dessa forma, objetiva-se alcançar o nível de eficiência adequado, gerando um efluente tratado de qualidade, minimizando o volume de efluente industrial descartado sem tratamento.

### **3. Revisão Bibliográfica**

#### **3.1. Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias**

No final do século XVIII, enquanto as nações europeias passavam pelo processo de Revolução Industrial, o Brasil ainda era colônia portuguesa, possuindo apenas atividades manufatureiras destinadas a suprir com materiais e serviços, as necessidades das grandes fazendas de cana-de-açúcar e de café que, em sua maioria, apresentavam localização afastada dos grandes centros urbanos (PRADO JUNIOR, 2000).

Em 1808, foi revogada a proibição da produção industrial em território nacional. Mesmo assim, o crescimento da indústria nacional foi lento até o final do século XIX. Com crescimento mais intenso no início do século XX, 3258 empresas foram identificadas no primeiro censo de 1907 (ITAL, 2016).

No censo industrial de 1920, a indústria de alimentos já apresentava cerca de 20% das empresas nacionais (sendo 8,5% desse número, correspondente às indústrias de derivados do trigo, tais como de biscoitos e massas alimentícias)(ITAL, 2016). A partir desta época, o processo de industrialização brasileiro foi incentivado pelo crescimento demográfico, aumento da renda per capita, desenvolvimento do sistema de transportes, energia e comunicação, políticas governamentais de auxílio à expansão industrial, além da redução do fluxo de importações com a 2ª Guerra Mundial. O número de indústrias alimentícias no Brasil, por exemplo, cresceu cerca de 16 vezes no período de 1920-1994 (ITAL, 2016).

Nos anos 1990, o capital estrangeiro aumentou sua participação, dando mais impulso para a expansão da indústria de alimentos, que alcançou a liderança da produção industrial brasileira com 14% do total, superando o setor têxtil (o qual dividia o posto nos primórdios do século XX) e até mesmo a indústria do petróleo (BIRCHAL, 2004).

O mercado interno foi marcado por dois planos de estabilização (Plano Collor, em março de 1990 e Plano Real, em junho de 1994). Ambos, tinham como objetivo principal controlar os altos índices de inflação. Algumas das medidas consequentes dos planos foram: congelamento de preços e salários e reajuste de tarifas públicas e produtos alimentícios básicos, o que beneficiou a indústria de alimentos no período (SATO, 1997).

Ações governamentais movidas pelo governo brasileiro, como financiamento pelo Banco Nacional de Desenvolvimento Econômico e Social (BNDES), flexibilização na aprovação de acordos de transferência de tecnologia, autorização para remessa de lucros com redução no imposto de renda e fim da distinção constitucional entre empresa nacional e estrangeira em 1995, somados aos ajustes praticados pelas empresas, proporcionaram o aumento no consumo anual de alimentos e bebidas verificado após o plano de estabilização de 1994 (Plano Real) (CONCEIÇÃO, 2007, COSTA JUNIOR, 2009).

Conforme dados da FIESP/DEPECON (2017), o setor da indústria de transformação de produtos alimentícios compreendia 46.481 estabelecimentos em 2015.

No tocante ao setor alimentício brasileiro, estão inseridas as indústrias de derivados do trigo, as quais destacam-se como agentes de crescimento econômico e geração de empregos. De acordo com a ABIMAPI - Associação das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (2017), a atividade dessas empresas correspondem atualmente a :

- 3,4 milhões de toneladas de produtos;
- Um terço do consumo nacional de farinha de trigo;
- 75% do consumo nacional;
- 32 bilhões de faturamento ao ano.

Nos últimos cinco anos (2012-2016), as Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados registraram crescimento de 39% em faturamento, refletindo que mesmo com a crise econômica brasileira (alto custo da energia e dos combustíveis, os reajustes salariais e a inflação alta), os produtos básicos para o dia a dia, como o macarrão, as rosquinhas e os biscoitos maria/maisena continuam fazendo parte da cesta de compras dos brasileiros (ABIMAPI, 2017).

As Tabelas 3.1, 3.2 e 3.3 apresentam respectivamente um resumo total de vendas em bilhões de reais; milhões de toneladas e consumo per capita em quilos.

**Tabela 3.1: Resumo total de vendas em bilhões de reais de 2012 a 2016 (Fonte: ABIMAPI & NIELSEN, 2017)**

Vendas(bilhões R\$)	2012	2013	2014	2015	2016
Biscoitos	15,782	17,770	19,641	21,042	21,853
Massas	6,499	7,300	8,054	8,280	8,744
Total	22,281	25,07	27,695	29,322	30,597

**Tabela 3.2: Resumo total de vendas em milhões de toneladas de 2012 a 2016 (Fonte: ABIMAPI & NIELSEN, 2017)**

Vendas (milhões ton)	2012	2013	2014	2015	2016
Biscoitos	1,676	1,707	1,702	1,732	1,685
Massas	1,239	1,264	1,274	1,260	1,236
Total	2,915	2,971	2,976	2,992	2,921

**Tabela 3.3: Resumo de consumo per capita em quilos por ano de 2012 a 2016 (Fonte: ABIMAPI & NIELSEN, 2017)**

Per capita(kg/ano)	2012	2013	2014	2015	2016
População Brasileira (milhões)	198	200	202	204	205
Biscoitos	8,45	8,52	8,43	8,50	8,20
Massas	6,24	6,31	6,31	6,18	6,02
Total	14,69	14,83	14,74	14,68	14,22

De forma a corroborar a importância dessas Indústrias de Biscoitos e Massas Alimentícias no cenário econômico brasileiro, a ABIMAPI (2017) atesta que:

- 99,7% dos lares brasileiros consomem biscoitos
- E a massa alimentícia tem 99,5 % de penetração no mercado brasileiro.

### 3.1.1. Geração de Efluentes Industriais

De acordo com a definição adotada na resolução 430/2011 do CONAMA, efluente "é o termo usado para caracterizar os despejos líquidos provenientes de diversas atividades ou processos".

Na maioria das vezes, esses despejos são lançados diretamente no meio ambiente, como é o caso do esgoto doméstico. De acordo com o SNIS (2015), cerca de 42,7% dos esgotos domésticos gerados são tratados.

O setor industrial demanda 7% do total de água consumida no país (ANA, 2013). O uso nos processos industriais vai desde a incorporação da água nos produtos até a lavagem de materiais, equipamentos e instalações, a utilização em sistemas de refrigeração e geração de vapor. A água resultante desses procedimentos denomina-se "efluentes industriais". As características físicas (temperatura, cor, turbidez, sólidos etc), químicas (pH, alcalinidade, teor de matéria orgânica, metais etc.) e biológicas (bactérias, protozoários, vírus etc.) dos efluentes industriais variam de acordo com o ramo industrial, tipo de tecnologia e matéria-prima utilizada, bem como o período de operação (CIMM,2015). Por exemplo, um efluente industrial pode transportar resíduos tóxicos, como metais pesados e restos de materiais em decomposição (Ministério do Meio Ambiente -MMA) (MIERZWA, 2002).

Nas indústrias alimentícias, o uso de água nos procedimentos é alto, acarretando uma grande geração de efluentes industriais. Portanto, para evitar danos ambientais, punições legais e prejuízos para a imagem da indústria junto à sociedade é preciso conhecer a vazão, quantificar e caracterizar esses efluentes gerados pelas Indústrias de Massas e Biscoitos. E assim, definir as cargas de poluição/contaminação, estabelecendo o sistema mais adequado de tratamento, para que atenda aos níveis toleráveis definidos pela legislação (CIMM, 2015).

Atualmente, o nível de tratamento necessário para o lançamento em um corpo receptor de efluentes tratados ou não, provenientes de atividades industriais, considera os padrões legais de emissão (relacionados às características do efluente lançado) e de qualidade (os quais dependem das características do corpo receptor) (STEIN,2012). Essas exigências são estabelecidas via legislação:

- Nível nacional:

Resolução CONAMA nº 357 de 17 de março de 2005 que "Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes";

Resolução CONAMA nº 430, de 13 de maio 2011 que "Dispõe sobre as condições e padrões de lançamento de efluentes, complementa e altera a Resolução no 357, de 17 de março de 2005, do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA".

- Nível estadual (Rio de Janeiro):

NT.202.R10 – Diretriz de Lançamento de Efluentes Líquidos do INEA e da Associação Brasileira de Normas Técnicas – ABNT;

DZ.703.R04 –Diretriz de Apresentação de Projetos de Sistema de Tratamento de Efluentes Líquidos;

DZ – 205.R06 – Diretriz de controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem industrial;

NT-213.R04 – Critérios e Padrões para Controle de Toxicidade em Efluentes Líquidos Industriais;

DZ-215.R04 – Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem não Industrial;

DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos – PROCON-ÁGUA.

\*A respeito da emissão de efluentes sanitários e/ou outros efluentes, os quais sejam também gerados pelas indústrias, mas não oriundos do processo industrial em si, devem ser obedecidos os parâmetros compilados da DZ – 215.R04 e que atendem a NT 202.R10 do INEA.



## **3.2. Alternativas de tratamento de efluentes**

O tratamento ideal para cada tipo de efluente é indicado de acordo com a carga poluidora e a presença de contaminantes, de forma que ao serem lançados no corpo receptor, estejam atendendo às exigências legais. Os principais tipos de tratamentos de efluentes podem ser separados por etapas: tratamentos preliminares, primários, secundários e terciários, tendo cada um desses estágios, uma função principal e um processo/tecnologia predominante (FOGAÇA, 2017).

Através de mecanismos físicos, químicos e biológicos, os quais envolvem processos e operações unitárias de natureza física, química e biológica, que podem ser utilizadas separadamente ou de forma combinada é alcançada a retirada dos contaminantes do efluente (CAVALCANTI, 2009).

### **3.2.1. Tratamento Preliminar**

Neste tratamento prévio o objetivo principal é a remoção de sólidos grosseiros (>25mm) e sólidos em suspensão, tais como detritos minerais (areia e cascalho) e materiais mais densos e/ou flutuantes, através de mecanismos de ordem física. Óleos e graxas também podem ser removidos nesta etapa (TELLES; COSTA, 2007).

Para os sólidos maiores, as operações de gradeamento e peneiramento são bastante utilizadas, pois o material em suspensão que for maior em tamanho que as aberturas das grades e/ou peneiras é retido e removido (JORDÃO, 1997). A Figura 3.1 ilustra algumas grades utilizadas em estações de tratamento. Trituradores também podem ser utilizados. Esses mecanismos tem como principais propósitos a proteção dos dispositivos (bombas e tubulações) de transporte, tratamento e dos corpos receptores (VON SPERLING, 2005).



ETE Ponta Negra, Natal/RN

ETE João Câmara, João Câmara/RN

**Figura 3.1 : Gradeamento da ETE Ponta Negra e de João Câmara no RN (Fonte: CAERN - Companhia de águas e esgotos do estado do Rio Grande do Norte, 2014)**

A remoção da areia e outros detritos minerais é realizada através de desarenadores ou "caixas de areia". O processo ocorre através da sedimentação, onde a velocidade do efluente é reduzida (diminuindo a capacidade de carreamento), permitindo que os grãos maiores e mais densos sedimentem pela ação da gravidade, direcionando-se para o fundo do tanque (JORDÃO, 1997; VON SPERLING, 2005). Essa separação tem por objetivo proteger os equipamentos, reduzindo entupimentos, obstruções e depósito de materiais, facilitando o manuseio e transporte das fases líquida e sólida, ao longo dos componentes de um sistema de tratamento (TELLES; COSTA, 2007).

Além disso, o tratamento preliminar também pode realizar a Equalização do efluente. Nesta operação é possível controlar as oscilações das vazões e carga orgânica biodegradável, alcançar condições uniformes do efluente na entrada do sistema de tratamento, obter taxas de alimentação química compatíveis com a capacidade do sistema, além de um fluxo contínuo durante os períodos de parada da estação de tratamento (VON SPERLING, 2005).

Um complemento desse processo de equalização é a neutralização do efluente, onde o objetivo é a regularização do pH, adição de ácido ou base.

### **3.2.2. Tratamento Primário**

Esta etapa de tratamento tem como objetivo a remoção dos sólidos sedimentáveis ( $> 10^{-3}$  mm) e dos sólidos que não foram removidos no tratamento prévio através de processos físico-químicos.

O efluente passa pelo decantador primário (ilustrado na Figura 3.2) fluindo lentamente, permitindo que o material sólido em suspensão, por ser mais denso, sedimente no fundo do sistema. Esse material sedimentável de fundo é chamado de lodo primário bruto e deve ser removido através de bombas ou raspadores (VON SPERLING, 2005).

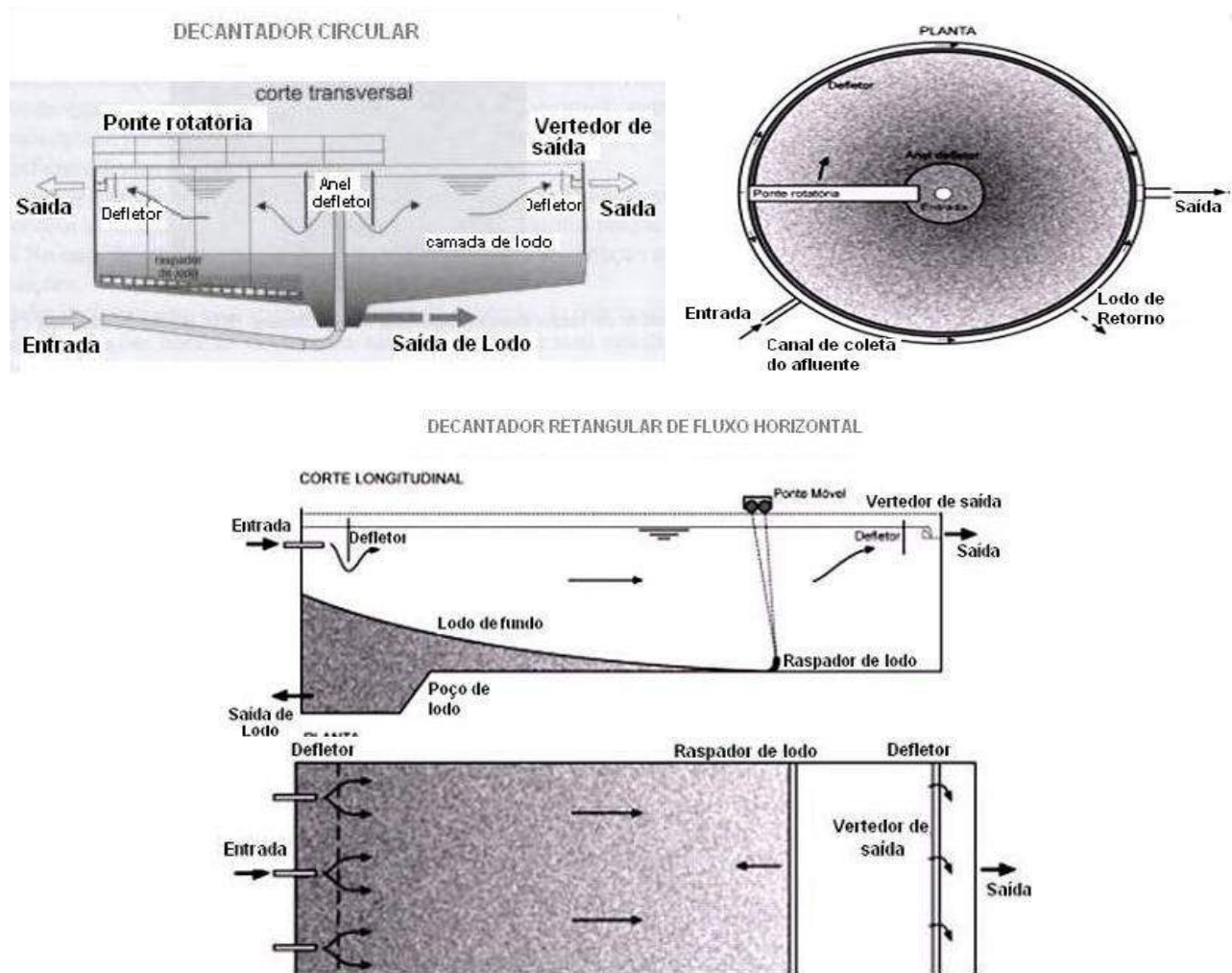
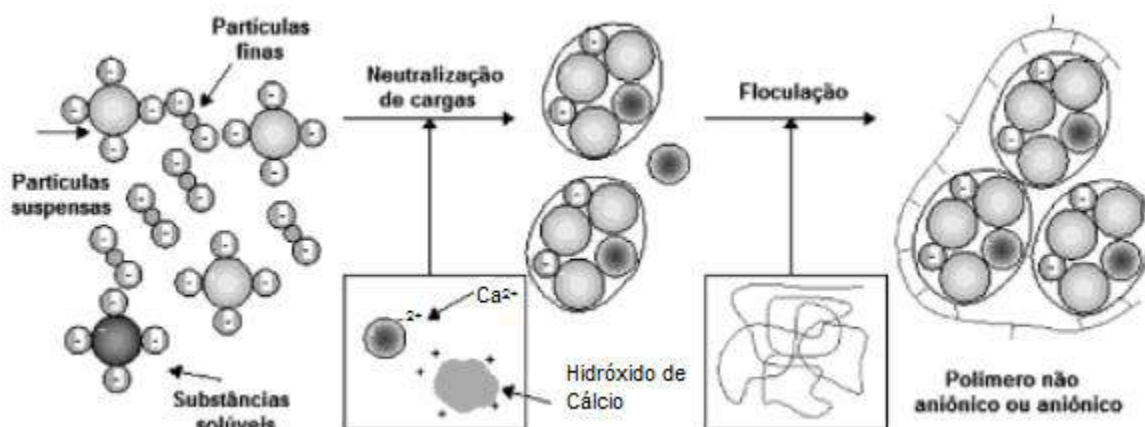


Figura 3.2: Configurações de decantadores circulares e retangulares (Fonte: Adaptado de VON SPERLING, 2005)

Já para os sólidos não sedimentáveis, geralmente, micelas coloidais estabilizadas por carga negativa (as quais promovem turbidez ao efluente) uma alternativa é a clarificação, ou o que pode ser chamado de tratamento primário avançado.

Primeiramente, há a coagulação, onde desestabiliza-se o coloide em uma mistura rápida, neutralizando as cargas, através do uso de coagulantes tais como: sulfato de alumínio, cloreto férrico auxiliado ou não por um polímero. Após esta etapa, podem ser adicionados floculadores (polieletrólitos), que são produtos químicos que promovem o agrupamento das partículas. Recomenda-se uma agitação mais suave do efluente, para que uma melhor formação dos flocos (VON SPERLING, 2005) (STEIN, 2012). A Figura 3.3 ilustra o esquema do processo de floculação.



**Figura 3.3: Representação Esquemática da Floculação (Fonte: MENDES, 2013)**

Ainda neste etapa, para casos específicos - principalmente para efluentes com concentrações elevadas de óleos e graxas, ainda pode ser realizada a técnica de Flotação, onde há a adição de bolhas de ar. As partículas em suspensão aderem a essas bolhas e são carregadas para a superfície do líquido, formando uma espuma que pode, então, ser retirada com raspadores (FOGAÇA, 2017).

Verifica-se que, apenas com essas duas etapas já é possível alcançar uma remoção de sólidos em suspensão na ordem de 60 a 70%(VON SPERLING, 2005).

### **3.2.3. Tratamento Secundário**

No tratamento secundário, a principal finalidade é a remoção da matéria orgânica biodegradável dissolvida e em suspensão através de mecanismos biológicos (VON SPERLING, 2005).

#### **3.2.3.1. Tratamento Biológico - Aspectos Gerais**

##### **3.2.3.1.1. Considerações iniciais**

O tratamento biológico de efluentes envolve a ação de microrganismos (bactérias, algas, fungos, ou protozoários) na degradação de poluentes através de reações bioquímicas, resultando em produtos inorgânicos, como água, gás carbônico e nitrogênio gasoso, que são mais aceitáveis no meio ambiente, além da biomassa gerada pelo crescimento celular. Essa transformação dos substratos orgânicos se dá em etapas, através do envolvimento e consumo dos compostos carbonáceos e nutrientes pelos processos metabólicos de crescimento (anabolismo) e obtenção de energia (catabolismo) das células da população microbiana (VON SPERLING, 2005; CARMINATI, 2016).

Esse fenômeno já ocorre naturalmente nos corpos hídricos, porém no processo de tratamento ocorre em maior intensidade, devido a uma maior disponibilidade de energia, biomassa diversificada e uma alta concentração microbiana, que aceleram o processo de biodegradação, acarretando em uma melhor depuração dos efluentes (GEBARA, 1999; ALMADA, 2012; CARMINATI, 2016)

##### **3.2.3.1.2. Classificação dos processos biológicos**

Os processos biológicos podem ser classificados de acordo com três aspectos principais: o ambiente bioquímico, a configuração do reator e retenção ou não de biomassa.

Quanto ao ambiente bioquímico, os processos podem ser aeróbios ou anaeróbios. No primeiro caso há presença de oxigênio dissolvido (OD), o qual funciona comoceptor final de elétrons no metabolismo microbiano (neste caso são suportados todos os tipos de microrganismos). O OD permite a geração de moléculas de ATP, importantes para armazenamento e transporte de energia, através da reoxidação das moléculas responsáveis pela movimentação de elétrons. Já nos ambientes anaeróbios, não há presença, nem participação de oxigênio no sistema. Dessa

forma, o composto microbiano (usualmente bactérias) utiliza substâncias orgânicas ou inorgânicas como aceptores finais de elétrons (VON SPERLING, 2005). As Tabelas 3.4 e 3.5 apresentam informações e parâmetros relevantes referentes aos diferentes ambientes dos processos biológicos.

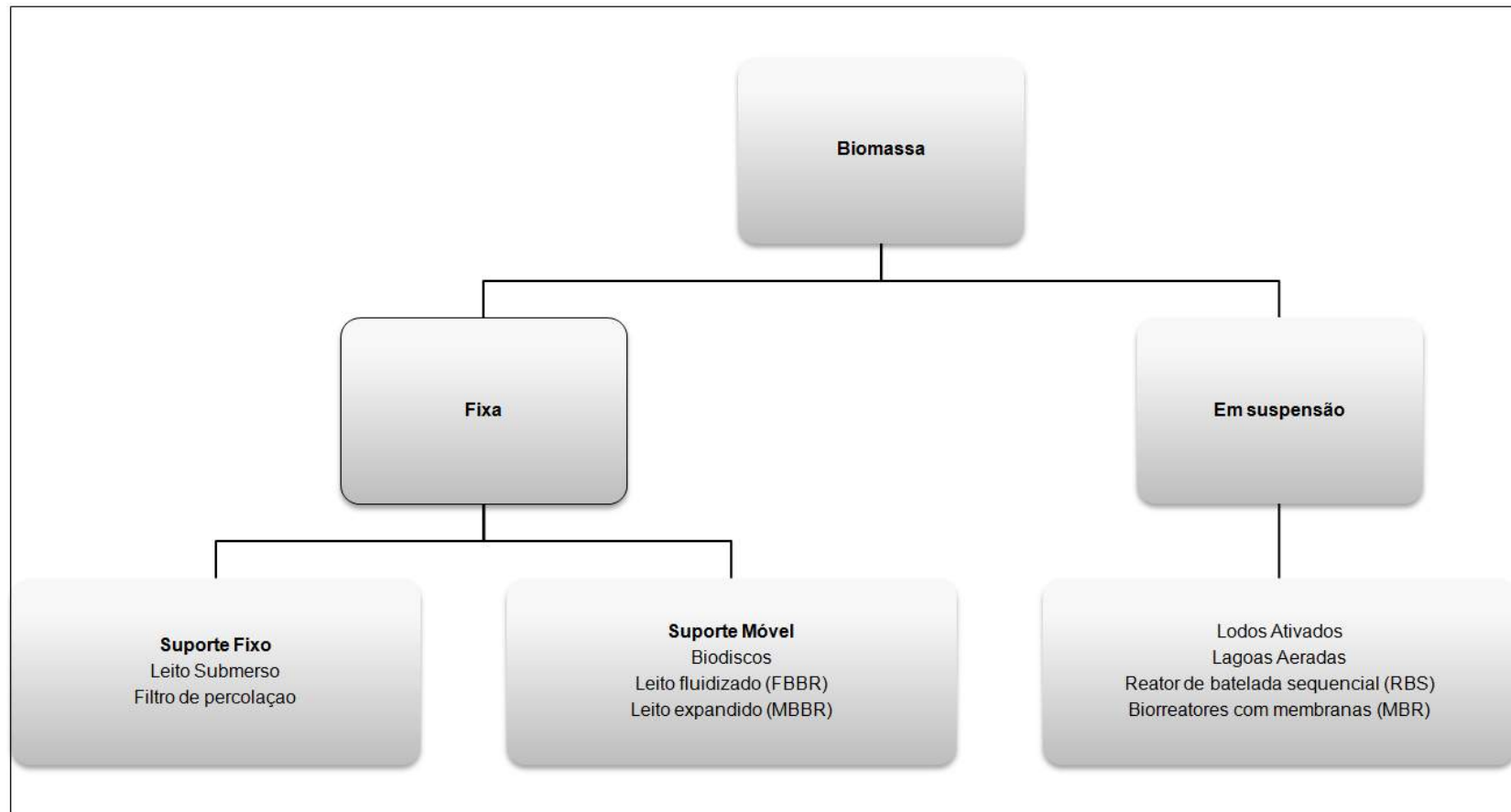
**Tabela 3.4: Possibilidades de doadores e receptores de elétrons nos processos biológicos. (Adaptado de VON SPERLING, 2005)**

Ambiente	Doador de elétrons	Receptor de elétrons	Processo
Aeróbio	Matéria Orgânica Amônia (NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> )	Oxigênio	Oxidação aeróbia Nitrificação
Anóxico	Matéria Orgânica	Nitrato (NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> )	Desnitrificação
Anaeróbio	Hidrogênio (H <sub>2</sub> ) e Acetato (C <sub>2</sub> H <sub>3</sub> O <sub>2</sub> ) Hidrogênio (H <sub>2</sub> )	Sulfato(SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> ) Gás carbônico (CO <sub>2</sub> )	Redução de sulfato Metanogênico

**Tabela 3.5: Condições ambientais favoráveis aos processos biológicos aeróbios a anaeróbios. (Adaptado de VON SPERLING, 2005)**

Condição	Processo Biológico	
	Aeróbio	Anaeróbio
Temperatura	10 a 40 °C	Faixas: Psicrofílica (0 a 20 °C) Mesofílica (20 a 42°C) Termofílica (50 a 65 °C)
pH	6 – 8	Etapa de produção de: Ácidos (5,5 - 6,0) Metano (6,8 - 7,2)
Nutrientes (DBO <sub>U</sub> :N:P)	100:5:1	350:5:1
O.D.	>0,5 mg/L	Ausente

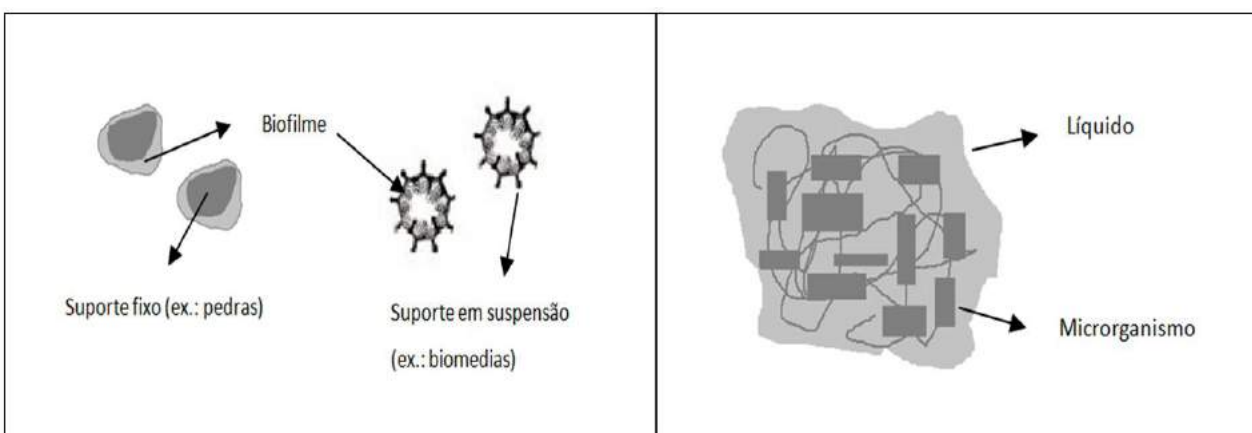
Quanto ao tipo de reator, há duas configurações com o mesmo princípio de degradação biológica, uma onde a massa microbiana cresce de forma dispersa na massa líquida por meio da formação de flocos, os quais são mantidos em suspensão por meio de aeração. E outra, de biomassa fixa sob a forma de biofilmes aderidos ao meio suporte - normalmente materiais plásticos, os quais podem permanecer fixos ou móveis no reator (DEZOTTI, 2011). Os parâmetros específicos de cada condição influenciam a cinética do tratamento (VON SPERLING, 1996). A Figura 3.4 apresenta as classificações dos reatores por conta da tipologia de biomassa.



**Figura 3.4: Classificação dos reatores biológicos quanto ao tipo de biomassa empregada (Fonte: adaptado de CARMINATI, 2016)**



Já na Figura 3.5 é ilustrado um esquema dos diferentes tipos de crescimento e sustentação da biomassa em suspensão e aderida em suportes fixo e suspensão.



**Figura 3.5: Diferentes tipos de crescimento e sustentação da biomassa (Fonte: adaptado de ALMADA, 2012).**

Há também a possibilidade de operar-se de forma híbrida, ou seja com a combinação de biomassa suspensa e aderida de forma a atingir uma maior remoção de componentes orgânicos e nitrogênio, e conseqüentemente uma melhoria da eficiência e capacidade de tratamento das estações (CALDERÓN et al., 2012; CARMINATI, 2016). Exemplos dessa conformação são os reatores FBBR (*Fixed Bed Biofilm Reactor*) e MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*). Vale ressaltar que apesar das vantagens, o controle e operação desse sistema combinado são mais complexos e requerem maior atenção (FOUAD e BHARGAVA, 2005).

De forma complementar, ainda pode-se classificar os processos biológicos de acordo com a retenção ou não de biomassa. Os parâmetros utilizados nesta classificação são: o tempo de retenção hidráulica, ou seja quanto tempo de tratamento do efluente no reator (TRH); e o tempo médio de residência celular e/ou idade do lodo ( $\theta_c$ ) que compreende o tempo que os microrganismos permanecem no sistema (JORDÃO, 2005).

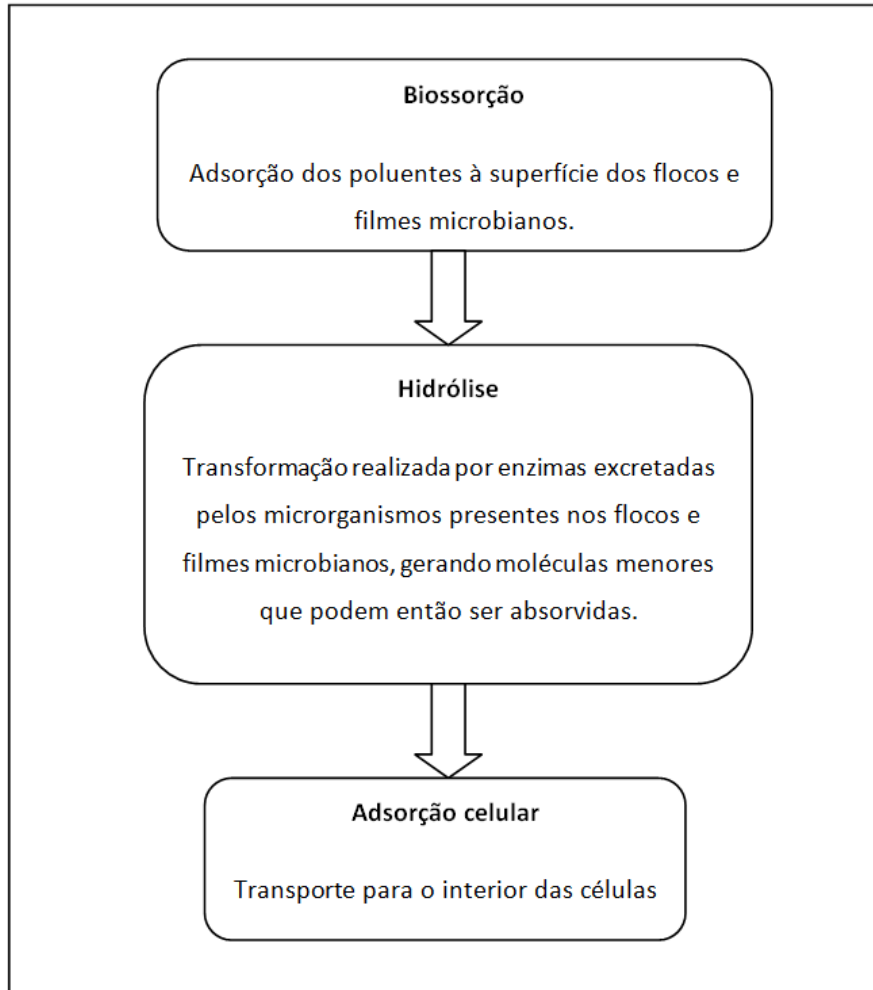
Nos processos sem retenção de biomassa, o TRH é equivalente a  $\theta_c$ , sendo necessário que o composto microbiano e o efluente permaneçam durante esse tempo no reator, exigindo maiores dimensões do sistema (como em lagoas aeradas). Já os sistemas de tratamento com retenção de biomassa são mais compactos e permitem uma maior concentração do composto microbiano e conseqüentemente uma maior capacidade de recebimento de carga orgânica. Essa retenção pode ser realizada de duas formas: através de recirculação do lodo sedimentado

em reatores de crescimento de biomassa em suspensão na massa líquida (ex.: tanques de aeração dos processos de lodos ativados); e pela própria aderência dos da comunidade microbiana ao meio suporte formando os biofilmes em reatores de biomassa aderida (leito fixo ou móvel) (DEZOTTI, 2008; VON SPERLING, 2005).

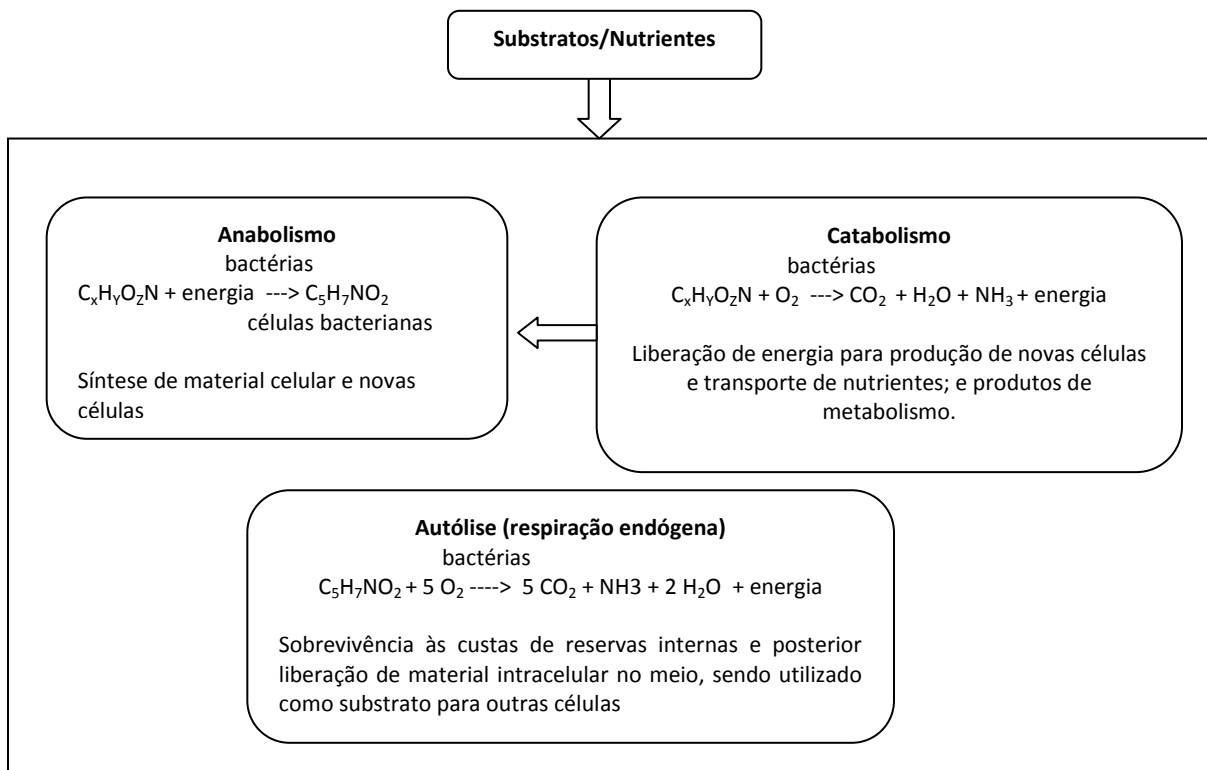
### **3.2.3.1.3. Remoção da Matéria Orgânica**

A maioria dos efluentes, sejam eles industriais tanto domésticos, possui quantidade significativa de matéria orgânica, cuja quantificação é geralmente realizada em termos de Demanda Química de Oxigênio (DQO), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) ou Carbono Orgânico Total (COT) (CARMINATI, 2016).

A Figura 3.6 apresenta um esquema das etapas envolvidas na remoção dos poluentes orgânicos. E a Figura 3.7 ilustra um esquema da degradação da matéria orgânica através das vias metabólicas.



**Figura 3.6: Etapas envolvidas na remoção do poluente (adaptado de SANT'ANNA JR., 2010)**



**Figura 3.7: Etapas envolvidas na biodegradação do poluente (Adaptado SANT'ANNA JR., 2010)**

#### **3.2.3.1.4. Remoção de Nutrientes**

Os nutrientes presentes em maiores concentrações nos efluentes são o nitrogênio e o fósforo. Quando em contato com o corpo hídrico, se esses nutrientes estiverem em excesso, podem provocar a aceleração do processo de eutrofização dos sistemas aquáticos.

A eutrofização consiste em uma proliferação acentuada de algas, tais quais consomem o oxigênio dissolvido presente no meio e à medida que elas crescem, cobrem a superfície da água, obstruindo a entrada de luz e impossibilitando a fotossíntese. Com o oxigênio escasso, peixes e outros seres aquáticos não conseguem realizar a respiração e acabam morrendo. Adicionalmente, essas algas também podem ser tóxicas, provocando desequilíbrio e uma redução da biodiversidade dos mananciais (VON SPERLING, 2005).

Além disso, há exigências legais a respeito do lançamento de efluentes em corpos receptores. A nível federal, há o CONAMA 430/11, o qual estabelece um valor máximo de nitrogênio amoniacal total de 20,0 mg/L. Já a nível estadual, há a Norma Técnica do INEA/RJ n° 202, a qual determina como valor máximo de nitrogênio total 10,0 mg/L. Além disso, essa norma também estabelece uma concentração de fósforo total de 1,0 mg/L.

Portanto, é essencial o conhecimento das reações envolvidas para remoção desses nutrientes, para que seja escolhida a melhor alternativa de tratamento de acordo com o efluente a ser tratado. Dessa forma, pode-se garantir que o efluente a ser descartado estará de acordo com a legislação, além de impedir, conseqüentemente, a contaminação dos corpos hídricos.

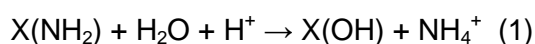
#### **3.2.3.1.4.1. Remoção Biológica de Nitrogênio**

O nitrogênio pode estar presente nos efluentes sob a forma de nitrogênio orgânico (ligados a moléculas orgânicas e proveniente da decomposição de proteínas e ureia), nitrogênio amoniacal ( $\text{NH}_4^+$  (aq) e  $\text{NH}_3$  (g)), nitrito ( $\text{NO}_2^-$ ), nitrato ( $\text{NO}_3^-$ ) ou gás nitrogênio ( $\text{N}_2$ ) dissolvido na fase líquida (DEZOTTI, 2008).

A remoção biológica está intimamente relacionada com os processos envolvidos na conversão desses diversos compostos, tais como: a amonificação (ou a assimilação de amônia), nitrificação e desnitrificação. (LEU *et al.*, 1998; ALMADA, 2012; CARMINATI, 2016).

- Amonificação:

A amonificação consiste no processo de liberação de amônia a partir de substâncias nitrogenadas (proteínas, amidas, aminas). Na reação (representada pela Equação (1)), o nitrogênio orgânico é convertido para a forma solúvel, e através de hidrólise em nitrogênio amoniacal, o qual pode ser utilizado na síntese celular ou convertido em suas respectivas formas oxidadas. Já na assimilação ocorre o processo inverso, a amônia é incorporada à biomassa, ficando presente sob a forma de nitrogênio orgânico (ALMADA, 2012; CARMINATI, 2016).

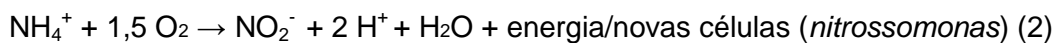


- Nitrificação:

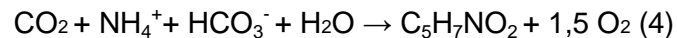
A nitrificação é considerada como a primeira etapa para remoção de nitrogênio, tendo o oxigênio como aceptor final de elétrons, ou seja, é um processo aeróbio. Além disso, bactérias nitrificantes autotróficas (que utilizam carbono inorgânico para síntese celular) e quimiolitotróficas (que oxidam compostos inorgânicos) agem como mediadoras das reações bioquímicas. Dentre essas bactérias que oxidam amônia (BOA), as mais abundantes são do gênero *Nitrosomonas*, porém *Nitrosococcus*, *Nitrospira*, *Nitrosovibrio* e *Nitrosolobus* são também, reconhecidamente, capazes de realizar tal oxidação (ALMADA, 2012, AHN, 2006). Apesar disso, há alguns autores que já verificaram através de estudos que outras BOA's também podem ser utilizadas em reatores para o tratamento de efluentes, tais como *N. europaea* por OKABE et al. (1999) e *N. mobilis* por JURETSCHKO et al. (1998).

A nitrificação ocorre em dois estágios. O primeiro é chamado de nitrificação, onde ocorre a oxidação da amônia, convertendo-a em nitrito através da ação bioquímica de bactérias do gênero *Nitrosomonas*.

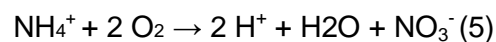
Já a nitratação consiste no segundo estágio da nitrificação, onde por meio da ação das bactérias como as do gênero *Nitrobacter*, o nitrito é oxidado a nitrato. (CARMINATI, 2016, ALMADA, 2012, JORDÃO, 2005, METCLAF e EDDY, 1991, RAMALHO, 1983). As reações catabólicas de cada estágio estão representadas pelas Equações (2) e (3) (HENZE et al., 1997, MADIGAN et al., 1997).



A reação anabólica, a qual usa o  $\text{CO}_2$  e/ou  $\text{HCO}_3^-$  como fonte de carbono (METCALF & EDDY, 2003; VON SPERLING, 1997), pode ser representada pela Equação (4):



De forma geral, a reação global da nitrificação pode ser representada pela Equação (5) abaixo.



A partir das Equações (2) e (3) é possível estimar um consumo aproximado de 4,6 g O<sub>2</sub> (refere-se como demanda nitrogenada de oxigênio) por g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oxidado a nitrato (JORDÃO, 2005). A respeito da alcalinidade, tem-se que é consumido cerca de 7,1 g HCO<sub>3</sub><sup>-</sup> por g de N-NH<sub>4</sub><sup>+</sup> oxidado, podendo reduzir o pH do meio (OLIVEIRA, 2008, METCALF & EDDY, 2003; VON SPERLING, 1997).

Essas reações da atividade nitrificante sofrem influência direta de determinados fatores, tais como: pH, temperatura, alcalinidade (como citado acima), concentração de oxigênio dissolvido, relação Carbono/Nitrogênio e presença de compostos inibidores (DEZOTTI, 2008).

No que diz respeito ao pH, valores compreendidos em uma faixa de 7,2 a 9,0, promovem a manutenção de um meio alcalino, garantindo estabilidade das bactérias nitrificantes e favorecendo, assim, a nitrificação (CARMINATI, 2016, ABREU, 1994; METCALF & EDDY, 2003). Já a temperatura pode afetar tanto a atividade bacteriana (a baixas temperaturas elas perdem atividade) como o teor de oxigênio dissolvido, portanto, a faixa de ótima de operação verificada é 30 a 35°C (HENZE et al., 1997).

Sobre esse teor de oxigênio dissolvido, para que a cinética da nitrificação seja favorecida, é muito importante que haja uma manutenção de concentração acima de 0,5 mg/L. Segundo SURAMPALLI (1997) teores de OD inferiores a esta concentração podem comprometer severamente a etapa nitrificante.

As bactérias autotróficas nitrificantes possuem velocidade de crescimento bem lenta, e produzem biomassa em pequenas quantidades. Comparando-as com as heterotróficas aeróbias, chegam a ser 10 vezes mais sensíveis (JULIASTUTI et al., 2003), o que aumenta a suscetibilidade à inibição do processo de nitrificação (SORIA e CHAVARRIA, 1978; HÄNEL, 1988).

A aplicação de elevada carga orgânica no sistema, proporciona o desenvolvimento dos microrganismos heterotróficos, os quais possuem altas taxas de crescimento, e acabam consumindo o oxigênio mais rapidamente. Dessa forma, as bactérias autotróficas ficam com uma quantidade limitada de oxigênio disponível para as reações, acarretando a inibição do processo nitrificante (OLIVEIRA, 2008, SCHMIDT et al., 2003).

Não apenas a compostos orgânicos, mas a nitrificação também é sensível à presença de compostos químicos tóxicos, metais pesados, altas concentrações salinas (OLIVEIRA, 2008,

VON SPERLING, 1997; METCALF & EDDY, 2003; FERREIRA, 2000, RAMALHO, 1983). Fatores como a concentração e solubilidade do inibidor, concentração de sólidos suspensos, idade do lodo e a concentração de cátions influenciam no grau de inibição (DEZOTTI, 2011).

Outro fator crítico deste processo é a relação entre carbono e nitrogênio (C/N) - a qual influencia diretamente no comportamento das comunidades microbianas autotróficas e heterotróficas presentes nos biorreatores, as quais competem por oxigênio. A taxa de nitrificação aumenta proporcionalmente à diminuição dos valores dessa relação (DEZOTTI, 2008).

- Desnitrificação:

A etapa final da remoção biológica de nitrogênio é o processo de desnitrificação, onde o nitrato é reduzido (tendo o material orgânico como redutor) a nitrogênio molecular por meio de bactérias desnitrificantes aeróbias ou facultativas heterotróficas e quimiorganotróficas (as quais usam carbono orgânico nos processos anabólicos e catabólicos, respectivamente), tais como: *Achromobacter*, *Alcaligenes* e *Xanthomonas*. Dentre estes, a espécie de bactéria *Pseudomonas* é aquela que mais prepondera (METCALF & EDDY, 2003; AKUNNA et al., 1993).

O processo é realizado em meio anóxico - ausência de oxigênio, com potencial redox próximo a zero - com nitrito e nitrato como aceptores finais de elétrons (GRADY *et al.*, 1999). A presença de qualquer concentração de OD compromete a ação dos microrganismos desnitrificantes (METCALF & EDDY, 2003).

A desnitrificação consiste na transformação de  $\text{NO}_3^-$  para  $\text{N}_2$ , passando pelos óxidos gasosos, o estado de oxidação do nitrogênio passa de +5 para 0 conforme apresentado na Equação (6) (ASLAN e CAKICI, 2007, SOUZA e FORESTI, 1999).

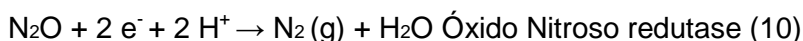
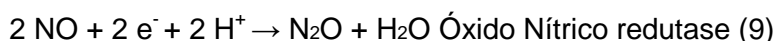
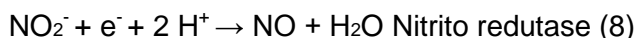
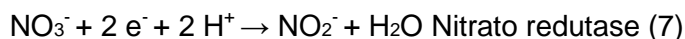


Inicialmente, o nitrato (como acceptor de elétrons) é reduzido a nitrito. Posteriormente, o nitrito se reduz às formas gasosas de óxidos de nitrogênio (nítrico e nitroso, respectivamente). Assim, esses óxidos são convertidos a nitrogênio molecular, os quais podem ser liberados para a atmosfera (OLIVEIRA, 2008). Embora muitas vezes não alcançada, a completa conversão é

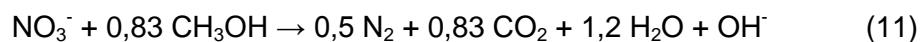


desejável, haja vista que o nitrogênio gasoso não incide em qualquer preocupação ambiental (CARMINATI, 2016).

As reações dessas etapas intermediárias de transformação e suas respectivas enzimas catalisadoras (cujas atividades são um bom indicativo da taxa de desnitrificação e ajudam no ajuste do processo (NAIR *et al.*, 2007)) estão representadas nas Equações (7), (8), (9) e (10) (DEZOTTI, 2011).



Segundo JORDÃO & PESSÔA (2005), para a desnitrificação, além do nitrato a ser convertido é também necessária a disponibilização de substrato orgânico oxidável. Após passarem pela nitrificação, os efluentes possuem baixas concentrações de matéria carbonácea, o que pode requerer o aporte externo de carbono. Pode-se usar o próprio efluente bruto, mas há como exemplo também o uso do metanol como essa fonte de carbono orgânico (DEZOTTI, 2008). Utilizando-o, uma equação global para o processo de desnitrificação pode ser descrita como pode ser mostrado na Equação (11).



A partir dessa equação, é possível estimar um consumo aproximado de 1,9 mg de metanol ( $\text{CH}_3\text{OH}$ ) por mg  $\text{NO}_3^-$  (CAMMAROTA, 2013).

Os mesmos fatores que influenciam a atividade nitrificante, também são cruciais para determinação de uma taxa ótima de desnitrificação.

O pH adequado para o processo desnitrificante é entre 7,0 e 8,0. As bactérias desnitrificantes podem tolerar uma faixa de pH entre 6,0 e 9,0 (DINÇER & KARGI, 2000). Na desnitrificação, há produção de alcalinidade, que além aumentar o pH, é uma vantagem para sistemas combinados com a nitrificação, pois devolve parte da alcalinidade que é perdida no processo nitrificante (VON SPERLING, 1997, VAN HAADEL & MARAIS, 1999, TCHOBANOGLOUS *et al.*, 2003, CARMINATI, 2016, OLIVEIRA, 2008).

Segundo OLIVEIRA (2008), a reação de desnitrificação ocorre em uma faixa ótima de temperatura compreendida entre 35 e 50 °C. A temperatura afeta tanto o crescimento microbiano quanto a velocidade de remoção de nitrato (BARNES & BLISS, 1983 apud VON SPERLING, 1997).

Ao contrário da nitrificação, no processo desnitrificante a presença de oxigênio é totalmente indesejável, de acordo com TCHOBANOGLOUS et al. (2003) concentrações de OD superiores a 0,2 mg/L já permitem a inibição do processo.

Uma outra diferença é a de combinação de ambientes anóxico e aeróbio, na desnitrificação há:

- Pré-desnitrificação, na qual a fonte de carbono é proveniente do esgoto bruto/fonte externa de carbono;
- Pós-desnitrificação, na qual a fonte de carbono é proveniente da etapa de respiração endógena.

As principais peculiaridades existentes entre os processos de nitrificação e desnitrificação são relacionados na Tabela 3.6.

**Tabela 3.6: Condições favoráveis de Nitrificação e Desnitrificação (adaptado de JORDÃO, 2005; VON SPERLING, 2002b)**

Condições favoráveis	Nitrificação	Desnitrificação
pH do meio	6,5 a 8,0	7,0
Concentração de Oxigênio Dissolvido	2 - 4 mg/L (Regime Aeróbio)	0 mg/L* (Regime Anóxico)
Temperatura	4 a 45 °C (35 °C <i>Nitrosomonas sp.</i> e 35-42 °C <i>Nitrobacter sp.</i> )	>15°C
Razão Carbono/Nitrogênio	Baixa	Alta
Alcalinidade (CaCO <sub>3</sub> )	2 mols H <sup>+</sup> - 1 mol alcalinidade	-
Classificação bacteriana em função do catabolismo	Quimiolitrófica	Quimiorganitrófica
Classificação bacteriana em função do anabolismo	Autotrófica	Heterotrófica

As condições dos processos de nitrificação e desnitrificação são bem distintas, o que traz complicações para o controle de ambas atividades em um mesmo sistema. Dessa forma, conclui-se a vantagem da realização da remoção de nitrogênio em múltiplos estágios (CARMINATI, 2016).

#### **3.2.3.1.4.2. Remoção Biológica de Fósforo**

O fósforo também pode ser um potencial poluente presente nos efluentes, tanto doméstico como industriais, e estar sob a forma inorgânica (fosfato, polifosfatos - mais complexas e ortofosfato) ou na forma orgânica (compostos orgânicos com heteroátomo de fósforo na cadeia).

Os polifosfatos se transformam em ortofosfatos pelo mecanismo de hidrólise e os ortofosfatos, dependendo do pH, podem aparecer sob as seguintes formas:  $PO_4^{3-}$ ,  $HPO_4^{2-}$ ,  $H_2PO_4^-$ ,  $H_3PO_4$  e não precisam de conversões, estão diretamente acessíveis ao metabolismo (VON SPERLING, 2005)

A remoção biológica do fósforo é bastante complexa e sofre concorrência de processos físico-químicos tal como a precipitação química, que apesar de mais difundida, gera mais lodo e gastos com reagentes químicos (JORDÃO, 2005).

### 3.2.3.2. Sistema de lodos ativados

O processo de lodos ativados é um processo bastante utilizado por conta da sua alta eficiência na remoção de DBO e DQO, se comparado a outros processos aeróbios (VON SPERLING, 2005).

O sistema é classificado como aeróbio, por conta do fornecimento de oxigênio - por aeradores mecânicos ou por ar difuso; de crescimento em suspensão na massa líquida, pois há crescimento biológico na superfície dos sólidos (não há um suporte inerte para aderência) presentes na massa líquida que contribuem na formação de flocos, os quais são mantidos em suspensão pelo próprio sistema de aeração; e com retenção de biomassa, por conta da recirculação do lodo, a biomassa permanece mais tempo no sistema do que o líquido, o que garante uma elevada eficiência na remoção da DBO(VON SPERLING, 2005).

Como pode ser observado na Figura 3.8, é composto de um tanque de alimentação/decantação primária, tanque de aeração, decantador secundário e um sistema de recirculação do lodo para o tanque de aeração.



**Figura 3.8: Representação esquemática de configuração de Lodos Ativados (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

No tanque de aeração é muito importante a manutenção adequada de uma boa mistura e injeção de ar, pois é onde ocorre a degradação dos compostos biodegradáveis (JORDÃO, 2005). Nesta etapa, há a interação entre microrganismos e essa matéria orgânica presente nos efluentes, tendo como resultado a formação de flocos, que consistem em aglomerados microbianos (lodo) (JORDÃO, 2005). A estrutura desses flocos é subdividida em: macroestrutura, formada por bactérias filamentosas; e microestrutura, composta por um agregado de células (JORDÃO, 2005).

A respeito da composição dessa biomassa (lodo) presente no reator: há tanto componentes biológicos, tais como: bactérias, fungos, protozoários, rotíferos e alguns metazoários; como não biológicos: partículas orgânicas e inorgânicas e polímeros microbianos extracelulares (polissacarídeos e proteínas) (DEZOTTI, 2008), cada um com sua função na degradação dos diversos poluentes (LIU *et al.*, 2004).

A garantia de uma boa formação de flocos depende não apenas das características do efluente, mas também das condições ambientais, condições de projeto e operação, tais como: valor de pH, consonância da razão C:N:P, garantindo a concentração de nutrientes; presença estequiométrica na concentração de OD necessária para a degradação biológica e além da identificação de compostos inibidores (VON SPERLING, 2005). A Tabela 3.7 compreende alguns parâmetros ótimos de funcionamento de um reator de lodos ativados.

**Tabela 3.7: Parâmetros Operacionais do sistema de lodos ativados (adaptado de VON SPERLING, 2005)**

Parâmetros	
Temperatura	20° a 30°C
pH	6,0 a 8,0
Oxigênio dissolvido (OD)	1 a 4 mg/L
Relação DBO (matéria orgânica):N(nitrogênio):P(fósforo)	100:5:1

No decantador secundário ocorre a separação do lodo (biomassa) da massa líquida. O sobrenadante consiste no efluente tratado que poderá ser descartado ou seguir para um tratamento complementar. Já o lodo sedimentado, o excedente é enviado para descarte e uma parcela retorna ao tanque de aeração através da linha de reciclo. Essa recirculação, garante a elevada concentração de biomassa no interior do reator (o que auxilia na remoção da DBO) (VON SPERLING, 2005).

De acordo com JORDÃO (2005), além da remoção de DBO e DQO, o processo de lodos ativados tem paralelamente como objetivo obter um efluente claro, límpido, com baixa turbidez, ou seja, menor concentração possível de sólidos. Essa baixa turbidez é obtida através da boa sedimentabilidade do lodo, considerada como um ponto crítico do processo (JORDÃO, 2005).

Uma sedimentação ruim, não forma uma biomassa concentrada para ser reinserida no tanque de aeração, e o efluente tratado perde sua qualidade ao carrear os sólidos não sedimentados.

Este processo produz uma grande quantidade de lodo, além de ser mais sensível a choques de cargas tóxicas, sendo necessário o monitoramento contínuo dos parâmetros operacionais - para obtenção de altas taxas de remoção de DBO.

### **3.2.3.3. Sistema de reatores aeróbios com biofilme - MBBR**

Os reatores de leito móvel com biofilme (*moving-bed biofilm reactor* - MBBR) consistem em uma tecnologia de tratamento aeróbio baseada na combinação entre sistemas dos tipos biomassa líquida em suspensão e biomassa aderida (biofilme) (DEZOTTI, 2008).

O desenvolvimento do processo foi iniciado, no final da década de 80, pela empresa norueguesa *Kaldnes Miljøteknologi A/S*, em parceria com a Universidade da Noruega. O objetivo era alcançar um aumento da eficiência de tratamento biológico, mesmo com áreas não muito grandes de instalação das ETEs, dispensando as desvantagens dos processos de lodos ativados e outros sistemas com biofilme (RUSTEN *et al.*, 1994, 1995, 1997, 2006 ; ØDEGAARD *et al.*, 1993, 1994).

De acordo com ALMADA (2012) e CARMINATI (2016) as principais vantagens do reator de leito móvel com biofilme comparando-o com os demais sistemas com biomassa aderida são enunciadas por diversos pesquisadores que avaliaram o MBBR (DEZOTTI *et al.*, 2011, RUSTEN *et al.* 2006, SALVETTI *et al.*, 2006 JAHREN *et al.*, 2002; ØDEGAARD, 2006; AYGUN *et al.*, 2008, MCQUARRIE e BOLTZ, 2011; CHEN *et al.*, 2008 e GAPES e KELLE, 2009), tais como:

- Alta eficiência na remoção dos poluentes mesmo com menor espaço físico requerido
- Fácil operação;
- Utilização integral do volume útil do biorreator para a proliferação de comunidades microbianas, elevada área interfacial entre biofilme e os substratos;
- Simples adaptação á estações de tratamento, sistemas e/ou biorreatores de lodo ativado já existentes, de forma a aprimorar o desempenho;
- Redução de custos de implantação por dispensar etapas convencionais de tratamento;

- Mais resistente à aplicação de altas cargas volumétricas, sem perdas da biomassa e ao choque de carga orgânica e hidráulica;
- Menor perda de carga em relação aos reatores de leito fixo;
- Não necessita de retrolavagens e não está sujeito a problemas de entupimento ou colmatação do leito como nos biofiltros.

A aplicação da tecnologia de MBBR vem sendo avaliada e difundida no Brasil nos últimos anos e por conta dos atraentes benefícios listados, está se tornando uma opção recorrente de tratamento para diversos tipos de efluentes.

#### **3.2.3.3.1. Aspectos Operacionais**

Os reatores biológicos do tipo MBBR, contém meios suporte plásticos de baixa densidade, onde a biomassa fica aderida, os quais são mantidos em constante movimento através de aeradores/misturadores, conservando a exposição e contato com a massa líquida em suspensão que também é composta por decompositores. Esses meios suporte tem como objetivo aumentar a área disponível para proliferação de microrganismos, estabelecendo uma maior aproveitamento do volume útil do reator (dispensando o uso de reatores com grandes dimensões), além de elevar o tempo de retenção celular (OLIVEIRA, 2008).

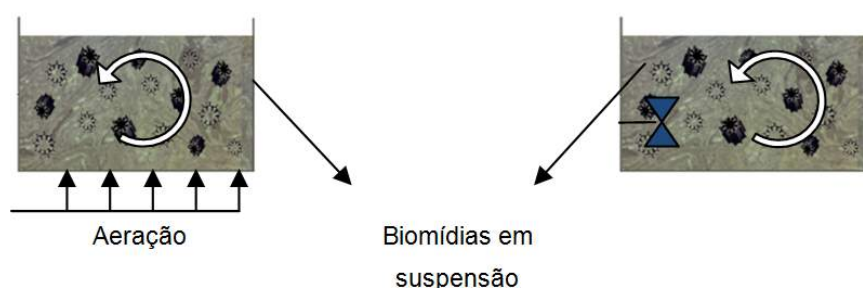
Esse eficiente desenvolvimento da comunidade microbiana tanto aderida ao meio suporte como na massa líquida, resulta em um aumento da decomposição da matéria orgânica rica em carbono e da conversão de compostos nitrogenados. É importante destacar que a tecnologia MBBR pode ser adaptada à equipamentos e outros processos já existentes (tais como de lodos ativados), de forma a otimizar as estações de tratamento, como unidade complementar, combinada ou não a remoção físico-química (OLIVEIRA, 2008).

##### **3.2.3.3.1.1. Agitação, Aeração e Regime de Oxigenação**

A movimentação constante dos suportes é uma característica inerente aos reatores MBBR e está particularmente relacionada ao regime de aeração do sistema, que podem ser classificados como aeróbios e anóxicos ou anaeróbios (CARMINATI, 2016). Nos sistemas aeróbios, o sistema de aeração garante tanto o fornecimento de gás oxigênio para metabolização aeróbia dos poluentes, quanto a mistura do meio e manutenção dos suportes em movimento. Já em sistemas anóxicos ou anaeróbios, faz-se necessário um dispositivo de

agitação mecânica para evitar a sedimentação de sólidos, além de fornecer energia suficiente para a conservação da movimentação e suspensão dos suportes. (RUSTEN et al., 2006; ØDEGAARD et al., 1994).

A Figuras 3.9 representa as formas de agitação usualmente empregados em reatores MBBR. A ilustração da esquerda representa a agitação pneumática onde ação utiliza-se dispositivos aeradores os quais promovem a aeração por ar difuso. Já a da direita ilustra a aeração por agitação mecânica feita normalmente por impelidores.



**Figura 3.9: Classificação dos reatores MBBR quanto ao modo de agitação - Agitação Pneumática (Fonte :adaptado de RUSTEN et al, 2006).**

Concomitantemente com a agitação do meio, o regime de oxigenação deve ser bem controlado, pois a eficiência do processo depende da presença do agente oxidante em teores adequados (CARMINATI, 2016).

Em reatores aeróbios, a aeração tem múltipla função, portanto faz-se necessário o controle da concentração de oxigênio dissolvido, que pode ser através da vazão de ar ou oxigênio injetado no reator. Deve-se garantir uma vazão ótima, que tanto permita a degradação dos poluentes, quanto promova uma aeração distribuída uniformemente, de forma a evitar zonas estagnadas (CARMINATI, 2016). Essa concentração ideal, de acordo com literatura, deve ser de no mínimo 2 mg/L para que seja desencadeada a remoção de matéria orgânica em sistemas aeróbios em suspensão (DEZOTTI, 2008). Entretanto, em sistemas com biofilmes, concentrações superiores podem ser necessárias, levando em consideração a presença das resistências difusionais no filme (GRADY *et al.*, 1999; BASSIN e DEZOTTI, 2008).



É importante entender que a taxa de ar nesses sistemas é normalmente maior que a empregada apenas para a biodegradação aeróbia, porém se for muito elevada, pode proporcionar desprendimento do biofilme, aumentando teor de sólidos suspensos no efluente tratado e os custos do processo (SCHNEIDER, 2010). Além disso, as bolhas também precisam ser geradas a um tamanho ótimo, pois se muito grandes podem diminuir a transferência de oxigênio e se muito pequenas, diminuem a eficiência de movimentação dos suportes. (ALMADA, 2012).

Nos reatores anóxicos ou anaeróbios também determina-se o controle da taxa de oxigênio, evitando que o oxigênio dissolvido no meio impossibilite as reações almejadas. Uma técnica utilizada em sistemas pequenos, como os laboratoriais, é a injeção de um gás inerte como o nitrogênio, que além de dispersar o oxigênio dissolvido, provê agitação ao meio (CARMINATI, 2016).

#### **3.2.3.3.1.2. Meio suporte**

Os suportes para os reatores MBBR são denominados de “biomídias” e devem garantir a fixação dos microrganismos em sua superfície através da produção de polímero extra-celulares, de forma a permitir as transferências e conversões de matéria orgânica (ALMADA, 2012).

Estes suportes são feitos de plástico, geralmente polietileno, com densidade adequada para favorecer sua suspensão no meio líquido, normalmente na ordem de 1 g/cm<sup>3</sup> (CARMINATI, 2016; PASTORELLI et al., 1977). Normalmente, esses dispositivos possuem forma cilíndrica (aproximadamente 10 mm de diâmetro e altura), contendo corrugações externas (as quais contêm nichos que proporcionam a maior aglomeração de organismos e que dificultam o cisalhamento de biomassa aderida) e divisões internas (que os divide em setores circulares) (SALVETTI et al., 2006; RUSTEN et al., 1998). Novos modelos desses dispositivos já podem ser encontrados na forma de discos (OLIVEIRA, 2008; CARMINATI, 2016).

As diferentes configurações dos meios suporte resultam em diferentes áreas de contato, com o objetivo principal de aumentar a área superficial efetiva para adesão de biofilme, pois a biomassa cresce majoritariamente na superfície interna dos suportes (RUSTEN et al., 2006; ØDEGAARD et al., 1994). A adesão na superfície externa é normalmente negligenciada devido à abrasão causada pela frequente colisão entre os suportes (HEM et al., 1994).

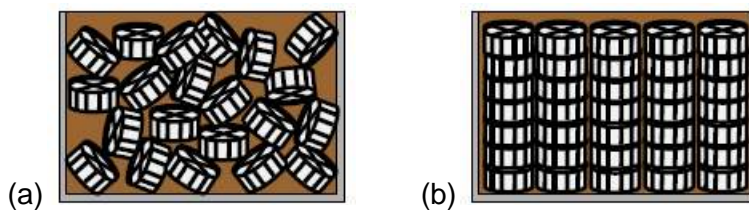
O conceito de área superficial específica contempla somente essas superfícies internas, nas quais ocorrem a aderência de biomassa. Portanto, a área superficial total corresponde ao produto entre a área superficial específica e a quantidade de meios suporte efetivamente contida por unidade de volume igual a 1 m<sup>3</sup> (OLIVEIRA, 2008).

De acordo com CARMINATI (2016), a quantidade de suportes a ser utilizada em um reator é determinada em função da efetiva quantidade de biomassa aderida que se pretende manter no processo e é dada em termos de fração de enchimento ( $\phi$ ), que consiste na razão entre o volume ocupado pelos suportes ( $V_E$ ) e o volume ocupado pelo líquido no sistema ( $V$ ). Matematicamente, a fração de enchimento pode ser representada pela Equação (12):

$$\phi = V_E/V \quad (12)$$

Esse parâmetro varia a cada projeto. No Brasil, a norma técnica NBR 12209 (ABNT, 2011) determina que a fração de enchimento deve ser de 0,3 a 0,7 para ser considerado como um tratamento de tecnologia MBBR (CARMINATI, 2016).





Além disso essa quantidade também irá variar se for considerado o devido empolamento das peças em função da disposição natural das mesmas em um dado volume. A Figura 3.10 ilustra essa consideração, onde obtém-se menor quantidade de peças por unidade de volume, devido ao empolamento (OLIVEIRA, 2008).



**Figura 3.10: Diferença entre a densidade de peças considerando o empolamento (a) e o não empolamento (b) (Fonte: OLIVEIRA, 2008)**

A Tabela 3.8 apresenta um resumo de variedades de biomédias e algumas especificações importantes referentes aos modelos.

**Tabela 3.8: Especificações de alguns suportes para leito móvel em MBBR (SALVETTI et al., 2006; VEOLIA, 2011; BIOWATER, 2011; DAS, 2012)**

Fotografia	Tipo de biomídia	Fabricante	Área Superficial (m <sup>2</sup> /m <sup>3</sup> )
	K1	AnoxKaldnes®	500
	K3		500
	K5		800
	BiofilmChip M		1200
	BiofilmChip P		990
	F3		1300
	BWT15	BioWater™	828
	AMB Bio	DAS®	550

Apesar do desenvolvimento tecnológico da área, ainda são poucas empresas que oferecem esses dispositivos. Dessa forma, a aquisição desses suportes ainda representa um dos

principais entraves na instalação de plantas com a tecnologia MBBR por conta do alto custo (DEZOTTI, 2011).

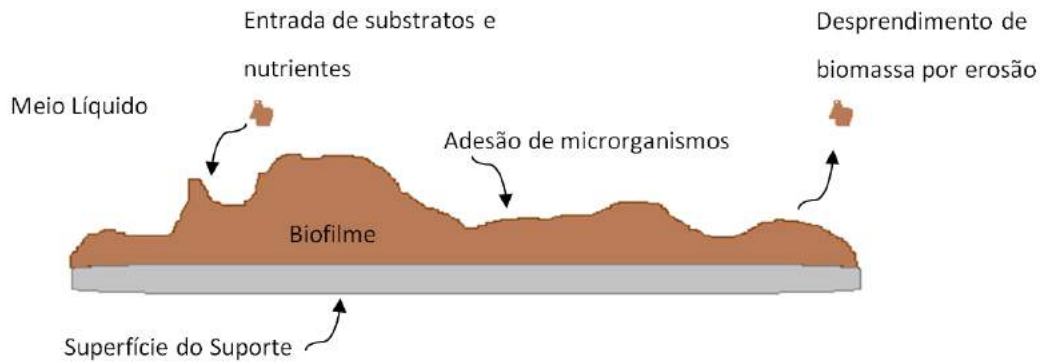
### **3.2.3.3.1.3. Formação de biofilme**

As características dos biofilmes formados nos suportes dos reatores de MBBR são bastante complexas e estão associadas à: natureza dos substratos, a pluralidade das espécies microbianas e das especificações dos meios suporte (ALMADA, 2012, FLEMMING e WINGLINDER, 2001).

Segundo XAVIER et al. (2003), o crescimento e acúmulo de biofilmes em superfícies resultam de uma série de processos de natureza física e biológica, que incluem além da cinética inerente ao processo, fenômenos de adesão e desprendimento. Esta cinética microbiana, ocorre através do fornecimento de substratos e nutrientes do meio líquido para o seu interior, favorecendo deste modo, a reprodução celular. Simultaneamente, o material particulado suspenso da fase líquida pode aderir ao biofilme, incrementando sua massa (CARMINATI, 2016, WIK, 1999). Geralmente, adiciona-se um inóculo proveniente de um sistema de lodo ativado para auxiliar nessa formação, a qual ocorre lentamente, pois como os suportes sem biomassa são muito leves, a forte movimentação gerada pelo sistema de aeração acaba provocando choques entre eles, resultando em perda de massa e dificultando o crescimento do biofilme (ALMADA, 2012).

No caso dos MBBRs, substâncias poliméricas extracelulares produzidas pela própria comunidade microbiana, sobretudo os polissacarídeos, são os principais responsáveis pela adesão dos microrganismos nos suportes móveis (ALMADA, 2012, CAMMAROTA e SANT'ANNA JR, 1998). Conforme essa aderência ocorre, um meio mais resistente a variações bruscas nas condições ambientais como temperatura, pH, concentração de nutrientes e substâncias tóxicas é estabelecido (CARMINATI, 2016, LAZAROVA e MANEM, 1995). Consequentemente, a biomassa também vai se adaptando às diversas condições impostas pela composição do afluente a ser tratado (ALMADA, 2012).

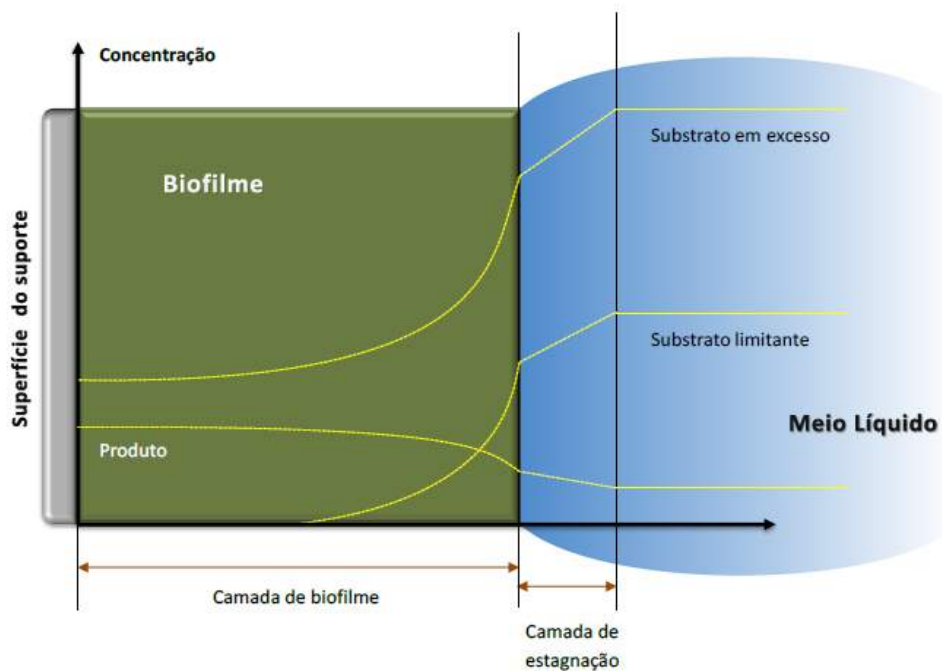
De uma forma simplificada, estes fenômenos podem ser esquematizados como mostra a Figura 3.11.



**Figura 3.11: Principais efeitos que afetam a dinâmica dos sólidos no biofilme (Fonte própria, adaptado de CARMINATI, 2016)**

A cinética microbiana continua atuando durante o funcionamento do tratamento dos efluentes e depende bastante da concentração de substratos disponíveis no meio (CARMINATI, 2016). Esses substratos são difundidos através de uma camada de estagnação (entre o biofilme e o meio líquido), sendo adsorvidos na superfície do biofilme e posteriormente aderindo à superfície do suporte (EBERL et al., 2006; PICIOREANU et al., 2000).

No biofilme, os microrganismos se reproduzem, aumentando sua espessura e criando uma maior resistência à penetração do oxigênio em camadas mais profundas do biofilme, podendo estabelecer uma estratificação, com zonas anóxicas ou anaeróbias na superfície do suporte (CARMINATI, 2016). No caso onde a comunidade microbiana é diversificada, a tendência é que bactérias heterotróficas, as quais crescem mais rapidamente, fiquem distribuídas nas camadas mais externas do biofilme, onde há maior disponibilidade de substratos. Essa atividade heterotrófica pode reduzir a concentração de oxigênio disponível, podendo comprometer a taxa de nitrificação (BEG et al., 1997; RUSTEN et al., 2006). Já as autotróficas, por apresentarem menores taxas de crescimento, permanecem no interior do biofilme (BOTROUS et al., 2004). A Figura 3.12 ilustra esse fluxo de substratos.



**Figura 3.12: Fluxo de substratos e produtos em um sistema com biofilme (CARMINATI, 2016, adaptado de WIK, 1999)**

#### 3.2.3.3.1.4. TRH

O TRH ( $\theta$ ) é um importante parâmetro dos sistemas biológicos de tratamento, pois as variações das taxas de crescimento da comunidade microbiana diversificada, influencia a cinética do tratamento (CARMINATI, 2016). A Equação 12 descreve o TRH como a relação entre o volume do reator ( $V$ ) e a vazão de alimentação do sistema ( $Q_a$ ):

$$\theta = V/Q_a \quad (12)$$

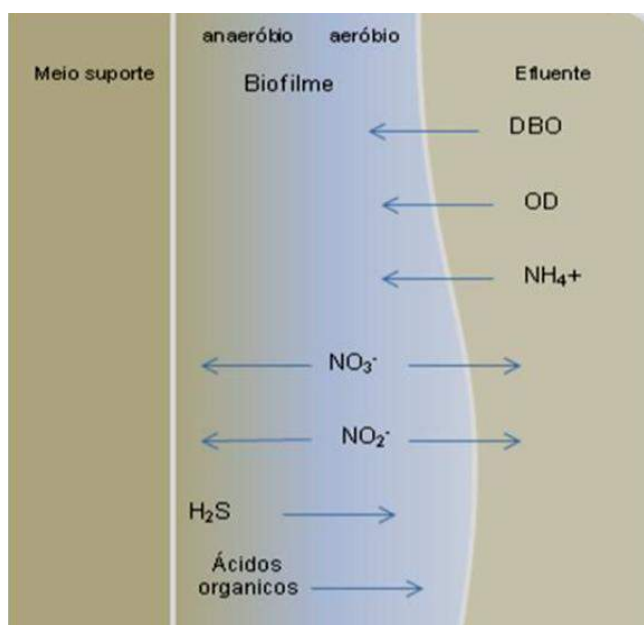
Os reatores MBBR, devido à alta concentração de biomassa costumam ser operados com TRH's menores que outros sistemas biológicos (CARMINATI, 2016).

De acordo com CARMINATI (2016), quando o objetivo de tratamento é apenas a remoção de matéria orgânica, os reatores costumam operar com tempos de retenção hidráulica relativamente baixos, pois a alta velocidade de crescimento das bactérias e, conseqüentemente, o consumo de matéria carbonácea são rápidos quando comparados, por exemplo, com a velocidade das bactérias nitrificantes. Quando a finalidade de tratamento inclui

a nitrificação, devem ser adotados tempos de residência mais longos (3 a 5hs), pois os microrganismos nitrificantes possuem cinética microbiana mais lenta (RUSTEN et al. 2006, CARMINATI, 2016).

### 3.2.3.3.1.5. Degradação da matéria orgânica e nitrogenada

Para que ocorra a degradação das substâncias orgânicas é necessário a difusão de substratos e produtos pela interface entre o biofilme e o efluente (CARMINATI, 2016, DEZOTTI, 2011, SANT'ANNA JR, 2010, MOTA e VON SPERLING, 2009, VON SPERLING, 2006, JORDÃO, 2005), conforme apresentado na Figura 3.13.



**Figura 3.13: Esquema do biofilme no suporte e das reações envolvidas na conversão de substâncias químicas (Fonte: ALMADA, 2012, adaptado de VON SPERLING, 2006)**

Quando o objetivo do tratamento através de reatores MBBR é a remoção de matéria orgânica, há uma carga orgânica maior e um número significativo de microrganismos envolvidos na degradação dos substratos. Por conta disso, o biofilme costuma ser mais espesso em sistemas com essa finalidade. Em contrapartida, quando o propósito do sistema é a remoção de nitrogênio (nitrificação/desnitrificação) o biofilme não possui uma espessura tão grande, pois as bactérias autotróficas são mais sensíveis às variações de carga, e, portanto é frequente a perda de biomassa aderida aos suportes (DEZOTTI, 2011).

Já no caso de o objetivo ser simultaneamente a remoção de matéria orgânica e de nitrogênio, há uma competição das bactérias heterotróficas e das nitrificantes por substrato, gerando um biofilme estratificado, como já foi citado anteriormente neste estudo. Como as heterotróficas crescem mais rápido e localizam-se na superfície mais externa do biofilme, acabam formando uma camada sobre a comunidade nitrificante, reduzindo a disponibilidade de oxigênio dissolvido e conseqüentemente a taxa de nitrificação (CARMINATI, 2016, DEZOTTI, 2011). Nesses ambientes anóxicos, uma alternativa para remoção de amônia em biofilmes/reactores de biomassa aderida é o processo Anammox (*Anaerobic Ammonium Oxidation*), o qual possui um bom resultado para nitrificação nesses casos (ALMADA, 2012, LYDMARK et al., 2006).

O Quadro 3.1 apresenta alguns trabalhos realizados empregando sistemas de MBBR no tratamento de diferentes tipos de efluentes.

**Quadro 3.1: Sistemas de MBBR e seus parâmetros operacionais para diferentes efluentes (adaptado de CARMINATI, 2016)**

Tipo de efluente	Objetivo	Condições operacionais			Eficiência de remoção (%)	Referência
		$\theta$ (h)	Tipo de suporte	$\phi$		
Indústria de papel	Remoção de DQO	13-22	K1	0,5	60-65	JAHREN et al. (2002)
Secundário de tratamento de esgoto	Nitrificação	0,33-0,67	K1	0,5	63-92	SALVETTI et al. (2006)
Refinaria de petróleo	Remoção de DQO e Nitrificação	9	K1	0,6	98	DIAS (2011)

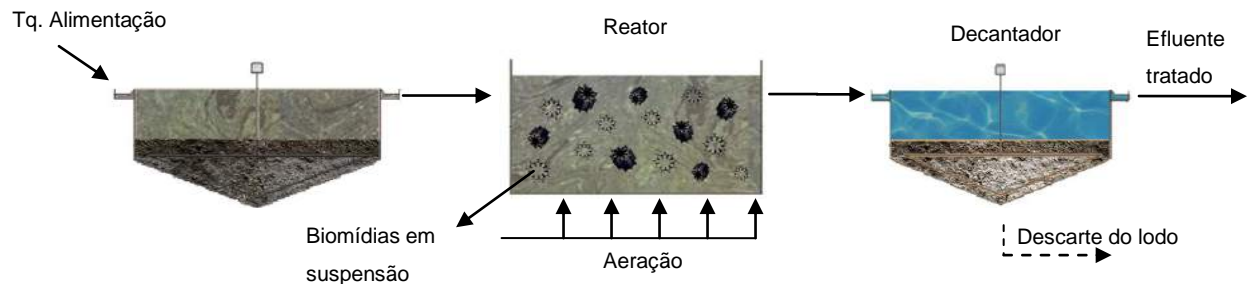
### 3.2.3.3.2. Aplicações e configurações da tecnologia MBBR

Reactores MBBR são sistemas biológicos e portanto seu principal propósito é a remoção de matéria orgânica dos diversos tipos de efluentes. Suas configurações irão depender das características do efluente a ser tratado, bem como do objetivo final do tratamento. O processo pode envolver reatores em simples ou múltiplos estágios, associados ou não a outras tecnologias de tratamento, assim como ter aplicação além da primordial, tal como a remoção de nutrientes (nitrogênio e fósforo) (CARMINATI, 2016).

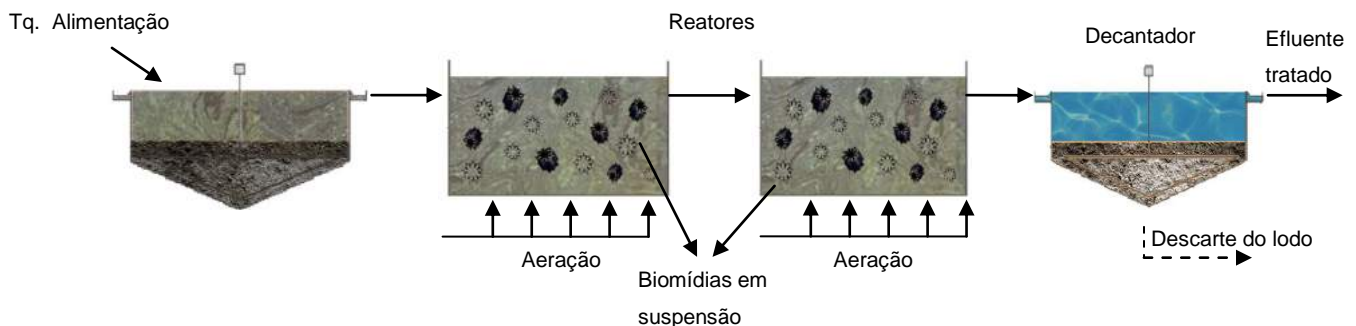


### 3.2.3.3.2.1. Sistema MBBR único estágio e em dois estágios: em série e em paralelo

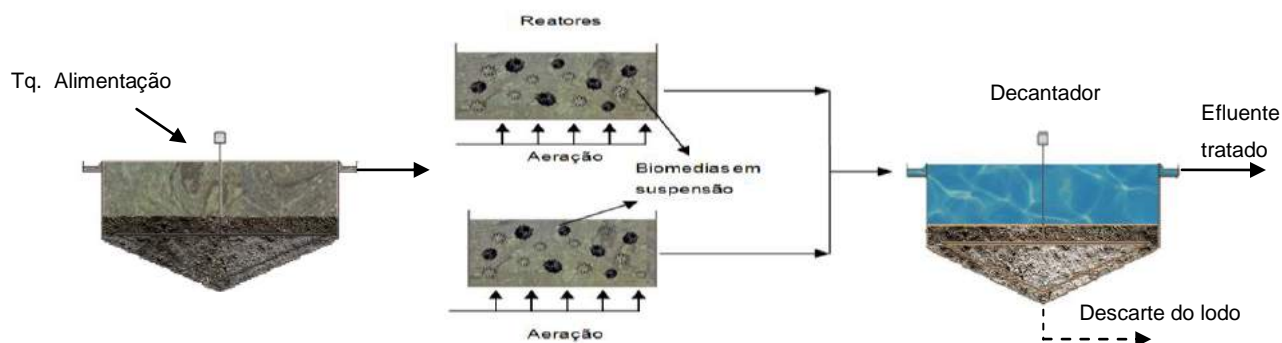
O sistema MBBR simples é normalmente empregado no tratamento secundário de efluentes visando a remoção de matéria orgânica (CARMINATI, 2016). As Figuras 3.14, 3.15 e 3.16 representam, respectivamente, as configurações simples de reatores MBBR, com um reator único, com reatores em série e em paralelo. Em todas, o sistema é composto por um tanque que recebe a vazão de alimentação (e é responsável pela decantação de parte dos sólidos), o reator ou reatores biológicos (onde ocorre a metabolização da matéria orgânica) acoplado de um sistema de aeração e um decantador secundário, onde ocorre a sedimentação do lodo biológico formado no processo. O sobrenadante deste decantador consiste no efluente tratado, que se estiver em conformidade com as exigências legais poderá ser descartado nos corpos hídricos. Diferentemente do processo de lodos ativados, a literatura não reporta o emprego da recirculação do lodo secundário no caso do processo MBBR (OLIVEIRA, 2008).



**Figura 3.14: Representação esquemática de configuração de MBBR em único estágio (Fonte : adaptado de DEZOTTI et al., 2011)**



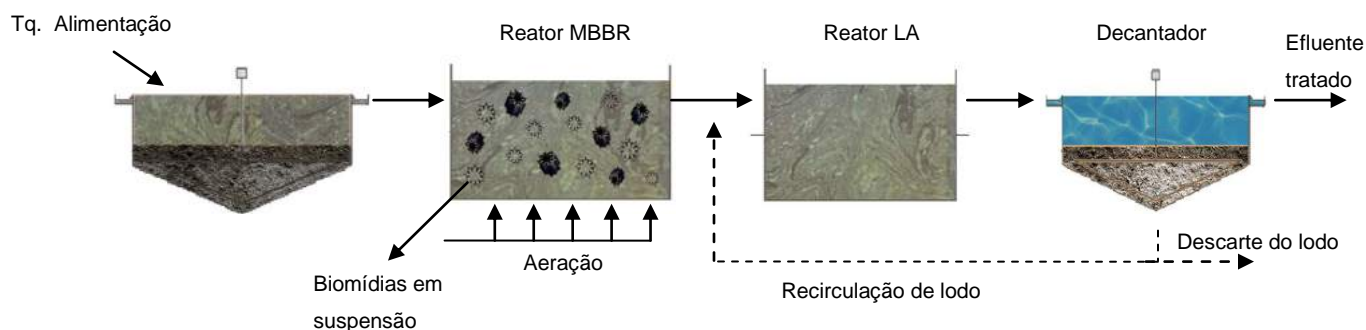
**Figura 3.15: Representação esquemática de configuração de MBBR em dois estágios em série (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**



**Figura 3.16: Representação esquemática de configuração de MBBR em dois estágios em paralelo (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

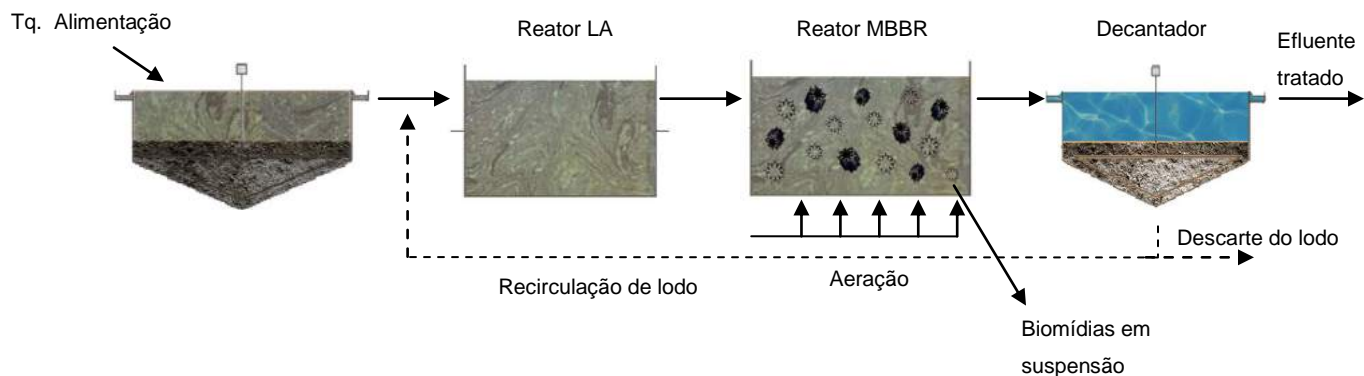
### 3.2.3.3.2. Sistema MBBR em combinação com lodos ativados

O sistema MBBR pode ser utilizado em consonância com outros tipos de tratamento. O mais comum é a combinação com o processo de lodos ativados, com o objetivo de aumentar a eficiência de remoção da matéria orgânica do efluente a ser tratado. A Figura 3.17 representa essa associação de tratamentos com o reator de lodos ativados colocado após o reator MBBR, incluindo a recirculação de lodo, garantindo a alta concentração de biomassa no reator LA.



**Figura 3.17: Representação esquemática de configuração de MBBR em consonância com processo de lodos ativados (LA) (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

Já a Figura 3.18, representa a combinação dos processos com o reator de LA disposto anteriormente ao sistema MBBR. Dessa forma, é possível aumentar ainda mais a remoção de poluentes.



**Figura 3.18: Representação esquemática de configuração de MBBR em consonância com processo de lodos ativados (LA) (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

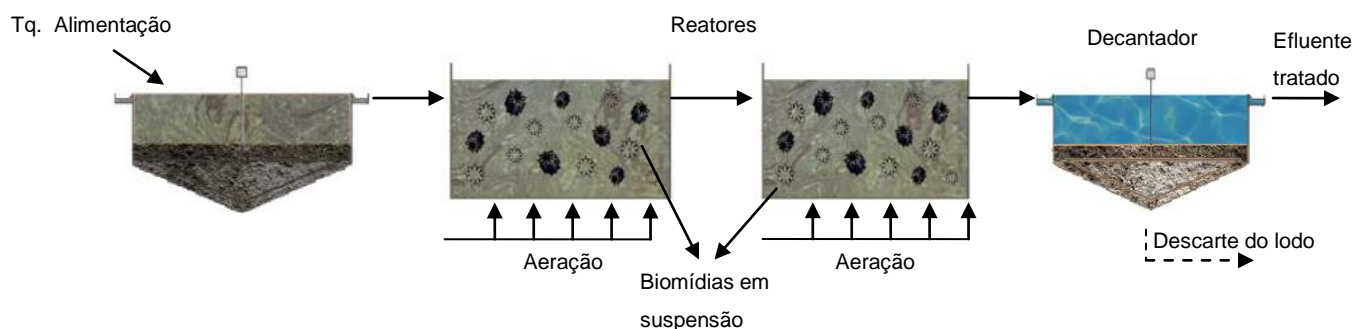
### **3.2.3.3.2.3. Sistema MBBR com objetivos múltiplos**

#### **3.2.3.3.2.3.1. Remoção de matéria orgânica e nitrificação**

O sistema MBBR também pode ser aplicado para atuar simultaneamente na remoção de matéria orgânica e na remoção de nitrogênio, através do processo de nitrificação (CARMINATI, 2016).

É importante destacar que determinados parâmetros, como a concentração inicial de material orgânico no afluente e o tempo de residência hidráulico (TRH) devem ser respeitados para que as reações de nitrificação sejam favorecidas (ALMADA, 2012). Sistemas caracterizados com altos valores de TRH, podem propiciar o processo nitrificante, uma vez que se dispõe de tempo suficiente para o desenvolvimento de bactérias quimiolitotróficas atuantes na nitrificação (DEZOTTI *et al.*, 2011). Conforme o TRH diminui, as bactérias heterotróficas se proliferam a altas velocidades, e o desenvolvimento de bactérias nitrificantes fica comprometido reduzindo, assim o consórcio autotrófico responsável pela nitrificação (DEZOTTI, 2008).

A melhor configuração requerida para atingir a nitrificação é a apresentada na Figura 3.19, onde os reatores são associados em dois estágios em série.

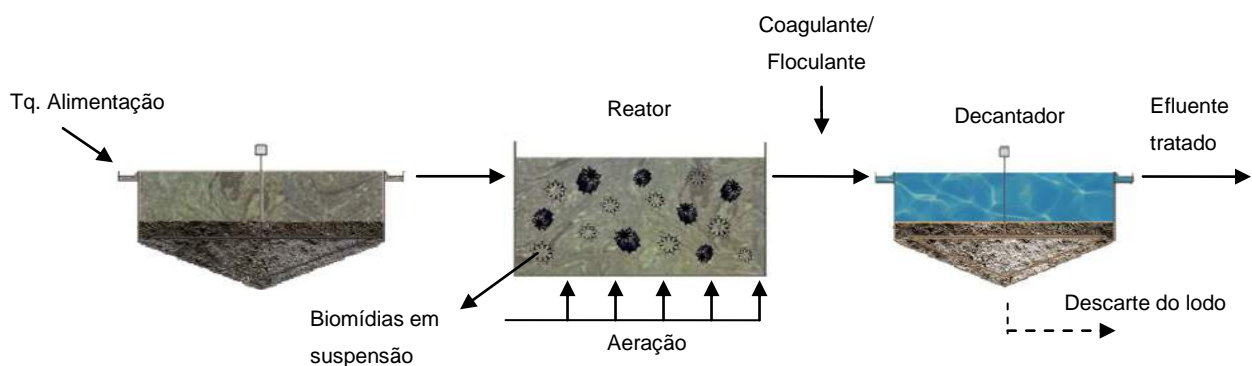


**Figura 3.19: Representação esquemática de configuração de MBBR em dois estágios em série de forma a realizar a nitrificação (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

A remoção de matéria orgânica é realizada no primeiro reator, pois concentração de matéria orgânica é maior, com idade do lodo baixo. Com grande parte do material orgânico já foi metabolizada, a nitrificação ocorre no outro reator da série, o qual apresenta idade do lodo e TRH elevados (DEZOTTI, 2011).

### 3.2.3.3.2. Remoção de matéria orgânica e de fósforo

Com a inclusão de uma etapa físico química após o reator de MBBR, adicionando-se algum produto com ação coagulante/floculante, torna-se viável a remoção de fósforo do efluente a ser tratado. O fósforo incorpora na biomassa celular, ou seja, no lodo que será posteriormente descartado. A configuração requerida para atingir a remoção de fósforo é a apresentada na Figura 3.20.

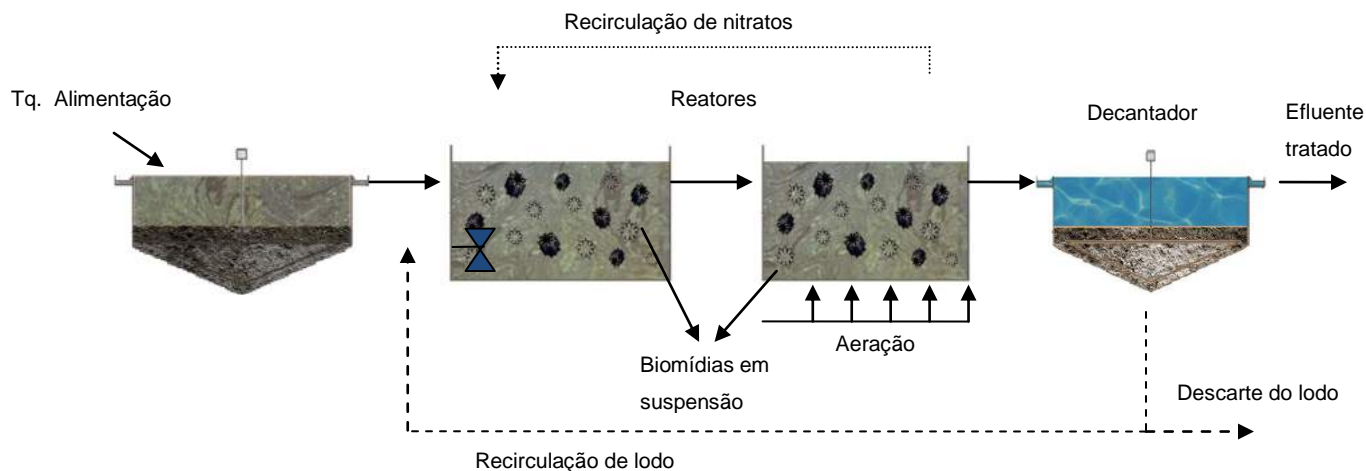


**Figura 3.20: Representação esquemática de configuração de MBBR incluindo etapa físico química pós reator com objetivo de remoção de fósforo (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

### 3.2.3.3.2.3.3. Remoção de matéria orgânica e desnitrificação

- Sistema de pré-desnitrificação

A Figura 3.21 representa o processo de MBBR com objetivo da pré-desnitrificação.

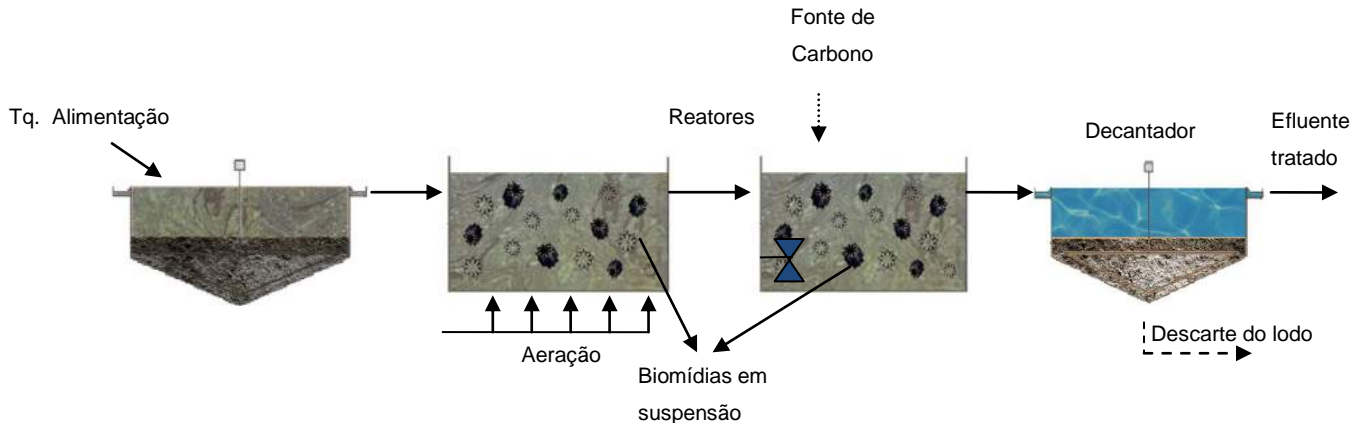


**Figura 3.21: Representação esquemática de configuração de MBBR no sistema de pré desnitrificação (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

Neste processo, o efluente a ser tratado provém do tanque de alimentação e passa por um primeiro reator, o qual opera em regime anóxico, e onde ocorre a desnitrificação. Poderá ocorrer também a remoção de matéria orgânica nesta etapa. Na verdade, é até mais interessante que essa remoção seja anóxica, pois este processo demanda menos oxigênio, resultando em redução de custos. Posteriormente, esse efluente segue para um segundo reator em série, que opera de forma aeróbia, permitindo o processo nitrificante. Nesta reação, são formados nitratos, os quais são recirculados, dentro do próprio processo, para o primeiro reator, favorecendo ainda mais a desnitrificação (VON SPERLING, 1996). Vale destacar que esse ciclo deve ser feito de forma controlada, pois ao fornecer o nitrato, há introdução de oxigênio no reator, o que causa inibição da desnitrificação (CARMINATI, 2016).

- **Sistema de pós-desnitrificação**

A Figura 3.22 representa o processo de pós-desnitrificação.



**Figura 3.22: Representação esquemática de configuração de MBBR no sistema de pós desnitrificação (Fonte: adaptado de DEZOTTI, 2011)**

Neste processo, a ordem dos reatores é invertida. Portanto, há um primeiro reator aeróbio, onde ocorre a nitrificação e a remoção de matéria orgânica. Já no segundo estágio, há um reator anóxico em série, onde é realizada a desnitrificação. Nesta segunda etapa considera-se que todo o substrato orgânico tenha sido consumido no primeiro reator, permitindo que a desnitrificação ocorra através da respiração endógena. A desvantagem deste método é a baixa velocidade das reações de degradação.

Portanto, são inseridas fontes externas de carbono para solucionar este problema. Aumenta-se assim a eficiência do sistema, apesar do conseqüentemente aumento de custos (JORDÃO, 2005).

### 3.2.4. Tratamento Terciário

O tratamento terciário é uma etapa mais avançada, e tem como objetivo remoção auxiliar dos sólidos em suspensão que permaneceram no efluente, além também da matéria orgânica, nutrientes, patógenos, compostos não biodegradáveis e compostos tóxicos remanescentes. Como resultado, obtém-se um efluente tratado de alta qualidade que poderá ser reutilizado dentro da própria indústria e/ou edificações (exemplos de reuso: torres de resfriamento, irrigação de jardins).

Os processos mais comuns neste estágio são os de separação por membranas (responsáveis por separarem duas fases, restringindo o deslocamento de espécies químicas presentes nas fases), tal como a nanofiltração, osmose inversa/reversa e eletrodialise. Esses mecanismos são classificados de acordo com a capacidade seletiva da membrana e do fluxo permeado (relação da vazão do material que flui pela membrana e a área da mesma).

Já para a remoção de organismos patogênicos há a desinfecção, tendo como alternativa mais viável a cloração (normalmente, adiciona-se cloro ao final do tratamento para que o efluente tratado seja reutilizado em vasos sanitários, por exemplo). Outros mecanismos são a Ozonização e Radiação UltraVioleta, muito utilizados em países desenvolvidos, requerem equipamentos de tecnologia avançada e são mais caros.

## 4. Materiais e métodos

### 4.1. Objeto de Estudo

A indústria em questão, IBMA, está localizada no município do Rio de Janeiro e foi fundada em 1950. Atualmente, a fábrica possui 14 linhas de produção de biscoitos (biscoitos doces secos, doces amanteigados, recheados, rosquinhas, *wafer*, biscoitos salgados e aperitivos) e 5 linhas de produção de massas alimentícias (espaguete, penne, linguini, fusilli, ninho - podendo ter suas variações: com ovos, semolina ou *grandur*). A produção ocorre em 3 turnos, 24 horas por dia, 6 dias por semana.

De Janeiro a Julho de 2017, foram produzidas mais de 40.000 toneladas de biscoitos e massas (Tabela 4.1). A principal fonte de geração de efluentes na fábrica é a água residuária proveniente do processo de lavagem de equipamentos, limpeza do piso da própria fábrica, geração de vapor (caldeiras, trocadores de calor). Além disso, há o consumo humano de água pelos 3.000 funcionários, nos sanitários e pias. No último ano, foram consumidos em torno de 105.000 m<sup>3</sup> de água (IBMA, 2017). Neste primeiro semestre de 2017, já foram consumidos cerca de 65.000 m<sup>3</sup> de água, o que corroboram a importância do investimento em tratamento do efluente gerado (IBMA, 2017).

**Tabela 4.1: Produção total de biscoitos e massas no primeiro semestre de 2017 (Fonte: IBMA, 2017)**

<b>Produção (ton)</b>	<b>Janeiro</b>	<b>Fevereiro</b>	<b>Março</b>	<b>Abril</b>	<b>Mai</b>	<b>Junho</b>	<b>Julho</b>
Biscoitos	3109	3099	4300	4100	3290	3798	3330
Massas	2725	2617	2995	2995	3282	3401	2824
Total	5834	5716	7295	7095	6572	7199	6154

### 4.2. Estação de Tratamento de Efluentes da IBMA

A Estação de Tratamento de Efluentes foi elaborada no ano de 2014 e posta em operação em 2016. Uma empresa terceirizada foi a responsável pelo projeto, instalação e agora permanece na operação e manutenção da planta, a fim de atender aos padrões de lançamentos de efluentes estabelecidos pelos órgãos ambientais. Como a Indústria está localizada no estado do Rio de Janeiro, o órgão responsável pela fiscalização é o INEA (Instituto Estadual do Ambiente). Portanto, a Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias deve atender às exigências determinadas pelo CONAMA 430/11, NT 202 R.10, DZ 205 R.6 (efluente industrial) e DZ 215



R.4 (efluente de origem não industrial). A Tabela 4.2. apresenta as condições de lançamento que devem ser atendidas pela Indústria.

**Tabela 4.2: Parâmetros analisados e seus respectivos limites de lançamento (Fonte: NT202 R10, DZ's 205 R6 e 215 R4, INEA)**

Parâmetros	Limites/Condições de Lançamento
pH	5-9
Temperatura	<40 °C
Materiais Sedimentáveis	1mL/L (teste de 1h em cone Imhoff)
Materiais em suspensão	Ausência
Óleos e Graxas	50 mg/L (vegetais e gorduras animais)
DQO - Demanda Química de Oxigênio	Indústrias alimentícias, exclusive pescado < 400 mg/L ou 8,0 kg/dia
DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio	Mínimo de 70% de remoção (Para carga orgânica maior que 10 kg DBO/dia e menor ou igual a 100 kg DBO/dia, é exigida tecnologia de remoção no Nível 2)

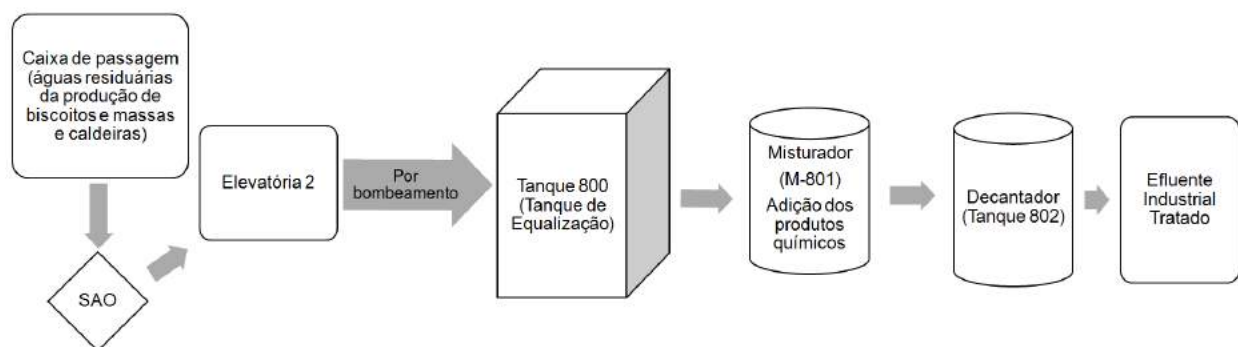
O Layout da ETE pode ser visualizado no Anexo 1. A Figura 4.1 é um registro fotográfico da ETE.



**Figura 4.1: Estação de Tratamento de Efluentes da IBMA(Fonte Própria).**

### 4.3. Sistema de tratamento físico-químico

Com o intuito de tratar o efluente industrial, foi implantando um sistema físico/químico com capacidade para atender 0,65 m<sup>3</sup>/hora. A Figura 4.2 e apresenta o fluxograma do sistema de tratamento físico químico da Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias (seu layout encontra-se no Anexo 1 deste presente estudo).



**Figura 4.2: Fluxograma do sistema físico químico da ETE da IBMA (Fonte própria)**

Os efluentes industriais (aqueles provenientes das caldeiras e lavagem de pisos e equipamentos) seguem suas respectivas linhas de descarte e chegam primeiramente na caixa de passagem. Há três tubulações principais que conduzem água residuária da área de lavagem das maseiras e linhas de biscoitos, das caldeiras e dos equipamentos da produção de macarrão.

Deste ponto, são conduzidos para uma SAO (Separadora de água e óleo) e então encaminhados para a Elevatória de número 2.

Posteriormente, por bombeamento, são direcionados ao Tanque de equalização de 10 m<sup>3</sup> - Tanque 800. Deste Tanque o Efluente Industrial é bombeado através da "Bomba de alimentação" para o reator físico químico.

Em seguida, esse efluente bruto recebe a dosagem de produtos químicos através de suas respectivas bombas dosadoras:

- Coagulante (IZET - Policloreto de alumínio);
- Soda caustica (50%) para correção de pH;

- Floculante (IFLOC - polímero catiônico) (este produto é recebido na forma sólida granulada e seu preparo é feito em meio aquoso (mg/L) com agitação por modo redutor).

Então seguem para o Misturador (M-801) onde há agitação do efluente industrial, reduzindo as forças que mantêm as partículas separadas, formando-se flocos. Depois disso, segue para um decantador lamelar (Tanque 802) sob baixa vazão. As lamelas dificultam a subida do lodo. O lodo sedimentado é direcionado para os dois leitos de secagem de 350 litros cada. E o efluente industrial tratado é bombeado e conduzido para o Tanque 806, onde passará pelo sistema biológico.

Diariamente, é necessária a parada desse sistema de tratamento pois é feita a drenagem dos leitos de secagem, transpondo esse lodo que encontra-se bastante úmido, para tambores de ferro.

A Figura 4.3 apresenta relatos fotográficos deste sistema.

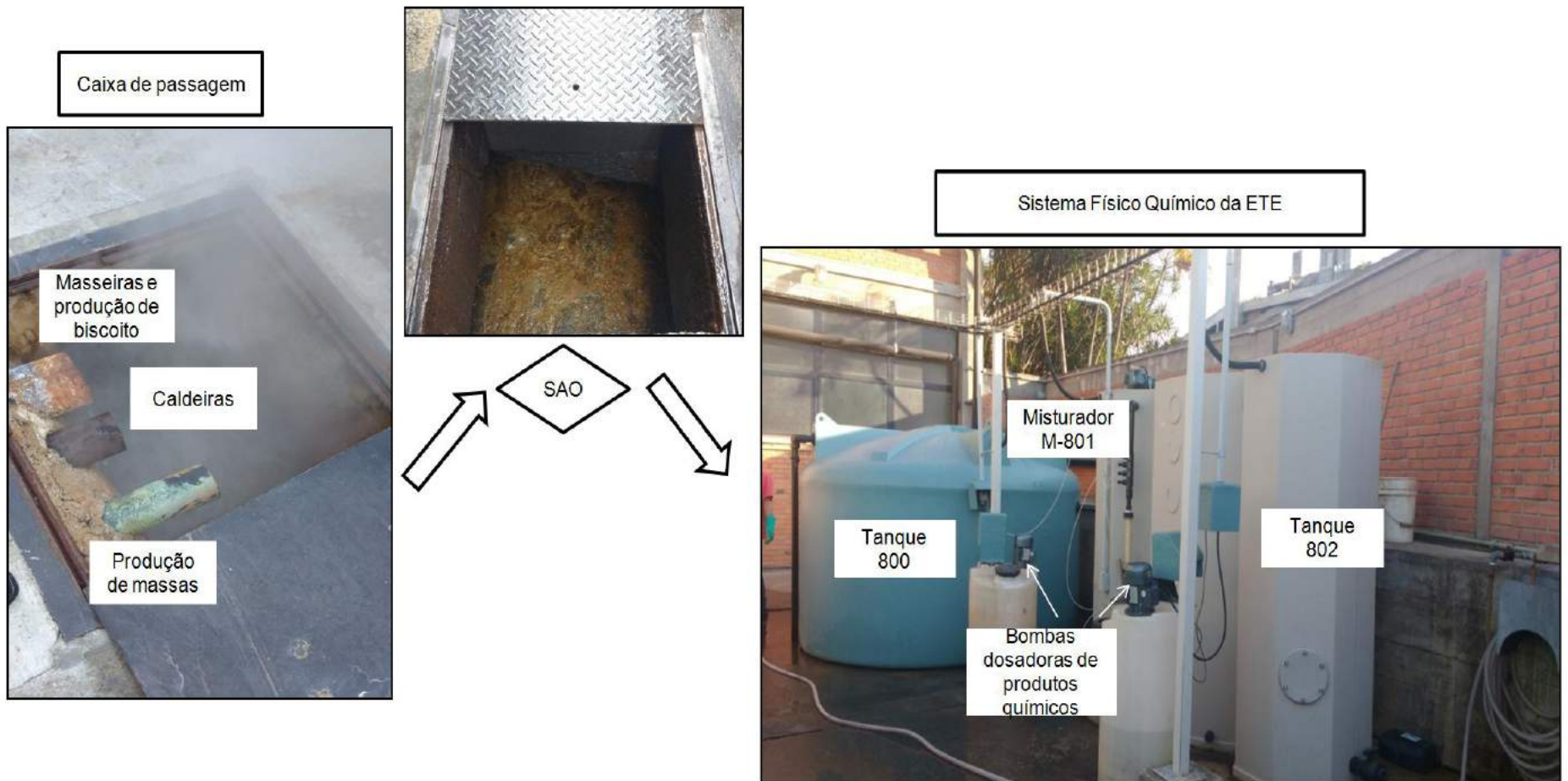
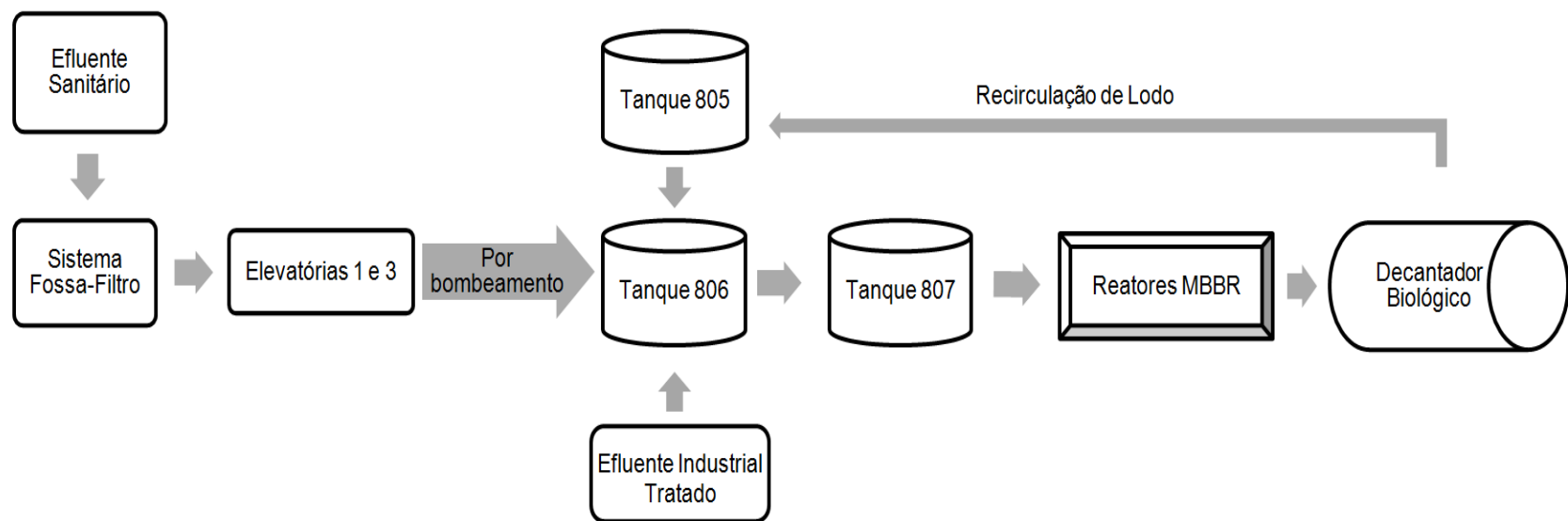


Figura 4.3: Relatos fotográficos do sistema de tratamento físico químico da ETE da IBMA(Fonte Própria).

#### **4.4. Sistema de tratamento biológico**

Os efluentes sanitários são provenientes dos toaletes da fábrica e do setor administrativo. A Figura 4.4 ilustra um fluxograma do sistema biológico de tratamento (seu layout está ilustrado no Anexo 1). Já a Figura 4.5 apresenta relatos fotográficos deste sistema.



**Figura 4.4: Fluxograma sistema biológico da ETE da IBMA (Fonte própria)**

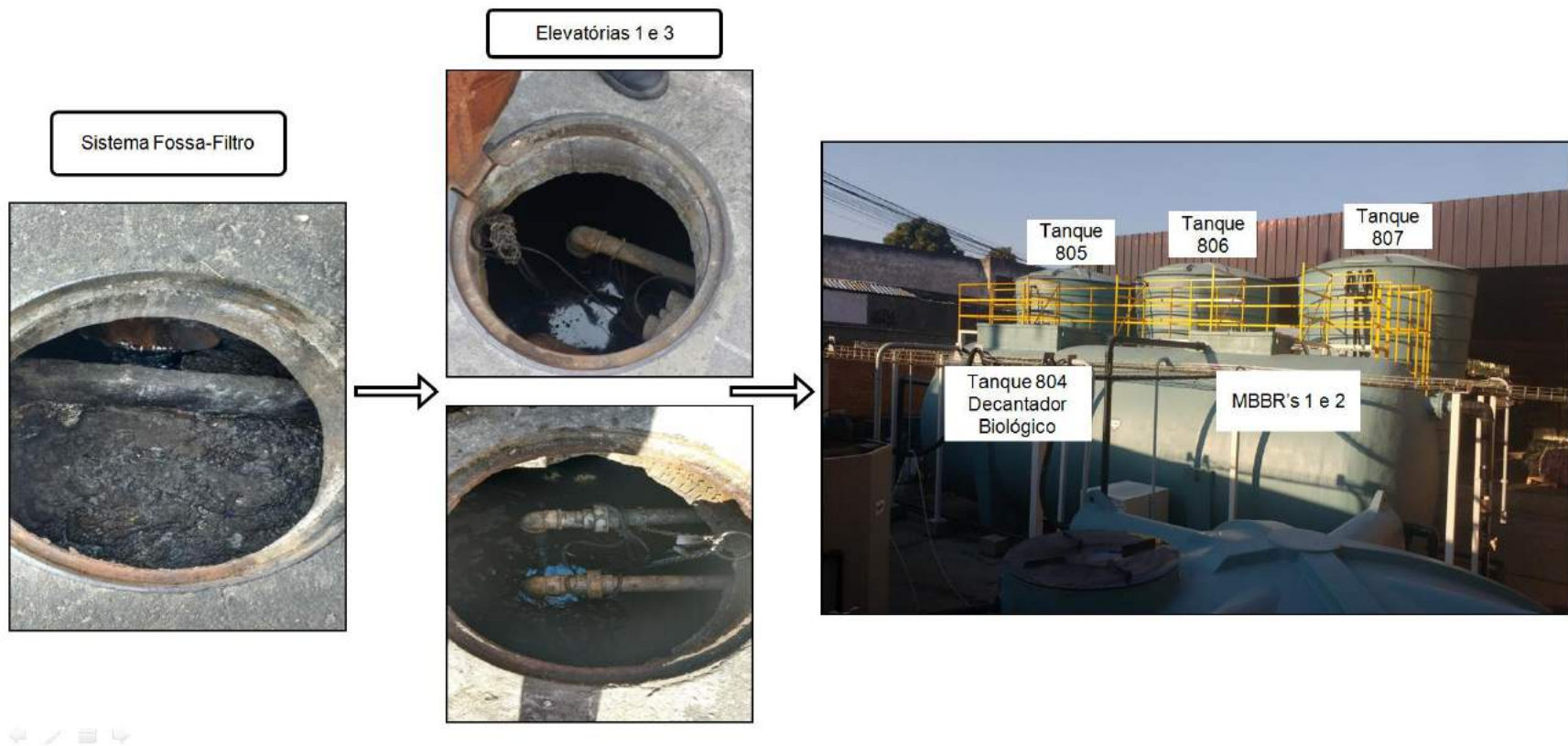


Figura 4.5: Relatos fotográficos do sistema de tratamento biológico da ETE da IBMA (Fonte Própria).



Os efluentes sanitários são conduzidos primeiramente para um sistema fossa filtro e deste ponto, são direcionados para as Elevatórias 1 e 3. Por bombeamento, seguem para o Tanque 806 (25 m<sup>3</sup>) os quais se misturam com o efluente industrial tratado gerado no sistema físico químico.

O Tanque 806 tem a finalidade de equalizar o efluente sanitário com o efluente industrial. Dele os efluentes seguem para o Tanque 807, de onde serão distribuídos a vazão constante para os Reatores de Leito Móvel com Biofilme - MBBR's (Moving Bed Bio Reactor).

Os MBBR 1 e 2 (Ilustrados na Figura 4.6), através de mecanismos biológicos, são responsáveis pelo tratamento secundário aeróbio, com o objetivo de remover matéria orgânica através da degradação da matéria orgânica dissolvida. O produto dessa reação gera gás carbônico, água e biomassa, que é utilizada como lodo ativado. Há um compressor de ar, responsável pela "injeção" oxigênio dissolvido no sistema.



**Figura 4.6: MBBR 1 e 2 (Fonte Própria).**

Dentro desses reatores, são encontradas as biomédias (ilustrada na Figura 4.7, neste projeto optaram pelo uso do tipo AMB Bio), suportes plásticos livres e flutuantes, os quais segundo o Projeto Executivo do Sistema Biológico de Tratamento apresentado pela Ética Ambiental



"promovem uma extensa superfície de contato que serve simultaneamente para hospedar microrganismos e acumular o lodo bioativado". Para cálculo do projeto considerou-se uma superfície de contato de 500 m<sup>2</sup>/m<sup>3</sup> do reator.



**Figura 4.7: Biomídia AMB Bio (Fonte Própria).**

Posteriormente, o efluente é direcionado para o Tanque 804 - Decantador Biológico/Lamelar (como mostra a Figura 4.8), cuja finalidade é a clarificação desse efluente por meio da decantação. O resultado desse processo é o efluente tratado, o qual pode ser destinado para os corpos receptores (desde que esteja atendendo aos parâmetros legais). Complementarmente, é importante destacar que é gerado lodo biológico nesse sistema, o qual fica armazenado no Tanque 805, cuja limpeza é feita quinzenalmente, de acordo com seu nível de medição. Além disso, é feita também a recirculação do lodo dos tanques 806, 807 e do decantador biológico para este Tanque 805, evitando com que haja arraste de sólidos para os reatores MBBR's.



**Figura 4.8: Decantador Biológico - Tanque 804 (Fonte Própria)**

Na Tabela 4.3 encontram-se os parâmetros de projeto utilizados pela empresa terceirizada responsável pelo projeto para dimensionamento do sistema biológico.

**Tabela 4.3: Parâmetros de projeto para dimensionamento do sistema biológico (Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto Executivo de Tratamento de Esgoto Sanitário, 2014).**

Número de Funcionários	2700 colaboradores
Consumo de água per capita (CEDAE)	50 L/hab.dia
Contribuição per capita de carga orgânica (C)	25 g/dia
Coefficiente para o dia de maior consumo (K1)	1,2
Coefficiente para a hora de maior consumo (K2)	1,5
Coefficiente de retorno	0,80
Vazão Média ( $Q_{méd}$ )	108 m <sup>3</sup> /dia
Vazão Máxima ( $Q_{máx}$ )	194,40 m <sup>3</sup> /dia
Carga orgânica	67,50 kg DBO/dia

#### 4.5. Metodologia Analítica

De Janeiro a Julho de 2017, os operadores da ETE preencheram diariamente as planilhas N°215 e N°217 (presentes respectivamente nos Anexos 2 e 3 deste estudo) a respeito do funcionamento da ETE. Na Tabela 4.4 encontram-se as informações coletadas em campo, bem como os métodos de medição utilizados, obedecendo ao MF-402.R-1 - Método de Coleta de Amostras de Efluentes Líquidos Industriais. As Figuras 4.9, 4.10 e 4.11 apresentam fotografias de alguns instrumentos de medição utilizados.

**Tabela 4.4: Parâmetros analisados e métodos de medição (Fonte própria)**

Parâmetros	Método de medição
Altura do lodo nos Tanques 805, 806 e 807	Medidor linear
Altura de lodo nos MBBR's 1 e 2	Os reatores são desligados durante 30 minutos. Após esse intervalo de tempo, utiliza-se o medidor linear
Altura do lodo do decantador biológico	Medidor linear
pH	pHmetro (handylab)
Sólidos Sedimentáveis	São coletadas amostras no cone <i>Inmhoff</i> e espera-se 1 (uma) hora para anotar o resultado do lodo sedimentado
Temperatura	Termômetro digital



**Figura 4.9: pHmetro handylab (Fonte Própria)**



**Figura 4.10: Termômetro digital (Fonte própria)**



**Figura 4.11: Medidor linear (Fonte Própria)**

Outros dados também relatados nestas planilhas, tais como: a vazão horária de entrada no decantador primário (Tanque 800), vazão de saída do efluente tratado (Tanque 804), vazão do misturador (M-801) (visualiza-se os medidores de vazão); Paradas do sistema de tratamento de efluentes Industriais (horário e duração); Número de vezes que a bomba de alimentação atuou (duração e altura de lodo); Porcentagem dos produtos químicos utilizados: Soda, Ácido Sulfúrico, IZET e IFLOC.

Além de todas essas informações, dados do Tanque 800 e da bomba de alimentação (Tabelas 4.5 e 4.6) são utilizados para elaboração da Tabela de Balanço de Massa do Sistema de Tratamento de Efluentes Industriais, cuja finalidade é determinar os volumes totais de: efluente industrial gerado, efluente industrial tratado e efluente industrial descartado sem tratamento. Não bastando, os dados coletados nessas planilhas também resultam em gráficos a respeito da geração de lodo.

**Tabela 4.5: Dados Dimensões Tanque 800 (Fonte: IBMA, 2017)**

<b>Dados do TQ 800</b>	
Diâmetro do tanque (m)	2,7
Área da base (m <sup>2</sup> )	5,72

**Tabela 4.6: Dados operacionais bomba de alimentação da ETDI (Fonte: IBMA, 2017)**

<b>Dados da bomba de alimentação</b>	
Tempo de operação (h)	0,06
$\Delta H$ (m)	0,11
Qa (m <sup>3</sup> )	10,79

Além disso, a empresa terceirizada responsável pela estação de tratamento coleta mensalmente amostras de lodo em dois pontos: na entrada do reator MBBR e na saída do sistema biológico. Essas amostras são destinadas para análises físico químicas, realizadas por um laboratório especializado. Os parâmetros (todos são acreditados pela Norma NBR ISOMECC 17025.2005) analisados são:

- DBO (5 dias 20°C) - Método 5210 B SMEWW 22<sup>a</sup> Edição;
- DQO - Método 5220 D SMEWW 22<sup>a</sup> Edição;
- Óleos e graxas - Método 5520 D SMEWW 22<sup>a</sup> Edição;
- Sólidos Suspensos Totais - Método 2540 D SMEWW 22<sup>a</sup> Edição;
- Surfactantes - MBAS - Método 5540 C SMEWW 22<sup>a</sup> Edição.

\* SMEWW: Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 22st Edition, 2012

Essas análises permitem avaliar a eficiência do sistema e acompanhar se o efluente tratado gerado está de acordo com os limites de tolerância determinados pela NT 202 R10 e DZ 205 R06. Em um futuro breve, espera-se que as planilhas do PROCON ÁGUA possam ser preenchidas (um modelo pode ser analisado no Anexo 4 deste documento) e encaminhadas para o órgão ambiental responsável por esse monitoramento dos limites de concentração.

## **5. Resultados e discussão**

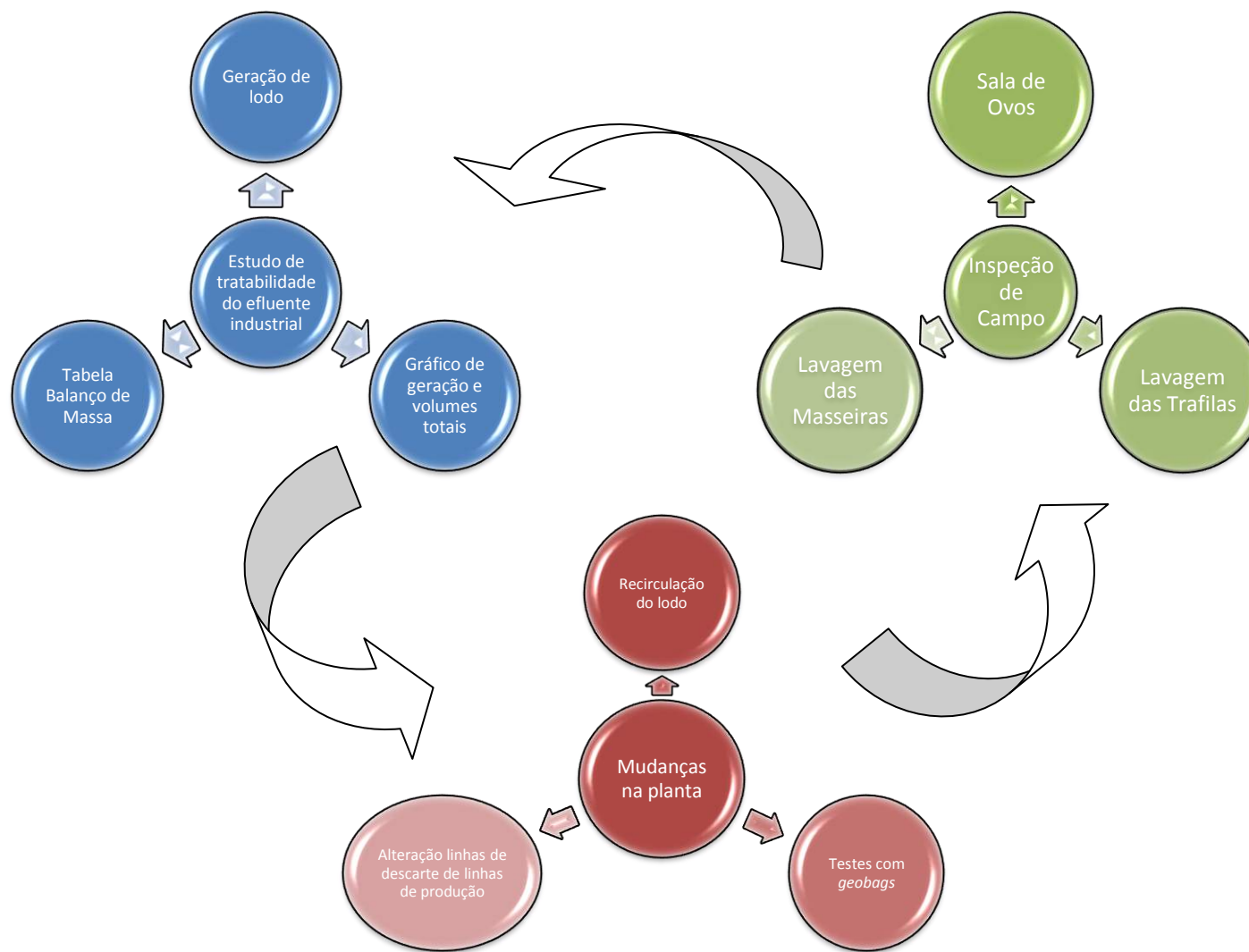
Com a planta da ETE em operação adequou-se o projeto às condições reais de geração de efluentes da IBMA. No período de Janeiro a Julho de 2017 houve um acompanhamento de todo o processo industrial de consumo de água e consequente geração de efluentes, bem como a rotina de operação da Estação de Tratamento.

### **5.1. Descrição das ações realizadas e análise do desempenho da ETE**

A seguir são descritas as diversas ações que foram realizadas com o intuito de: identificar os pontos significativos de geração de efluentes dentro da fábrica e resíduos indesejáveis (tais como: farinha, ovos, gordura, restos de massa alimentícia) para estação. Além disso, foram feitas análises de desempenho da ETE, bem como a adequação dos sistemas de tratamento, mudanças na planta e testes de novos equipamentos.

A Figura 5.1 ilustra um esquema representativo das ações executadas para a otimização do funcionamento da ETE no primeiro semestre de 2017, as quais serão detalhadas nos itens **5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3.**





**Figura 5.1: Esquema representativo das ações realizadas (descritas nos itens 5.1.1, 5.1.2 e 5.1.3) para a otimização da ETE (Fonte própria).**



### **5.1.1. Geração de volumes de efluente industrial e lodo**

Para tornar possível o dimensionamento da quantidade de efluente industrial gerada pela IBMA, bem como o volume total de efluente tratado e não tratado pelo sistema, foram elaboradas as Planilhas Nº 215 e 217 (Anexos 2 e 3). Os operadores da estação de tratamento são responsáveis pelo preenchimento diário desses documentos, onde são relatados aspectos operacionais da planta durante 24 (vinte e quatro) horas por dia, sendo eles: vazão horária, mudança de vazão, nível dos tanques, número de vezes de atuação da bomba de alimentação, paradas realizadas, resultados das amostras de caracterização física do efluente (pH, temperatura, sólidos sedimentáveis) e proporção de dosagem dos produtos químicos. A partir deste monitoramento diário, iniciou-se a elaboração dos gráficos de balanço de massa, volume total e geração de lodo do sistema de tratamento físico-químico de efluentes industriais.

Com os valores de vazão horária pode-se obter o volume diário bruto de efluente industrial gerado pela Indústria. Ou seja, para alcançar o volume total de efluente tratado gerado por dia pelo sistema físico químico, foi necessário considerar as perdas. Essas perdas correspondem ao volume perdido durante as paradas da planta. Teoricamente, como há uma produção contínua de efluentes industriais, não deveriam ocorrer paralisações no tratamento. Porém, o leito de secagem não consegue drenar o lodo físico químico gerado durante o tratamento, sendo necessária a parada do sistema de tratamento de efluente industrial para a remoção do lodo (com grande quantidade de água) para tambores de ferro, os quais são coletados posteriormente por caminhão a vácuo de empresa terceirizadas. Sendo assim, para o cálculo desse volume a ser descontado, considera-se o tempo de parada, bem como a vazão neste intervalo, calculando-se assim, a quantidade de efluente que deixou de ser tratado naquele período de tempo. Subtraindo-se o volume perdido do volume bruto, é possível obter o volume total de efluente tratado na ETE em um dia.

Além disso, na planilha, os operadores também podem relatar as vezes que a bomba de alimentação atuou, isto é, o volume descartado diretamente do Tanque 800 sem tratamento. Através de dados operacionais da bomba, do tempo de operação, bem como vazão correspondente ao momento de alimentação, obtém-se o volume de efluente que foi descartado sem passar pelo sistema de tratamento físico químico.

Conseqüentemente, o volume total de efluente industrial gerado pela fábrica em um dia, é a soma o volume total descartado/perdido com o volume total de efluente tratado. Compilando todas essas informações elaborou-se uma tabela de balanço de massa, ilustrada na Tabela 5.1

**Tabela 5.1: Compilação de informações para balanço de massa (Fonte: IBMA, 2017)**

**(a) Resultado do Volume de Efluente Industrial tratado e descartado em um dia:**

DESCARTE DO TANQUE 800									
Data	Início da operação	$\Delta H$ (m)	$\Delta t$ (min)	Nº de vezes que a bomba de alimentação o atuou	Vazão da bomba do industrial $Q_i$ (m <sup>3</sup> /h)	Volume de alimentação $V_a$ (m <sup>3</sup> )	Volume tratado no industrial (m <sup>3</sup> )	Volume descartado (m <sup>3</sup> )	Total de volume descartado (m <sup>3</sup> )
05/07/17	18:00:00	1,5	90	3	2	1,888	3	7,47	7,47

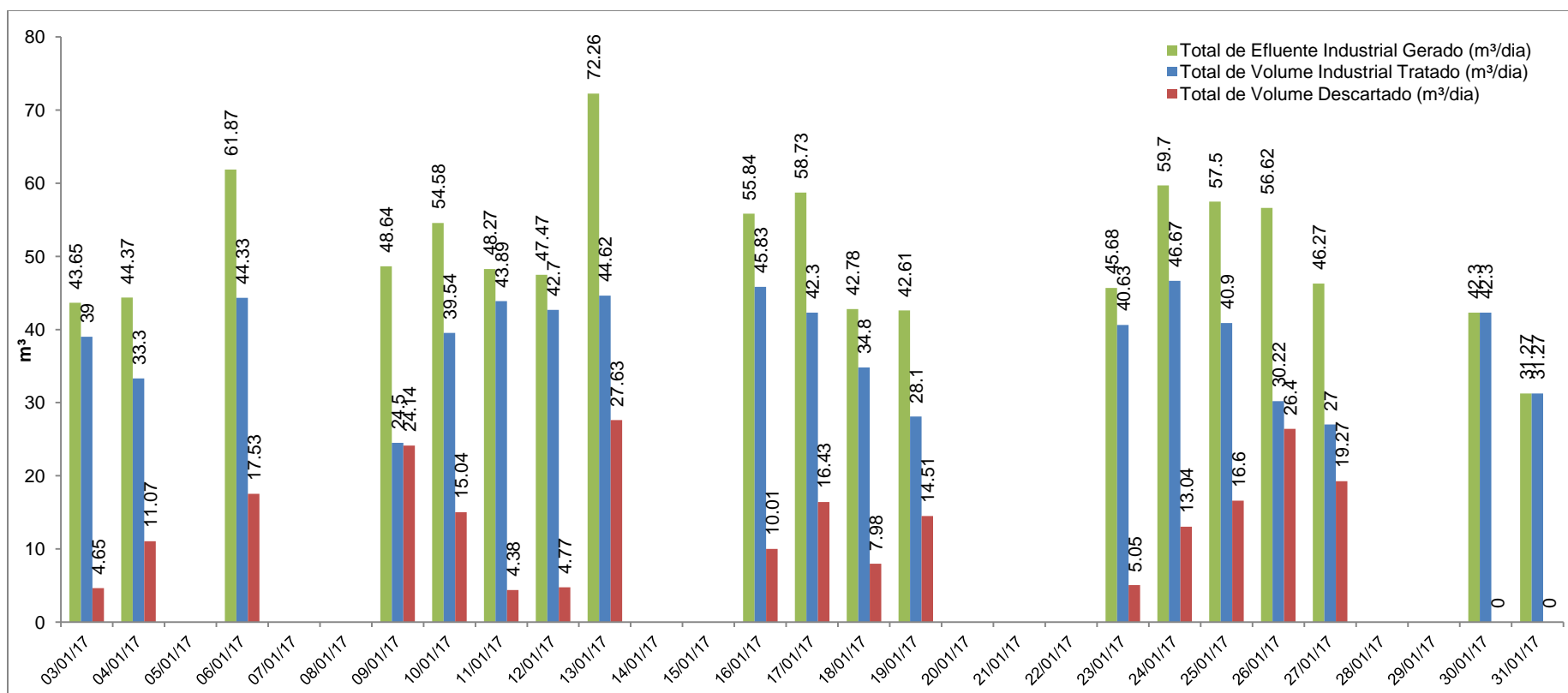
**(b) Volume a ser descontado do volume diário tratado por conta de paradas do sistema:**

VOLUME PERDIDO POR PARADA NO PROCESSO				
Início da parada	Tempo de parada (min)	Vazão no momento da parada (m <sup>3</sup> /h)	Volume a ser descontado (m <sup>3</sup> )	Volume a ser descontado total (m <sup>3</sup> )
18:00	45	2	1,5	1,5

**(c) Total de efluente gerado e tratado em um dia:**

BALANÇO DE MASSA		
Total de volume bruto tratado no industrial (m <sup>3</sup> /dia)	Total de volume tratado no industrial (m <sup>3</sup> /dia)	Total de efluente gerado (m <sup>3</sup> /dia)
43,5	42	49,47

Além disso, ao final do mês, todos os valores de volumes total, tratado e descartado são reunidos em gráfico, representando do desempenho do sistema de tratamento físico químico diário durante o mês. A Figura 5.2 ilustra esses resultados para o mês de Janeiro/2017.

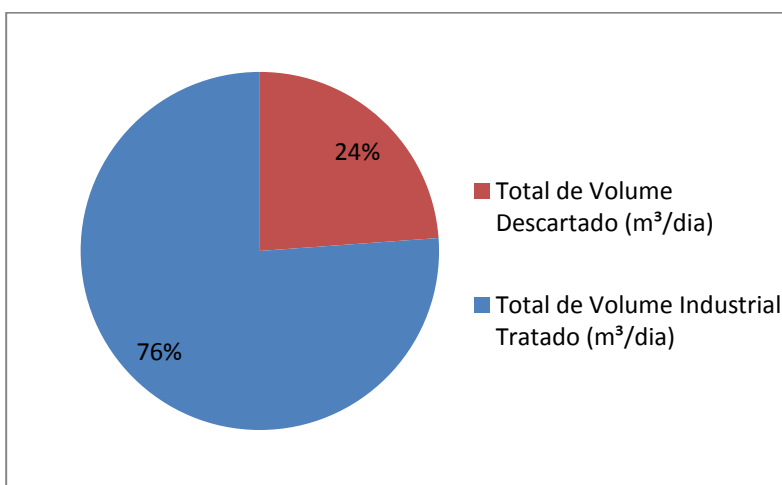


**Figura 5.2: Resultado da geração de efluente industrial total, tratado e descartado em m³ por dia durante o mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria).**

Com os resultados diários, pode-se verificar que o sistema do projeto de tratamento físico químico para os efluentes industriais foi subdimensionado. As vazões variam de 1,5 a 2 m<sup>3</sup>/h, cerca de duas a três vezes a vazão de projeto, sendo uma das causas de descarte do efluente, pois às vezes não é possível tratar toda vazão de alimentação do sistema.

Como parte do objetivo deste presente estudo, a adequação da operação da estação de tratamento em questão, contempla reduzir essa parcela de volume descartado, tendendo-a a zero. Uma sugestão proposta pela equipe responsável pela ETE, para a redução do volume de efluente industrial descartado seria o aumento da capacidade do Tanque 800 que atualmente é de 10 m<sup>3</sup> para um de 20 m<sup>3</sup>. Isso auxiliaria a equalização do efluente, manutenção da vazão em torno de 1,0 a 1,5 m<sup>3</sup>/h, além também de interromper o desligamento da Elevatória 2 nos finais de semana, permitindo um funcionamento contínuo da alimentação do sistema.

Complementarmente, realizou-se um somatório de total de: volume descartado, volume tratado pelo sistema físico químico, volume total de efluente industrial gerado pela fábrica. Dessa forma, pode-se avaliar a eficácia do tratamento físico-químico (eficácia essa determinada pela quantidade de efluente descartado, ou seja, sem descarte estaria atingindo-se 100% de eficácia). Em Janeiro de 2017, 24% do total de efluente gerado foi descartado sem tratamento, ou seja, não atendendo às exigências legais, as quais não permitem que uma água residuária seja lançada em um corpo receptor sem estar de acordo com os parâmetros estabelecidos (Tabela 4.2), como pode-se observar na Figura 5.3.



**Figura 5.3: Resultado em porcentagem do total de efluente gerado, tratado e descartado no mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria).**

O monitoramento diário das alturas do lodo do Tanques 805, 806 e 807, MBBR's 1 e 2 e Decantador Biológico resultou em um gráfico ilustrado na Figura 5.4. A partir dessa avaliação, pode-se estabelecer valores médios esperados em cada uma das unidades da ETE (como observado nas linhas em vermelho). Por exemplo, para os reatores MBBR's o valor determinado foi de um metro de altura, pois como foi avaliado na revisão bibliográfica, é importante um valor ideal de biomassa suspensa.

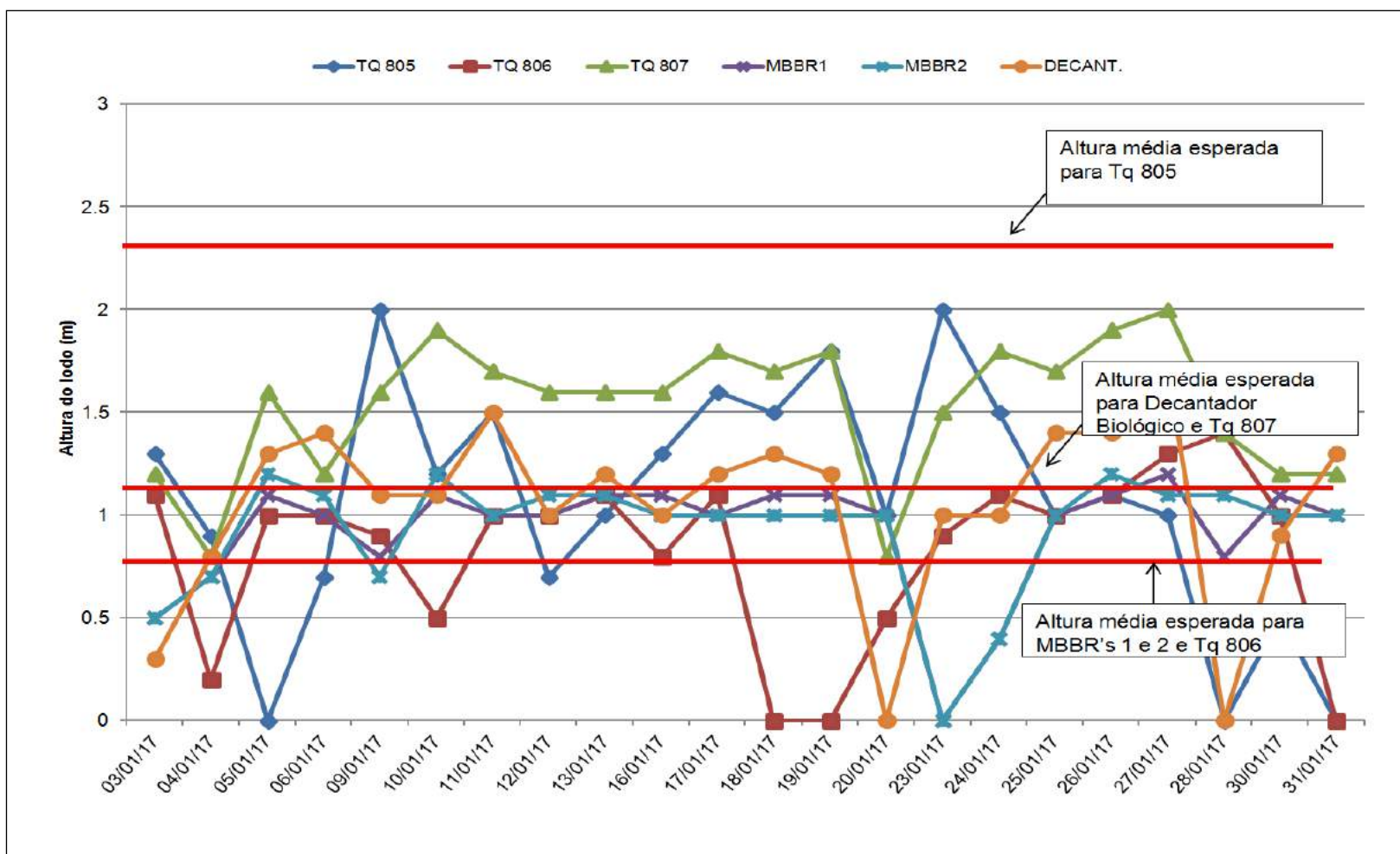


Figura 5.4: Resultado do monitoramento da altura lodo e as médias esperadas nos Tanques, Reatores MBBR e Decantador durante o mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria)

### 5.1.2. Ações de inspeção de campo e resultados

Os efluentes industriais gerados pela IBMA são provenientes das caldeiras, dos processos produtivos de biscoito e macarrão e da limpeza dos equipamentos, máquina e a própria fábrica.

Em Janeiro de 2017, iniciou-se um trabalho de inspeção em toda a fábrica pelos operadores da ETE e equipe responsável. Foram observados os processos industriais de produção de biscoitos e macarrão e como cada um poderia influenciar o funcionamento da ETE.

Primeiramente, o local de lavagem das masseiras (onde são colocados e misturados todos os ingredientes para fabricação do biscoitos e estão ilustradas na Figuras 5.5) foi apontado como uma possível fonte significativa de consumo de água dentro da fábrica. Essa lavagem é feita com uma mangueira de água quente e até Janeiro de 2017 as masseiras eram lavadas sem nenhum controle ou correta orientação, o que ocasionava o transporte de muitos resíduos (massa e farinha, principalmente) através da água residuária.

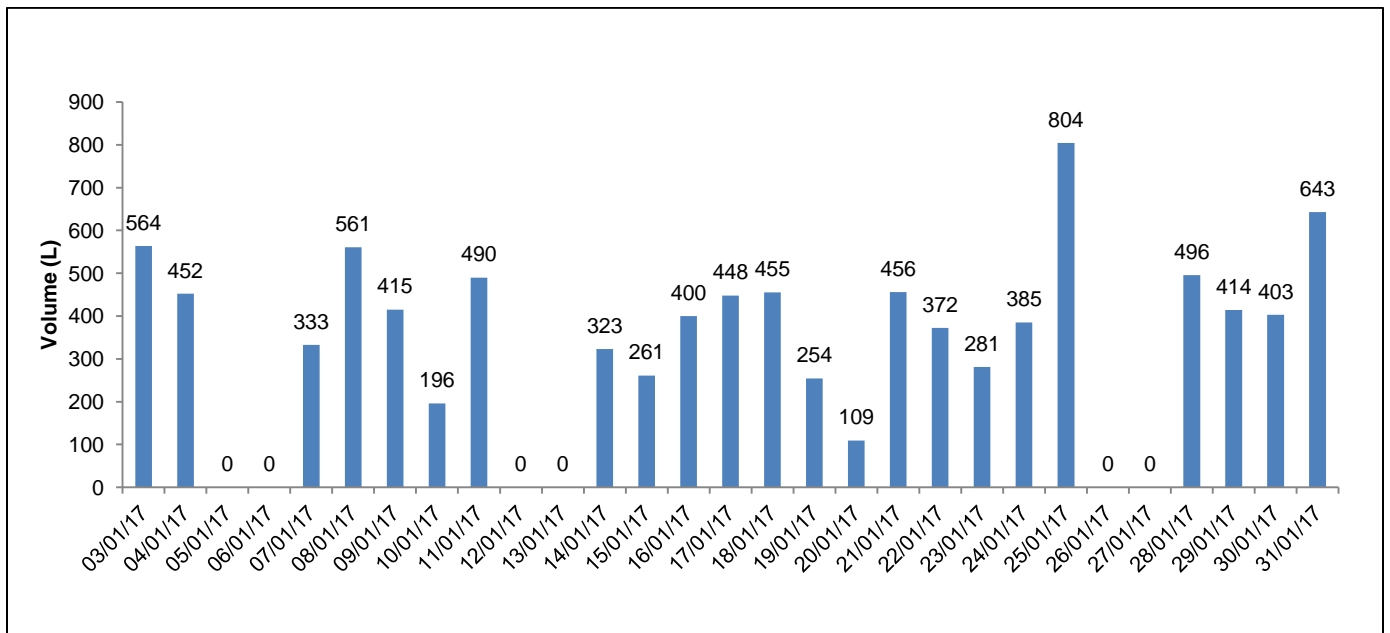


**Figura 5.5: Ilustração de uma masseira (Fonte própria)**

Assim, os operários de produção foram orientados a realizarem a raspagem de todas as masseiras, de forma a deixarem-nas sem resíduos oriundos da produção, utilizando a quantidade de água necessária para limpeza. A fim de tornar esse controle mais eficaz, na área de lavagem foi instalado um hidrômetro no local de saída de água da mangueira, o qual é medido todos os dias pelos operários da ETE. A Figura 5.6 ilustra o local. E o resultado dessa medição pode ser observado na Figura 5.7.



**Figura 5.6: Área de lavagem das masseiras e detalhe para o hidrômetro instalado (Fonte própria)**



**Figura 5.7: Resultado do monitoramento da lavagem das masseiras durante o mês de Janeiro de 2017 (Fonte própria).**



Essa supervisão da lavagem das masseiras estendeu-se durante todo o semestre, de forma a manter o controle tanto do consumo de água como da continuidade da limpeza prévia das masseiras.

No mês de março de 2017, outro local da fábrica foi apontado como fonte considerável de consumo de água: a sala de preparo de soluções - sêmola e ovos, ilustrada nas fotografias da Figura 5.8. Para a produção das massas alimentícias são preparadas nos tanques de mistura as soluções de: sêmola, a qual tem como constituintes: água, betacaroteno (pigmento carotenóide antioxidante) e ácido ascórbico; e ovos, que além destes, são acrescentados ovos em pó. Essas misturas são posteriormente incrementadas às receitas das massas dos diferentes tipos de macarrão produzidos.



**Figura 5.8 : Tanques de mistura das soluções de ovos e sêmola (Fonte própria)**

Além desta sala, a área de lavagem das trafilas também foi indicada como um local de alto potencial de consumo de água. Trafilas são equipamentos com a finalidade de determinar o molde da massa alimentícia (por exemplo, espaguete, penne, fusilli) como pode-se observar na Figuras 5.9.



**Figura 5.9: Trafilas de massas longas e curtas (Fonte própria).**

Há 2 (duas) máquinas de lavagem de trafilas ativas: B e C, ilustradas respectivamente na Figura 5.10.



**Figura 5.10: Máquina B e C de lavagem das trafilas (Fonte própria)**

Durante duas semanas do mês de março, monitorou-se: máquina B, máquina C e os tanques da sala de preparo das soluções. Foram reunidos resultados de medições de volume, paradas das máquinas e limpeza, como pode ser observado nas tabelas do Apêndice 1. O objetivo desta ação foi coletar informações a respeito do funcionamento das máquinas, bem como monitorar a rotina de drenagem dos tanques, além dos valores reais das vazões de água consumida e descartada desses dois locais do processo produtivo de massas alimentícias.

Com esses números, foi possível confirmar a efetiva participação da sala de preparo das soluções e da área de lavagem das trafilas na geração de efluentes industriais, cerca de 30% do volume total gerado.

Portanto, foram propostas algumas modificações no processo produtivo para alcançar a redução da produção de efluentes industriais, tais como:

- Instalação de boias nas máquinas de lavagem das trafilas

Foi instalada uma boia em cada das máquinas, a qual controla a vazão de entrada de água no equipamento de lavagem. Esta peça tornou-se fundamental para esse procedimento de lavagem pois quando a boia não está em funcionamento, ou seja, quando a trafila está aberta e sem controle de entrada de água, são descartados de 10 a 15 m<sup>3</sup>/dia por essas máquinas. A Figura 5.11 ilustra as boias instaladas.



**Figura 5.11: Máquina B operando com a boia em funcionamento, controlando a vazão de entrada e boia da máquina C (Fonte própria)**

- Revisão Gerenciamento da Produção de Massas Alimentícias

Após o monitoramento da geração de volume descartado pelos tanques de mistura das soluções de ovos e sêmola, foi proposta uma revisão no gerenciamento da produção. Anteriormente, toda solução restante nas máquinas era descartado caso estivesse programada outro tipo (ovos/sêmola) de massa ou a limpeza do equipamento. A recomendação foi a de empenharem-se de utilizar toda a solução antes da limpeza, ou dimensionar melhor a quantidade a ser colocada no tanque de mistura, evitando o desperdício e a consequente destinação dos resíduos de ovos/sêmola para a estação de tratamento.

A respeito deste direcionamento de resíduos de ovos para a estação de tratamento, através de inspeções diárias da equipe responsável pela ETE, todas as vezes em que os tanques com soluções de ovos foram drenados, foram observados efeitos negativos, tais como: forte odor na ETE e um material gelatinoso que causa o entupimento do filtro da bomba de alimentação do sistema físico químicos (como ilustrado na Figura 5.12).

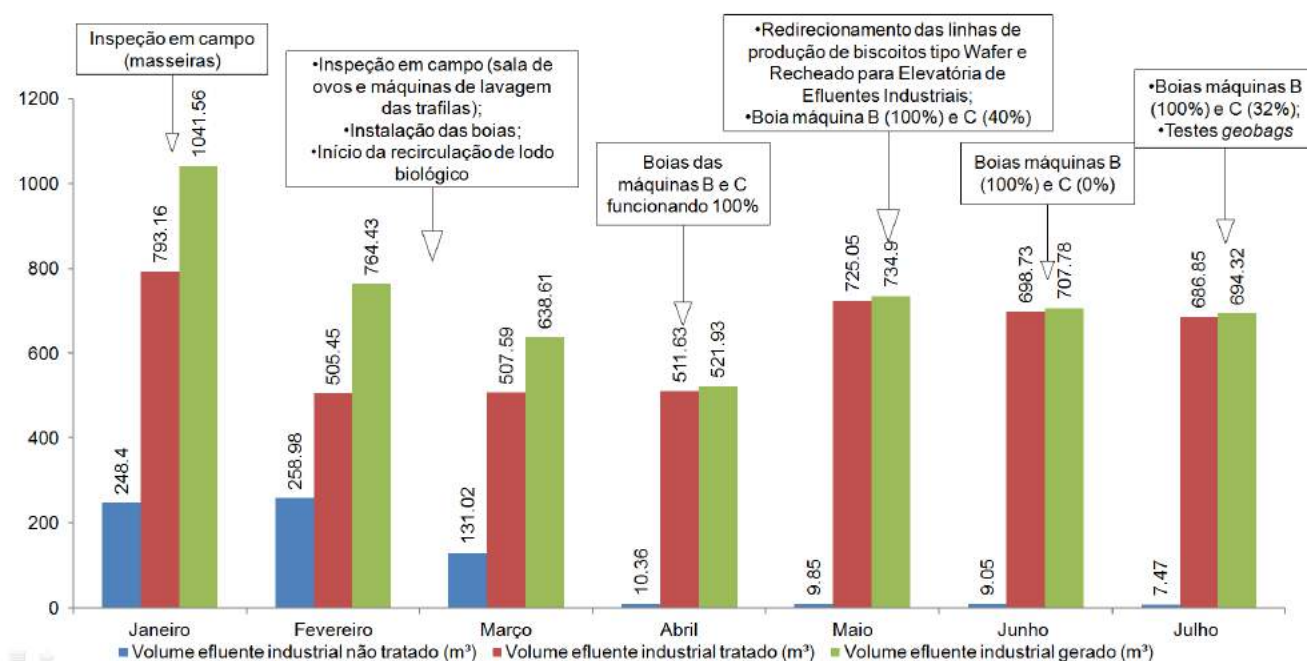


**Figura 5.12: Filtro da bomba de alimentação do sistema físico químico da ETE (Fonte própria)**



O monitoramento da sala de ovos e área de lavagem das trafilas, tornou-se parte da rotina dos operadores da ETE. Ter conhecimento sobre a drenagem dos tanques, conferir se as boias das máquinas B e C estão em adequado funcionamento, fazem parte dessa supervisão diária.

Os resultados dessas inspeções em campo e determinação de pontos significativos de consumo e geração de água puderam ser refletidos pelo acompanhamento do balanço de massa e volume total de efluentes industriais gerado, tratado e descartado. A Figura 5.13 representa um gráfico do comportamento do sistema de tratamento físico químico (volume total descartado, volume total tratado pelo sistema físico químico, volume total de efluente industrial gerado pela fábrica) no primeiro semestre de 2017.



**Figura 5.13: Acompanhamento do sistema de tratamento físico químico de efluentes industriais de Janeiro a Julho acrescentando as ações realizadas (Fonte própria).**

Comparando-se os meses de Janeiro com os meses de Fevereiro e Março, nota-se, uma redução considerável do volume gerado, assim como do volume descartado sem o devido tratamento. Essa diminuição ratifica o êxito das ações realizadas de controle de consumo de água nos processos industriais da fábrica.

O monitoramento dos locais e atividades (como a lavagem das masseiras e trafilas) os quais exigem uma maior demanda de água e conseqüente maior geração de efluentes permaneceu

contínuo durante todo o semestre. A supervisão diária dos equipamentos e da atividade dos operários de produção faz parte da rotina da equipe responsável pela ETE. Como parte dessa verificação, no dia 12/05/2017 foi constatado que a boia da máquina C de lavagem das trafilas não estava funcionando. Como já foi citado anteriormente neste presente trabalho, a máquina de lavagem das trafilas sem boia, pode consumir mais de 10 m<sup>3</sup> de água por dia. O resultado da falta deste equipamento pode ser observado na Figura 5.13 através do aumento do volume total de efluente industrial gerado no mês de Maio.

Esta máquina C de lavagem das trafilas permaneceu durante todo o mês de Junho sem sua boia. E portanto, comparando-se os meses de Maio e Junho, observa-se a perenidade da alta geração de efluentes industriais. A boia da máquina C só foi reinstalada no início de Julho pela equipe de hidráulica. Para o mês de Julho, é possível observar uma redução da geração total de efluentes industriais (Figura 5.13). Este resultado confirma a influência do controle de entrada de água no equipamento de lavagem, corroborando a aplicação da boia. Uma sugestão é a compra de boias reservas, pois caso alguma tenha algum dano ou precise de manutenção, a máquina de lavagem não ficará sem seu equipamento de controle de vazão.

Ainda através da Figura 5.13, pode-se observar que de Janeiro a Julho houve uma redução de cerca de 33,3% na geração de efluentes industriais, 13,4% do volume descartado e um aumento de 22% na eficácia do sistema de tratamento físico químico. A proposta é a continuação deste monitoramento e da orientação aos colaboradores para otimização de técnicas e redução do consumo de água, bem como a conscientização de seu uso.

Portanto, a identificação desses pontos significativos do processo fabril e sua supervisão diária são importantes para diminuir o consumo de água, e conseqüentemente reduzir a geração de efluentes industriais, alcançando uma maior eficácia do sistema de tratamento dos efluentes industriais. Com o volume de geração restringido e o efluente caracterizado, há controle dos picos de cargas (aumento de resíduos indesejáveis e de vazão) proporcionando a adequação do sistema de tratamento de toda a estação. Não apenas o sistema físico químico atua melhor, assim como o sistema biológico, o qual recebe um efluente industrial tratado dentro de parâmetros adequados.

### 5.1.3. Modificações na planta da ETE e nas linhas de descarte de efluentes

Para adequação da estação de tratamento, também foi necessária a avaliação do funcionamento de todo o sistema em si e seus equipamentos. O comportamento dos tanques, reatores, decantadores, elevatórias e das linhas de descarte que conduzem os efluentes industriais e sanitários foram analisados e determinadas modificações foram propostas na planta, na fábrica, assim também como testes de novos equipamentos.

- Mudanças na planta:

Analisando a Figura 5.4, apresentada no item anterior, referente ao mês de Janeiro, é possível observar que as metas estabelecidas das alturas de lodo não estavam sendo alcançadas. O Tanque 805 o qual recebia toda alimentação de efluentes (efluente sanitário proveniente das Elevatórias 1 e 3 e efluente industrial tratado do sistema físico químico) não conseguia acumular lodo, ou seja não estava conseguindo atingir maiores alturas de lodo e conseqüentemente arrastava sólidos para os demais compartimentos do sistema. Esses sólidos acarretavam em um aumento da carga orgânica, desestabilizando o tratamento biológico. As mídias encontravam-se frequentemente zeradas, e havia um aumento de lodo em suspensão, o que diminuía a qualidade do efluente de saída.

Com o intuito de resolver este problema do lodo, em fevereiro de 2017, foi instalado um sistema de recirculação e alteração na acumulação do lodo. O Tanque 806 passou a receber toda a alimentação, efluentes sanitário e industrial tratado. E foi feita uma manobra hidráulica para colocar em prática a recirculação do lodo dos Tanques 806, 807 e Decantador Biológico para o Tanque 805. Dessa forma, o Tanque 805 transformou-se em um tanque de armazenamento de lodo, retendo os sólidos, apenas sendo abastecido sob a vazão de recirculação do sistema. Essa vazão, comparada com a vazão de alimentação de efluentes totais, é bem menor, o que acarreta em uma redução da Taxa de Aplicação Superficial (TAS) - que relaciona a vazão de esgoto afluente e a área superficial útil do reator (DIELLE, 2014) melhorando a decantação. Para decantadores do tipo gravitacional essa taxa varia em torno de 50 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>.dia). O efeito desta alteração pode ser observado na Figura 5.14, referente ao mês de Março com o tanque 805 já com maiores alturas de lodo, conseguindo reter mais sólidos.

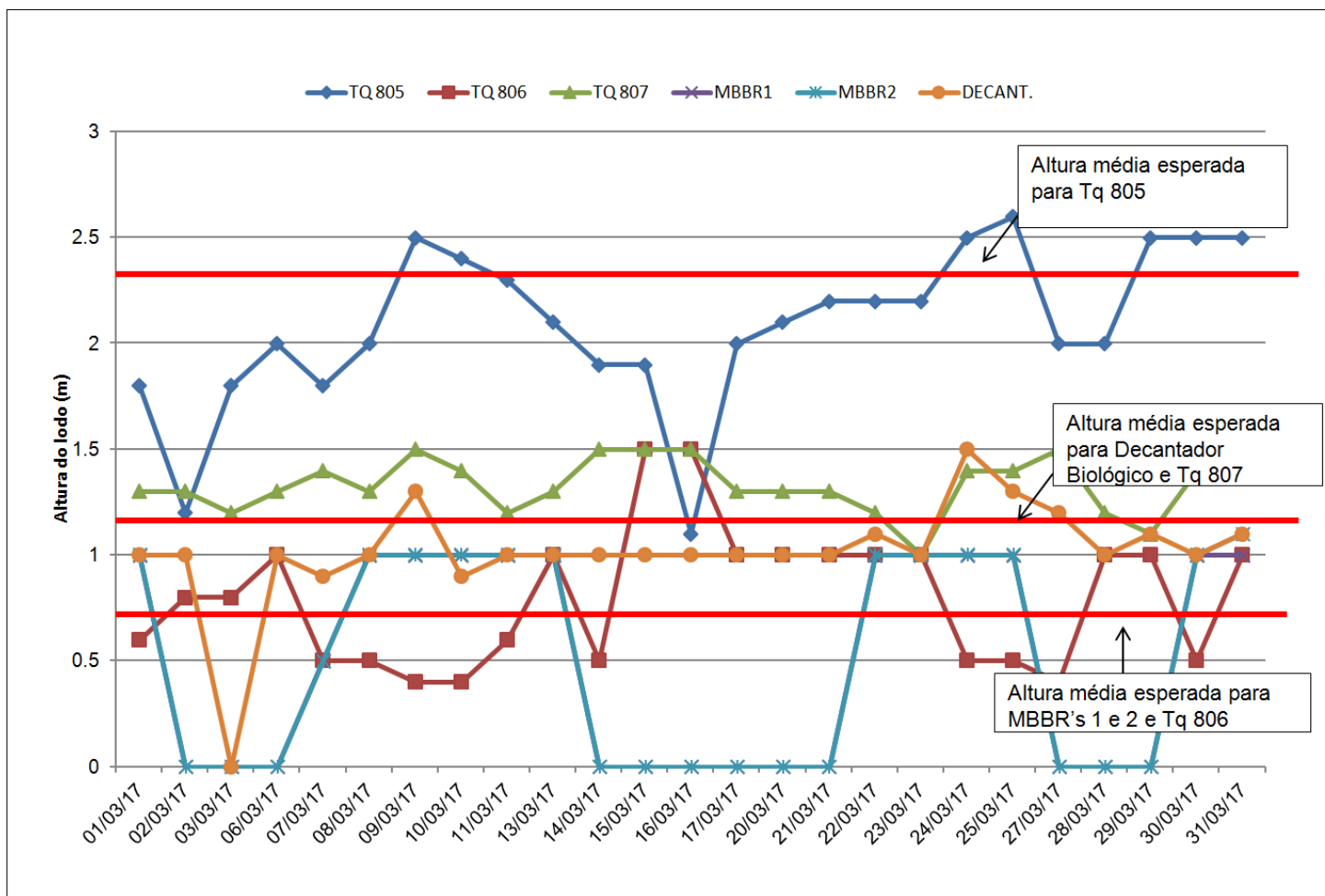
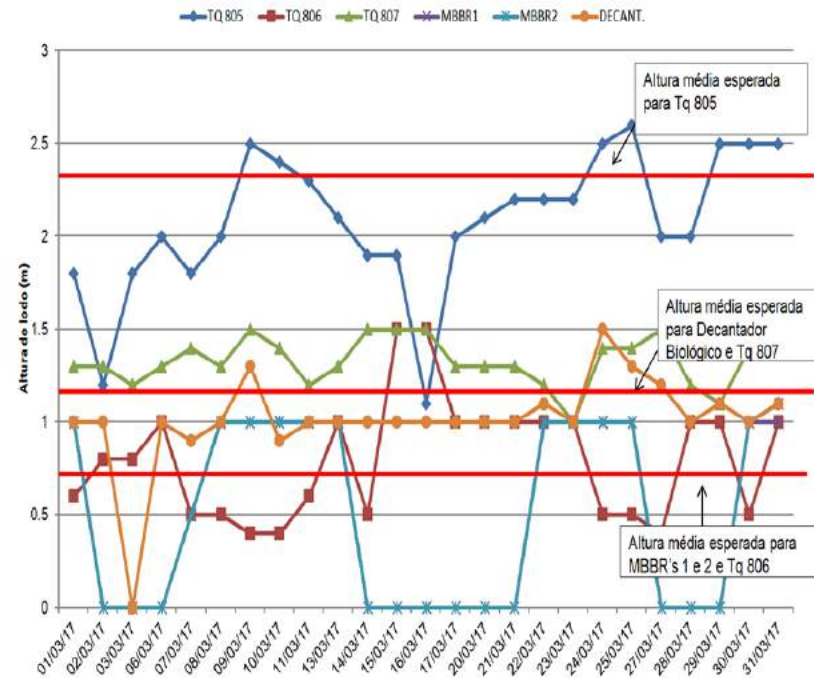
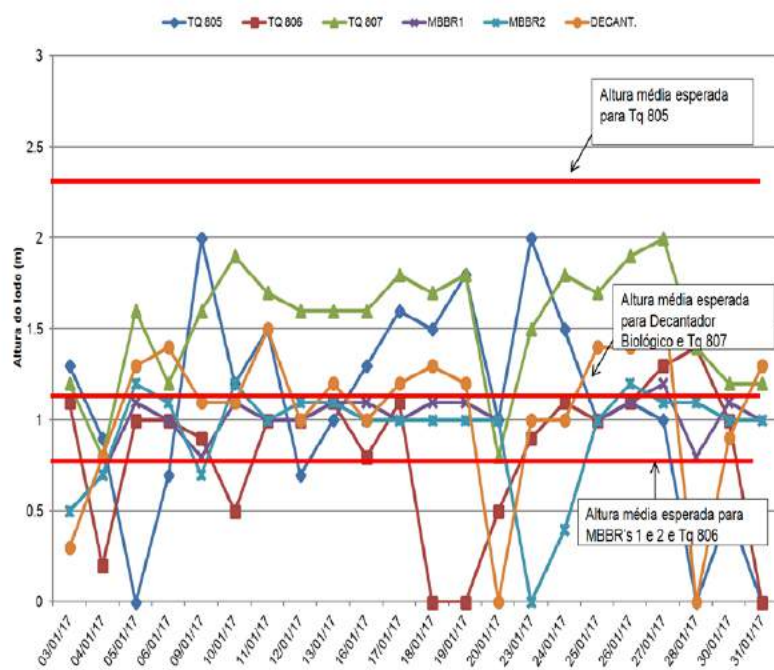


Figura 5.14: Geração de lodo referente ao mês de Março 2017, com as alturas médias estabelecidas sendo alcançadas(Fonte própria).





**Figura 5.15: Comparação da geração de lodo dos meses de Janeiro e Março, adequando-se às alturas médias estabelecidas (Fonte própria)**

- Alterações nas linhas de descarte do processo produtivo:

Conforme já citado anteriormente, são feitas amostras mensais de DBO e DQO por um laboratório especializado. A Tabela 5.2 apresenta os resultados de algumas dessas análises. Destacam -se os valores elevados de DBO e DQO na entrada do reator MBBR, apresentados nos meses de Março e Abril.

**Tabela 5.2: Resultados de DBO e DQO na entrada do reator MBBR e saída do decantador biológico nos meses de Março e Abril**

Entrada	09/03/17	06/04/17
DBO (mg/L)	505	8750
DQO (mg/L)	997	19891
Saída		
DBO (mg/L)	52	23
DQO (mg/L)	73	33

Essas concentrações altas, indicam um aumento da carga orgânica no sistema, a qual o sistema não está preparado para assimilar. Durante esses meses, foi a formação de placas/flocos de lodo na superfície do decantador biológico. O lodo parecia estar subindo ao invés de sedimentar-se (como pode ser observado na Figura 5.16).



**Figura 5.16: Decantador biológico com uma "manta" superficial de lodo: bulking do lodo (Fonte própria)**

De acordo com pesquisas realizadas sobre esse problema, encontrou-se que o incremento de carga orgânica no tratamento, pode resultar na formação de um *bulking viscoso*, fenômeno onde ocorre uma produção de polissacarídeo extracelular pelas bactérias presentes no sistema, conferindo característica gelatinosa ao lodo biológico, com capacidade de retenção de água, prejudicando sua compactação e sedimentabilidade (JENKINS et al., 2003; Environmental Leverage, 2010; LOMBARDI, et al., 2015). Esse *bulking* desequilibra o sistema de tratamento biológico, reduzindo a eficiência do sistema. Pelas descrições das consultas feitas, era exatamente o que estava ocorrendo no sistema de tratamento da Indústria de Biscoitos e Massas em questão.

A partir dessas informações coletadas, a equipe responsável pela ETE iniciou uma averiguação de todo o caminho dos efluentes industriais e sanitários. Conforme inspeções de campo e relatos de pessoal que conhece as linhas de descarte (as plantas das linhas não foi divulgada e não está disponível, pois durante os 67 anos de existência da empresa, diversas modificações foram feitas, porém os layouts não foram atualizados) verificou-se que o descarte das linhas de produção de biscoitos tipo *Wafer* e tipo *Recheado* estava sendo conduzido para as elevatórias de efluentes sanitários.

Dessa forma, o efluente industrial sem o devido tratamento estava entrando diretamente em contato com o sistema de tratamento biológico, sendo, provavelmente, o responsável pelo aumento da carga orgânica no sistema. Portanto, sugeriu-se o redirecionamento dessa linha de descarte para a Elevatória 2, de efluentes industriais. A proposta de recondução foi aceita e realizada no final do mês de Maio pela equipe de Obras Civas e Hidráulica da fábrica.

Complementarmente, estava ocorrendo um aumento da concentração de materiais sedimentáveis durante as análises em campo com o cone *Ihmoff*. A partir dos relato fotográfico apresentado na Figuras 5.17, foi possível perceber que estava ocorrendo arraste de sólidos dos Tanques 806 e 807 para a entrada do Reator MBBR.

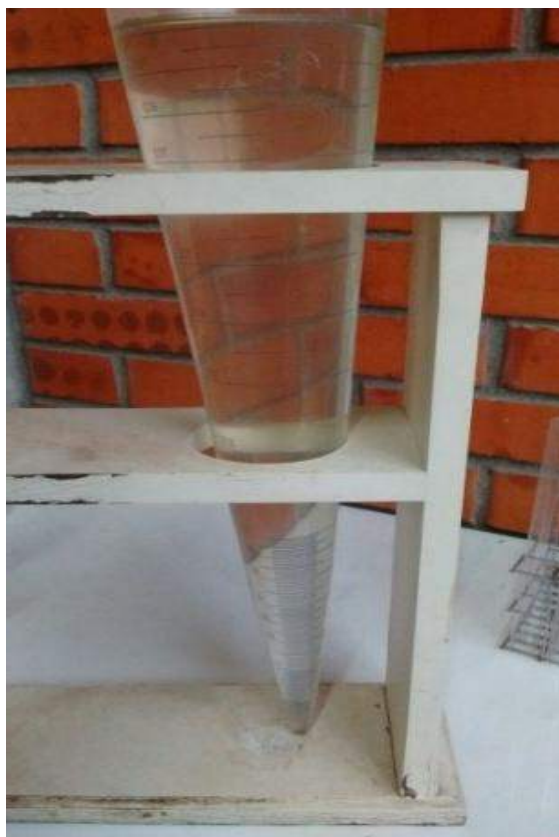


**Figura 5.17: Alta concentração de sólidos sedimentáveis na entrada do Reator MBBR (Fonte própria)**

Esse arraste provavelmente estava sendo ocasionado pelo aumento de carga poluidora, proveniente dos efluentes industriais que estavam sendo direcionados para o Tanque 806 erroneamente. Com uma maior concentração de matéria orgânica no sistema, reduz-se a quantidade de nutrientes disponíveis, aumentando a quantidade de polissacarídeos extracelulares e resultando no *bulking* do lodo. A fim de solucionar essa questão, como medida teste, foi realizada uma dosagem muito pequena de nutrientes Nitrogênio (Ureia) e Fósforo (Trifosfato) no reator biológico (MBBR). O resultado foi positivo, pois comparando-se os relatos fotográficos (Figuras 5.18 e 5.19) das análises do efluente proveniente da amostra da saída do decantador, foi possível observar a diminuição da concentração de sólidos sedimentáveis após a dosagem de nutrientes.



**Figura 5.18: Análise de sólidos sedimentáveis da amostra de saída do decantador biológico antes da dosagem de nutrientes (Fonte Própria)**



**Figura 5.19: Análise de sólidos sedimentáveis da amostra de saída do decantador biológico depois da dosagem de nutrientes(Fonte Própria)**

Com a recondução das linhas de descarte e a dosagem de nutrientes, no mês subsequente já foi possível observar uma significativa redução dos valores de DBO e DQO de entrada no reator MBBR e saída do decantador, como pode ser observado na Tabela 5.3, corroborando que as medidas foram certas e eficientes.

**Tabela 5.3: Resultados das análises de DBO e DQO na entrada do reator MBBR e saída do decantador referente aos meses de Março, Abril, Maio e Junho.**

Entrada	09/03/17	06/04/17	05/05/17	01/06/17
DBO (mg/L)	505	8750	3790	358
DQO (mg/L)	997	19891	7430	664
Saída				
DBO (mg/L)	52	23	54	28
DQO (mg/L)	73	33	91	28

Recomenda-se a realização dessas análises de DBO e DQO de dois em dois dias pelo próprio laboratório da empresa, para acompanhar a concentração de matéria orgânica na entrada do



sistema biológico e poder atuar prontamente em dosagens de soluções de nutrientes, evitando o arraste de sólidos para os reatores MBBR's. Faz-se necessária a compra de determinados materiais e equipamentos, mas o investimento seria revertido em maior eficiência do sistema. Ao executar essas análises *in loco* e com maior frequência, pode-se detectar um possível pico de concentração de matéria orgânica na entrada do sistema e prontamente realizar dosagem de nutrientes de forma a evitar o arraste de sólidos para os MBBR's e *bulking* do lodo, garantindo a geração de um efluente tratado conforme os parâmetros determinados pelas Diretrizes do INEA.

Ainda a respeito desse arraste de sólidos, e desta forma, enquadrar o efluente ao valor limite de sólidos sedimentáveis (1mL/L), sugere-se a realização de ajustes da calha de saída do decantador biológico. No Anexo 5 deste documento, está apresentada o layout de mudanças propostas pela empresa terceirizada ainda responsável pela estação de tratamento. O projeto visa que o efluente tratado seja captado pela superfície (e não mais pelo meio, como é feito atualmente) do decantador biológico através de um vertedor.

Outra inconveniência relatada pela equipe responsável é o funcionamento desregulado do medidor de vazão do sistema biológico, que frequentemente costuma reproduzir resultados negativos - os quais não são possíveis, pois não há valores abaixo de zero de vazão. Propõe-se a realização de ajustes da linha de alimentação dos reatores MBBR's. De acordo com o Manual de Operação e Instalação do "Medidor e transmissor de vazão - Série VMS" redigido pela empresa Incontrol Indústria e Comércio de Medidores de Vazão e Nível LTDA., especifica-se que o medidor de vazão deve ser instalado a uma distância superior a 10 (dez) vezes o diâmetro da tubulação, para que fique longe de qualquer acessório na linha tanto a montante como à jusante, de forma que não haja um fluxo pulsante. Portanto seguindo as instruções determinadas no manual do medidor de vazão magnético serão as interferências recorrentes poderão ser evitadas. O layout da proposta de ajuste está representado no Anexo 5 deste documento.

A respeito do layout do sistema de tratamento físico químico, uma adversidade é a capacidade dos leitos de secagem. Atualmente é necessária a parada do sistema físico químico para a realização da drenagem do lodo desses leitos, pois os mesmos possuem 350 litros cada um e como a estação tem trabalhado com vazões de 1500 a 2000 L/h, não há tempo suficiente para que o lodo-sedimente.

Foi proposta a compra de *geobags* fornecidos pela SNatural (informações sobre o produto vide Anexo 6), dos tipos 1 e 3. No início do mês de Junho, foram realizados alguns testes, porém como podem ser observadas as fotos na Figura 5,20, a alternativa não foi eficaz.



**Figura 5.20: Teste dos geobags (Fonte própria)**

Apesar do resultado negativo dos testes, a IBMA resolveu investir nessa alternativa de implantação dos *geobags*, com o intuito de solucionar a ineficiência de drenagem do lodo. Adicionalmente, o *geobag* seria uma maneira mais sustentável e econômica de destinação final. O objetivo é reter apenas os sólidos, deixando com que a água evapore aos poucos. Com isso, um menor volume de lodo seria gerado e um menor número de caminhões a vácuo seriam necessários para retirada de lodo.



Dessa forma, a fim de buscar o tipo de *geobag* mais adequado ao lodo físico químico gerado, foi realizado o envio de amostras para que o fornecedor pudesse fazer uma análise mais detalhada e indicar modelo, tamanho e material mais apropriados para a situação. E não apenas do físico químico, mas amostras do lodo biológico também foram destinadas para o fornecedor, pois o sistema biológico também gera um excedente de lodo. Um laudo técnico (vide Anexo 7) foi elaborado pelo fornecedor, descrevendo o um *geobag* específico para a ETE em questão, capaz de reter em torno de 290 kg de sólidos a cada 1 m<sup>3</sup> de efluente industrial. Porém a compra ainda não foi realizada.

Outra proposta (que pode até ser feita paralelamente à implantação dos *geobags*) seria o aumento da capacidade desses leitos). Acredita-se que dois leitos de 700 litros cada já seriam suficientes atualmente, são depositados em tambores de ferro, cerca de 700 litros de lodo por dia, os quais são posteriormente coletados por empresa terceirizada em caminhões a vácuo). Essa medida permitiria a drenagem natural do lodo, pois enquanto um estivesse secando (em torno de 24 horas já seria suficiente), o outro leito estaria recebendo o lodo físico químico, suspendendo dessa forma as paradas do sistema.

Além disso, as bombas dosadoras de produtos químicos trabalham diariamente em 100% de sua capacidade, por conta do subdimensionamento do sistema. Os operadores até realizam o *jar test* para determinar a quantidade dos reagentes, porém os resultados não condizem com a realidade do sistema de tratamento. Portanto, recomenda-se o aumento da capacidade do Tanque 800 como já foi citado anteriormente, pois acredita-se que além de diminuir o descarte, um maior volume equalizado, reduziria a vazão horária da ETE e assim, o funcionamento das bombas também poderia ser controlado. Por outro lado, sugere-se a substituição dessas bombas por outras mais adequadas às vazões atuais do sistema. Além disso, a compra de todo equipamento de *jar test* seria interessante para que valores mais precisos de dosagem de produtos químicos fossem estabelecidos.

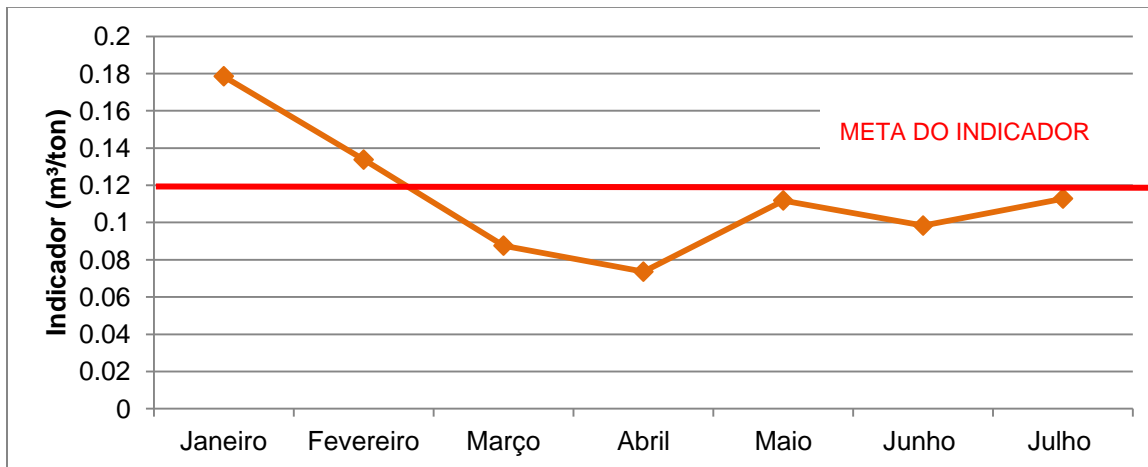
## **5.2. Indicador de desempenho da ETE**

Em uma empresa, indicadores são uma ótima forma de estabelecimento de metas para os diferentes setores. Além disso, acabam sendo uma maneira simplificada de demonstração de resultados dos processos, sendo acessível até mesmo para aqueles que não possuem o conhecimento técnico específico dos processos. Mesmo às vezes sendo mais teóricos, podem

trazer visibilidade para o setor, bem como ser um incentivo à melhorias para o alcance da meta determinada.

A partir deste ano de 2017, a IBMA com o auxílio de uma consultoria externa, iniciou um trabalho de determinação desses indicadores. Por exemplo: indicadores de produção de biscoitos, definição de porcentagem de perdas admitidas no processo, entre outros. A respeito do consumo de água da IBMA, foram determinadas algumas metas. A geração de efluentes industriais está diretamente correlacionada à esta demanda. Portanto, dentro desta categoria, foi proposto um indicador da ETE, associando o volume total de efluentes industriais ( $m^3$ ) e a quantidade total de produção (toneladas) de toda a fábrica (biscoitos e massas).

Dessa forma, compilando-se as informações de: volume total de efluente industrial gerado ( $m^3$ ) a cada mês no primeiro semestre de 2017 (apresentado na Figura 5.21) e os valores de produção total (biscoitos e massas) informados na Tabela 4.1, foi criado o indicador da ETE ( $m^3/ton$ ) conforme pode ser observado na Figura 5.21. Além disso, foi feita uma média dos últimos meses, obtendo-se o valor de 0,12. A partir disso, este valor, foi adotado como meta deste indicador.



**Figura 5.21: Resultados do Indicador: Total Efluente Industrial ( $m^3$ ) / Produção Total (ton) durante o primeiro semestre de 2017 e sua meta estabelecida (Fonte própria)**

Apesar da geração de efluentes industriais estar diretamente correlacionada com a produção de biscoitos e massas, ter um indicador que leva em conta apenas a produção total, acaba não representando diretamente como e quanto cada processo industrial influencia particularmente na geração de efluentes. Por exemplo, um indicador ideal seria: Indicador de biscoito tipo

recheado: geração de efluentes (linha de descarte do recheado) (m<sup>3</sup>)/ produção total de biscoito recheado (ton).

A IBMA produz diferentes tipos de biscoito e de macarrão, e cada um possui características predominantes. Por exemplo, a produção de biscoitos do tipo recheado consome muito mais água do que a produção de biscoitos laminados doces. Por serem diferentes recheios (chocolate, limão, morango, etc) há necessidade de lavagem dos tanques de recheio, bem como todos os equipamentos por onde ele passa, para que não haja resquícios de um recheio diferente na produção. Da mesma forma na produção de macarrão, onde há tipos que levam ovos em sua composição, outros não. Quando levam ovos, a lavagem dos tanques de preparo das soluções faz parte da rotina de produção como foi visto anteriormente.

Porém a quantificação do consumo de água por produto é impossível pois as linhas de descarte não são separadas e não há hidrômetros instalados. Portanto, fica difícil destrinchar esse indicador por produto, e conseqüentemente faz-se necessário continuar utilizando a produção total para este o Indicador da ETE.

## 6. Conclusão

Com o conjunto de dados obtidos através do monitoramento do funcionamento da ETE da IBMA, foi possível analisar o desempenho da mesma.

Portanto, conclui-se que com:

- Investimentos da IBMA por melhorias na eficácia do sistema de tratamento da ETE;
- Continuidade das ações de inspeção de campo: monitoramento das área de lavagem das masseiras, trafilas e sala de ovos;
- Supervisão diária de todo o processo industrial, de forma a apontar pontos expressivos de consumo de água;
- Gestão sustentável da produção de biscoitos e massas alimentícias e conscientização dos operadores de produção, bem como seus gestores;
- Implementação das recomendações, tais como: aumento da capacidade do Tanque 800, uso de *geobags* para drenagem de lodo e mudança na calha de saída do sedimentado.

Torna-se viável o cadastramento da ETE da IBMA junto ao sistema PROCON - Água (DZ-942.R-7 – Diretriz do Programa de Autocontrole de Efluentes Líquidos; Exemplo da Tabela usada para monitoramento pode ser analisada no Anexo 4 deste documento). Este é o objetivo futuro para a ETE, pois ao estar em consonância com as exigências legais, garante-se um funcionamento ótimo do sistema, além da responsabilidade ambiental da Indústria com a preservação dos recursos hídricos.

## 7. Referências Bibliográficas

ABIMAPI - Associação Brasileira das Indústrias de Biscoitos, Massas Alimentícias e Pães & Bolos Industrializados (2017). *Resumo Estatísticas - Mercado Nacional*. Disponível em <<https://www.abimapi.com.br/estatistica-geral.php>>. Acesso em : 15 jul. 2017

ABNT (Associação Brasileira de Normas Técnicas), 2011, NBR 12209 - Elaboração de projetos hidráulicos-sanitários de estações de tratamento de esgotos sanitários. 2. ed. Disponível em <[www.abnt.org.br](http://www.abnt.org.br)>. Acesso em ago. 2015.

AKUNNA, J.C., BIZEAU, C., MOLETTA, R. (1993). "Nitrate and nitrite reductions with anaerobic sludge using various carbon sources: glucose, glycerol, acetic acid, lactic acid and methanol". *Water Research*, Vol.27 (8), pp. 1303-1312.

ALMADA, R. B., Avaliação de Reatores de Leito móvel com biofilme (MBBR) em série para tratamento de diferentes efluentes de refinaria de petróleo visando ao reúso industrial. Tese de D. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2012.

ANA (Agência Nacional de Águas), Demandas do Uso Consuntivo, Disponível em: <http://conjuntura.ana.gov.br/>. Acesso em: Julho, 2017.

ANOXKALDNES, 2015, *Water Treatment Technologies*. Disponível em <[technomaps.veoliawatertechnologies.com/mbbr/em](http://technomaps.veoliawatertechnologies.com/mbbr/em)>. Acesso em : 10 ago. 2017.

Aslan, S.; Cakici, H., 2007. Biological denitrification of drinking water in a slow sand filter. *J Hazard Mater*; 148(1-2): 253–258.

BARNES D.; BLISS, P. J. (1983) – Biological control nitrogen in wastewater treatment – E. & F. N. Spon, Cambridge, Great Britain. 146 p.

BASSIN, J. P., DEZOTTI, M., SANT'ANNA, G. L, 2011, "Nitrification of industrial and domestic saline wastewaters in moving bed biofilm reactor and sequencing batch reactor", *Journal of Hazardous Materials*, v. 185, n. 1, pp. 242–248.

BIRCHAL, S. O. Empresa e indústria alimentícia no Brasil. Belo Horizonte: IBMEC, 2004.

CALDERÓN, K., MARTÍN-PASCUAL, J., POYATOS, J. M., RODELAS, B., GONZÁLEZ-MARTÍNEZ, A., GONZÁLEZ-LÓPEZ, J. , 2012, “Comparative analysis of the bacterial diversity in a lab-scale moving bed biofilm reactor (MBBR) applied to treat urban wastewater under different operational conditions”, *Bioresource Technology*, v. 121, pp. 119–126.

CAMMAROTA, M. C. (1998). “*Produção de exopolímeros e adesão microbiana*”. Tese de D.Sc, IQ/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

CARMINATI, H. B., Modelagem e Otimização de Sistemas MBBR para Tratamento de Efluentes. Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2016.

CAVALCANTI, J. E. W. de A., Manual de tratamentos de efluentes industriais . Ed. Engenho Editora Técnica, São Paulo/SP, 454p , 2009.

CIMM, 2015, *Efluentes Industriais*. Disponível em: <[https://www.cimm.com.br/portal/material\\_didatico/3669-efluentes-industriais#](https://www.cimm.com.br/portal/material_didatico/3669-efluentes-industriais#)>. Acesso em 20 jul. 2017

Companhia de Águas e Esgotos do Estado do Rio Grande do Norte - CAERN. Estação de Tratamento de Ponta Negra e de João Câmara. Disponível em <<http://www.caern.rn.gov.br/Conteudo.asp?TRAN=ITEM&TARG=12037&ACT=null&PAGE=0&PARM=null&LBL=null>>. Acesso em 20 jul 2017

CONCEIÇÃO, J. C. P. R. Radiografia da indústria de alimentos no Brasil: Identificação dos principais fatores referentes à exportação, inovação e ao *food safety*. Texto para discussão 1.303, IPEA, 2007.

COSTA JUNIOR, J. F. ,Políticas Públicas de Defesa da Concorrência: O Caso da Indústria Alimentícia do Brasil. Trabalho de Conclusão do Curso de Gestão de Políticas Públicas, Escola de Artes, Ciências e Humanidades, Universidade de São Paulo - USP, São Paulo, SP, Brasil, 2009.

DAS USA Biomídias. Disponível em <<http://www.dasusa.com/whyamb.htm>>. Acesso em 18 ago 2017

DEZOTTI, M., BASSIN, J.P., BILA, D.M. et al., 2008, Processos e técnicas para o controle ambiental de efluentes líqüidos. 1ª Edição, E-papers,306p., Rio de Janeiro.

DEZOTTI, M., SANT'ANNA JR, G. L., BASSIN, J. P., 2011, Processos biológicos avançados para tratamento de efluentes e técnicas de biologia molecular para O estudo da diversidade microbiana, 1ª Ed., Rio de Janeiro, Ed. Interciência Ltda.

DIELLE, E. F., Estudo da Nova Norma Brasileira de Projeto de Estação de Tratamento de Esgoto - NBR 12.209/2011. Trabalho final do curso de Engenharia Sanitária da Universidade Federal de Juiz de Fora, UFJF, Juiz de Fora, MG, Brasil, 2014.

DINCER, A. R., KARGI, F., 2001, "Performance of rotating biological disc system treating saline wastewater", *Process Biochem.*, v. 36, 8–9, pp. 901–906.

Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto de Sistema de Tratamento de Efluentes, 2014

Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto Executivo de Tratamento de Esgoto Sanitário, 2014

FERREIRA, E, S. "*Cinética Química e Fundamentos dos Processos de Nitrificação e Desnitrificação Biológica*". XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – AIDIS. 2000

FERREIRA, Rafael (2013). O que é Estresse Hídrico? Disponível em: <<http://www.oeco.org.br/dicionario-ambiental/27678-o-que-e-estresse-hidrico/>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.

FIESP/DEPECON, 2017. Panorama da Indústria de Transformação Brasileira. Disponível em: <<http://www.fiesp.com.br/indices-pesquisas-e-publicacoes/panorama-da-industria-de-transformacao-brasileira/>> e <file:///C:/Users/Natalia%20PC/Downloads/panorama-da-industria\_14a-edicao\_.pdf>. Acesso em 01 ago. 2017

FOGAÇA, Jennifer Rocha Vargas. "Tipos de tratamento de efluentes"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/quimica/tipos-tratamento-efluentes.html>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.

FOUAD, M., BHARGAVA, R. A simplified model for the steady-state biofilm-activated sludge reactor. *Journal of Environmental Management*, v. 74, pp. 245–253, 2005.

FREITAS, Eduardo de. "Industrialização do Brasil"; *Brasil Escola*. Disponível em <<http://brasilecola.uol.com.br/brasil/industrializacao-do-brasil.htm>>. Acesso em 01 de outubro de 2017.

GEBARA, F., "Activated sludge biofilm wastewater treatment system", *Water Research*, v. 33, pp. 230–238, 1999.

GUSS, 2011. Tratamento de esgotos - Parte III. Disponível em <<http://www.josianeguss.com/2011/11/tratamento-de-esgoto-parte-iii.html>>. Acesso em 23 ago 2017

Hänel, H. and Raether, W. (1988), A More Sophisticated Method of Determining the Fungicidal Effect of Water-Insoluble Preparations with a Cell Harvester, Using Miconazole as an Example.

HENZE, M., HARRE, P., JANSEN, J.C., ARQIN, E., 1997, Wastewater Treatment – Biological and chemical process. Springer Verlag, 2ª edição, Alemanha.

HESPANHOL, I., MIERZWA, J. C., RODRIGUES, L. D. B., 2007, Manual de Conservação e Reúso de água na Indústria; Divisão de Documentação e Normas. Disponível em: [http://www.siamfesp.org.br/novo/downloads/cartilha\\_reuso.pdf](http://www.siamfesp.org.br/novo/downloads/cartilha_reuso.pdf). Acesso em: Dezembro, 2011.

IBMA, 2017. Indústria de Biscoitos e Massas Alimentícias. Dados não disponibilizados para a consulta pública.

INEA (Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro), 2007, DZ-205.R-6 - Diretriz de controle de carga orgânica em efluentes líquidos de origem industrial. Disponível em <[www.inea.rj.gov.br](http://www.inea.rj.gov.br)>. Acesso em set. 2015.

INEA (Instituto Estadual do Ambiente do Estado do Rio de Janeiro), 1986, NT-202.R-10 - Critérios e padrões para lançamento de efluentes líquidos. Disponível em <[www.inea.rj.gov.br](http://www.inea.rj.gov.br)>. Acesso em set. 2015.

ITAL, 2016. Plataforma de Inovação Tecnológica - Evolução da Indústria de Alimentos e Bebidas no Brasil. Disponível em <<http://www.alimentosprocessados.com.br/industria-evolucao-industria-de-alimentos-e-bebidas-no-brasil.php>>. Acesso em 16 jul. 2017



JENKINS, D., RICHARD, M., DAIGGER, G., 2003. *Manual on the causes and control of activated sludge bulking, foaming and others solids separation problems*. USA. 190p.

JORDÃO, E, P; VOLSCHAN, I, J; MINEGATTI, D, V, O. "A Variante "MBBR" de Lodos Ativados – Uma Alternativa Vantajosa". VI Congresso da IV Região da Associação Interamericana de Engenharia Sanitária – AIDIS. Buenos Aires, Julho de 2007.

JORDÃO, E. P & PESSÔA, C. A. (2005). *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª ed. ABES-RJ, 890p.

JULIASTUTI, S.R.; BAEYENS, J.; CREEMERS, C.; BIXIO B.; LODEWYCKX, E. The inhibitory effects of heavy metals and organic compounds on the net maximum specific growth rate of the autotrophic biomass in activated sludge. *Journal of Hazardous Materials*, Amsterdam, v.100, n.1, p.271-283, 2003

JURETSCHKO, S., LOY, A., LEHNER, A., WAGNER M., 2002, "The Microbial Community Composition of a Nitrifying-Denitrifying Activated Sludge from an Industrial Sewage Treatment Plant Analyzed by the Full-Cycle rRNA Approach", *Systematic and Applied Microbiology*, v. 25, n. 1, pp. 84-99.

LEU, H., LEE, C., OUYANG, C. F. , 1998 "Effects of Organic Matter on the Conversion Rates of Nitrogenous Compounds in a Channel", *Water Research*, v. 32, pp. 0–8.

LOMBARDI, J. B. et al. , 2015, "Causas e consequências da formação do bulking viscoso em lodo biológico de um ETE de fábrica de celulose". *Revista O PAPEL*, vol. 76, num. 5, pp. 59 - 65, Maio 2015.

MADIGAN, T. M.; MARTINKO, J. M.; PARKER, J., 1997, *Brock biology of microorganisms*. 8. ed. New York: Prentice Hall.

MENDES, D. T. S. L., 2013. Relatório Final de Estágio Curricular Curso Técnico em Meio Ambiente. Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia Campus Vitória da Conquista - IFBA. Disponível em < <http://www.ebah.com.br/content/ABAAAgT3wAl/relatorio-final>>. Acesso em 26 ago 2017

METCALF & EDDY, Inc. Wastewater engineering: treatment and reuse. 4th ed. rev. New York: McGraw- Hill, 2003, 1848 p. ISBN 0-07-041878-0.

MIERZWA, J. C., HESPANHOL, I., Água na indústria: uso racional e reuso. São Paulo: Oficina de textos, 2005.

MMA, 2005. Manual de educação consumo sustentável - Água. Brasília: Consumers International/ MMA/ MEC/ IDEC, 2005. 160 p. Disponível em: <[http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr\\_proecotur/\\_publicacao/140\\_publicacao09062009025910.pdf](http://www.mma.gov.br/estruturas/sedr_proecotur/_publicacao/140_publicacao09062009025910.pdf)>. Acesso em 20 jul 2017.

ØDEGAARD, H. (2006) “*Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process*”. Water Science and Technology. Vol 53 (9), pp. 17-33.

ØDEGAARD, H., GISVOLD, B., STRICKLAND, J. (2000) “*The influence of size and shape in the moving bed biofilm process*.” Water Science and Technology, Vol. 41 (4-5), pp. 383-391

ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; BADIN, H (1993) “*Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactor*”. Water Science and Technology. Vol. 28 (10), pp. 351-359.

ØDEGAARD, H; RUSTEN, B; WESTRUM, T. (1994) “*A new moving bed biofilm reactor – application and results*”. Water Science and Technology. Vol. 29 (10-11), pp. 157-165.

OKABE, S., HISASHI, S., WATANABE, Y., 1999, “*In situ analysis of Nitrifying biofilms as determined by in situ hybridisation and the use of microelectrodes*”. Applied and Environmental Microbiology, v. 65, n. 7, p. 3182–3191.

OLIVEIRA, D. V. M. DE, Caracterização dos Parâmetros de Controle e Avaliação de desempenho de um Reator Biológico com Leito Móvel (MBBR). Tese de M. Sc., COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil, 2008.

PRADO JUNIOR, C. Formação do Brasil contemporâneo. São Paulo: Brasiliense, 2000.

RESOURCEMATICS, 2012, *Industrial Water*. Disponível em: <<http://www.resourcematics.com/industrial-water/>>. Acesso em 17 jul. 2017

RUSTEN, B., EIKEBROKK, B., ULGENES, Y., LYGREN, E., 2006, "Design and operations of the Kaldnes moving bed biofilm reactors", *Aquacultural Engineering*, v. 34, pp. 322–331.

RUSTEN, B., HEM, L. J., ØDEGAARD, H., 1995, "Nitrogen removal from dilute wastewater in cold climate using moving-bed biofilm reactors", *Water Environment Research*, v. 67, pp. 65–74.

SALVETTI, R., AZZELLINO, A., CANZIANI, R., BONOMO, L., 2006, "Effects of temperature on tertiary nitrification in moving-bed biofilm reactors", *Water Research*, v. 40, pp. 2981-2993.

SANT'ANNA JUNIOR, G. L., 2010, Tratamento biológico de efluentes: fundamentos e aplicações, Rio de Janeiro, Editora Interciência, Rio de Janeiro.

SATO, G. S. Perfil da indústria de alimentos no Brasil: 1990-1995. Relatório de pesquisa nº17/1997. São Paulo: EAESP/ FGV/ NPP, 1997.

SATO, G. S. Perfil da Indústria de Alimentos no Brasil: 1990-1995. EAESP/ FGV/ NPP: Núcleo de Pesquisas e Publicações, 1997.

SCHMIDT, I.; SLIEKERS, O.; SCHMID, M.; BOCK, E.; FUERST, J.; KUENEN, J.; JETTEN, M.; STROUS, M. (2003) "New Concepts of Microbial Treatment Process for the Nitrogen Removal in Wastewater". *FEMS Microbiology Reviews*, N. 27, pp 481–492.

SCHNEIDER, E.E., 2010, *Avaliação de um Reator de Leito Móvel com Biofilme para Tratamento de efluente da Indústria do Petróleo, com posterior Ozonização acoplada a Carvão Ativado Granular com Biofilme*. Dissertação de M.Sc., PEQ/COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

SMAC, 2015. *Diagnóstico Preliminar de Resíduos Sólidos da Cidade do Rio de Janeiro*. Disponível em: <  
<http://www.rio.rj.gov.br/dlstatic/10112/3372233/4149705/RelatorioExecutivoDiagnosticoPreliminar.pdf>>. Acesso em : 25 ago. 2017

SNIS, 2015. Sistema Nacional de Informações sobre Saneamento. Diagnóstico anual Água e Esgoto. Disponível em < <http://www.snis.gov.br/>>. Acesso em: 30 out 2017

SORIA FC, Chavarria JM. Técnica de defensa del medio ambiente. São Paulo: Labor, 1978

STEIN, R. T., Caracterização e Avaliação do Sistema de Tratamento de Efluentes de uma Indústria Alimentícia, visando o reuso. Trabalho de Conclusão do Curso de Engenharia Ambiental, Centro Universitário Univates, Lajeado, RS, Brasil, 2012.

SURAMPALLI, R.Y., TYAGI, R.D., SCHEIBLE, O.K., HEIDMAN, J.A., 1997, "Nitrification, denitrification and phosphorus removal in sequential batch reactors", *Bioresource Technology*, v. 61, pp. 151-157.

SURAMPALLI, R.Y.; TYAGI, R.D.; SCHEIBLE, O.K. and HEIDMANN, J.A. Nitrification, denitrification and phosphorus removal in sequential batch reactors", *Bioresource Technology*, v.61, p. 151-157, 1997.

TCHOBANOGLIOUS, G., BURTON, L. F., STENSEL, H. D., 2003, *Wastewater engineering: treatment, disposal and reuse*. 4. ed., Nova York: McGraw Hill.

TELLES, D. A., COSTA, R. H. P. G. Reuso da água: conceitos, teorias e práticas. 1ª edição, São Paulo: Bluncher, 2007.

*The Wastewater insight: What is Zooglea and how do I get rid of it?* Environmental Leverage, North Aurora, Illinois, v. 7, n. 3, abr. 2010

VAN HAANDEL, A., MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado: Teoria e Aplicações para Projetos e Operação. Campina Grande: EPGRAF, 472 p.1999.

VEOLIA, MBBR, 2016, Disponível em: < <http://www.veoliawaterst.com/mbbr/en/>>. Acesso em 20 ago. 2017.

VON SPERLING, M. (1997). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Lodos ativados, Vol 4. Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental –UFMG*. 428p.

VON SPERLING, M. (2002b). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Vol 4. Lodos Ativados, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG*. 2 ed. 428p.

VON SPERLING, M. (2005). *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias. Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, 3ª Ed. Vol 1, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG*. 452p.

VON SPERLING, M., (1996), “Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos”, *Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias*, 2. ed., Belo Horizonte: UFMG.

VON SPERLING, M., (1996), *Princípios do tratamento biológico de águas residuárias: Princípios básicos de tratamento de esgotos*. 6ª edição, Editora DESA UFMG, Belo Horizonte.

WALTERS, E., HILLE, A., HE, M., OCHMANN, C., HORN, H., 2009, “Simultaneous nitrification/denitrification in a biofilm airlift suspension (BAS) reactor with biodegradable carrier material”, *Water Research*, v. 43, pp. 4461–4468.

WIK, T. *On modeling the dynamics of fixed biofilm reactors with focus on nitrifying trickling filters*. Tese de Ph.D. Departamento de Sinais e Sistemas / Universidade Técnica Chalmers, Gotemburgo, Suíça.

XAVIER, J. B., PICIOREANU, C., ALMEIDA, J. S., VAN LOOSDRECHT, M. C. M., 2003, “Monitorização e modelação da estrutura de biofilmes”, *Biomatemática- Modelação da estrutura de Biofilmes*, *Boletim de Biotecnologia*, v. 76, pp. 2-13.

## 8. Apêndices

### Apêndice 1 - Resultados medição de volume das máquinas de lavagem das trafilas e sala de ovos

**Tabela 8.1: Resultados do monitoramento da Máquina B de lavagem das trafilas durante um dia de produção (Fonte: IBMA, 2017)**

MÁQUINA B							
Início	Medição de Volume			Término	$\Delta t$ (min)	Volume descartado (m <sup>3</sup> )	OBSERVAÇÃO
	Tempo (s)	Volume (L)	Vazão (L/h)				
06:10	8	1,8	810	06:16	6	0,08	Máquina parada
06:16	3,6	1,7	1700	09:32	196	5,55	
09:35	3,6	1,7	1700	10:35	63	1,79	Máquina parada
12:00	5	1,7	1224	14:00	120	2,45	Água do tanque de peças aberta
14:00	47	1,8	137,87	16:00	120	0,28	
16:00	10	0,4	144	17:00	60	0,14	
17:00	10	0,56	201,6	18:00	60	0,2	
18:00	10	0,38	136,8	19:00	60	0,14	
19:00	10	0,38	136,8	19:15	15	0,03	Máquina parada
19:15	10	0,38	136,8	20:00	45	0,1	
20:00	10	0,35	126	21:00	60	0,13	
21:00	10	0,35	126	22:00	60	0,13	
22:00	10,2	0,6	211,35	23:00	60	0,21	
23:00	10,4	0,6	208,49	01:00	120	0,42	
01:00	17	0,6	127,06	02:00	60	0,13	
02:00	16	0,56	126	03:00	60	0,13	
03:00	17	0,4	84,71	04:00	60	0,08	
04:00	15	0,4	96	05:00	60	0,1	
05:00	17	0,4	84,71	06:00	60	0,08	

**Tabela 8.2: Resultados do monitoramento da Máquina C de lavagem das trafilas durante um dia de produção (Fonte: IBMA, 2017)**

MÁQUINA C							
Início	Medição de Volume			Termino	$\Delta t$ (min)	Volume descartado (m <sup>3</sup> )	OBSERVAÇÃO
	Tempo (s)	Volume (L)	Vazão (L/h)				
06:10	6,3	1,8	1029	07:25:	75	1,29	
07:25	6,3	1,8	1029	07:42:	17	0,29	

**Tabela 8.3: Resultados do monitoramento dos tanques das salas de preparo das soluções durante um dia de produção (Fonte: IBMA, 2017)**

DRENO DE TANQUES			
HORA	LOCAL	Volume (m <sup>3</sup> )	OBSERVAÇÃO
17:00	4º andar	0,4	Tanque da máquina A
17:45	4º andar	0,04	Tanque 201
18:00	4º andar	0,283	Tanque de sêmola
19:30	4º andar	0,21	Tanque 304
07:55	4º andar	0,283	Limpeza tanque de preparo de ovos
09:30	4º andar	0,41	Tanque 301- ovos

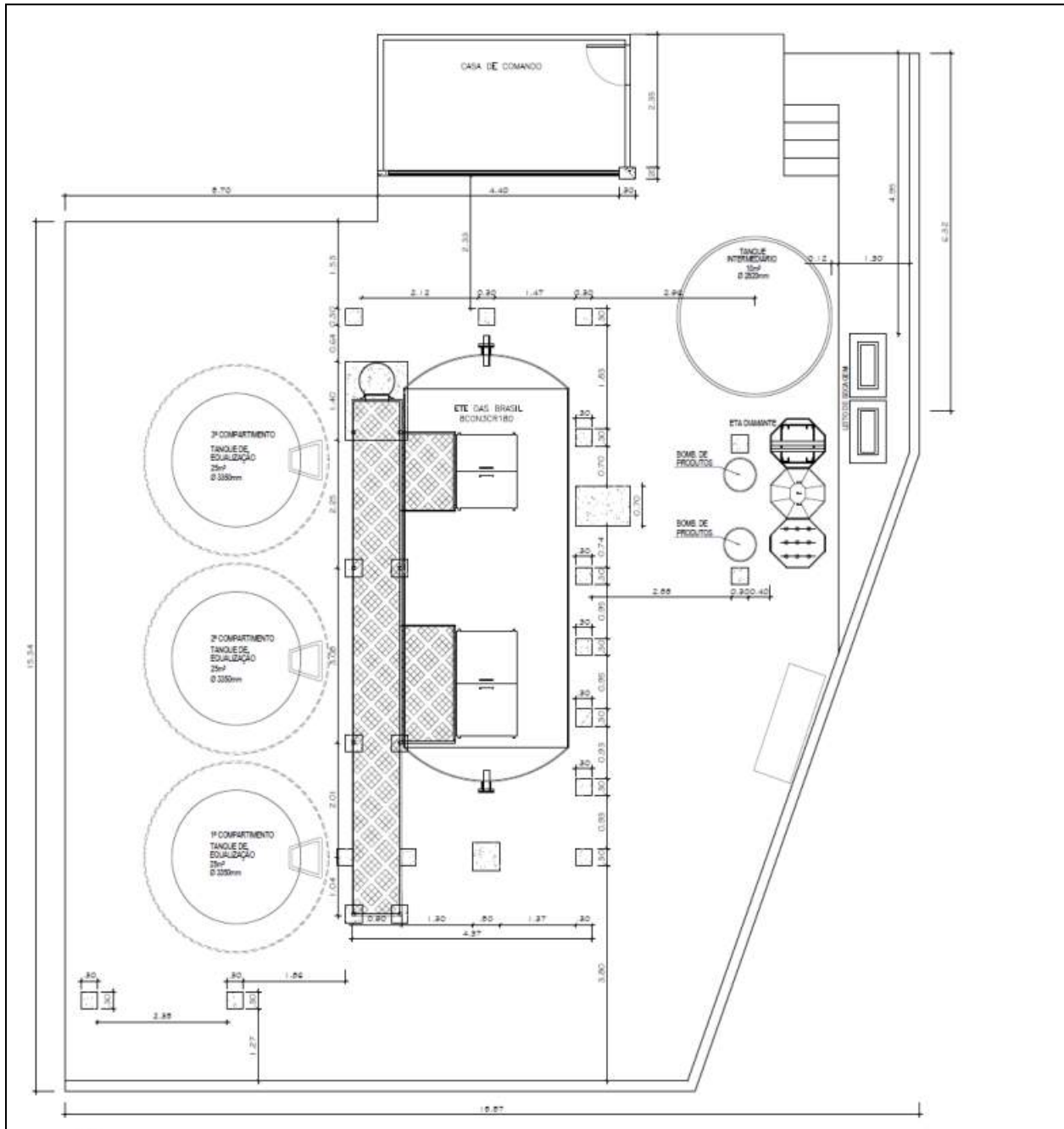
A Tabela 8.4 representa a compilação de resultados de consumo de água e consequente descarte de efluentes durante 1 (uma) semana de monitoramento.

**Tabela 8.4: Resultado dos volumes gerados e descartados pela sala de preparo de soluções e máquinas de lavagem das trafilas (Fonte: IBMA, 2017).**

Volume (m <sup>3</sup> /dia)	14/03/17	15/03/17	16/03/17	17/03/17
Geração de efluente na ETE	48,13	40,77	34,5	40,34
Volume total de descarte nas trafilas e sala de ovos	24	14,3	3,6	11,3
Outros efluentes	24,13	26,47	30,9	29,04

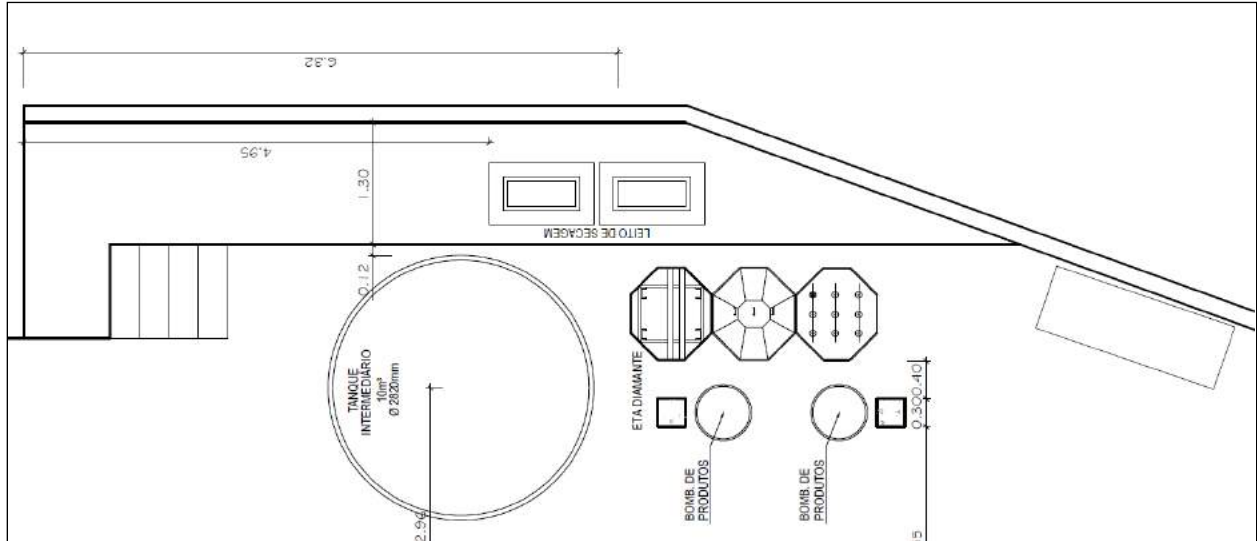
## 9. Anexos

Anexo 1 - Layout da Estação de Tratamento de Efluentes Industriais e Sanitário (Fonte: Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto de Sistema de Tratamento de Efluentes, 2014).

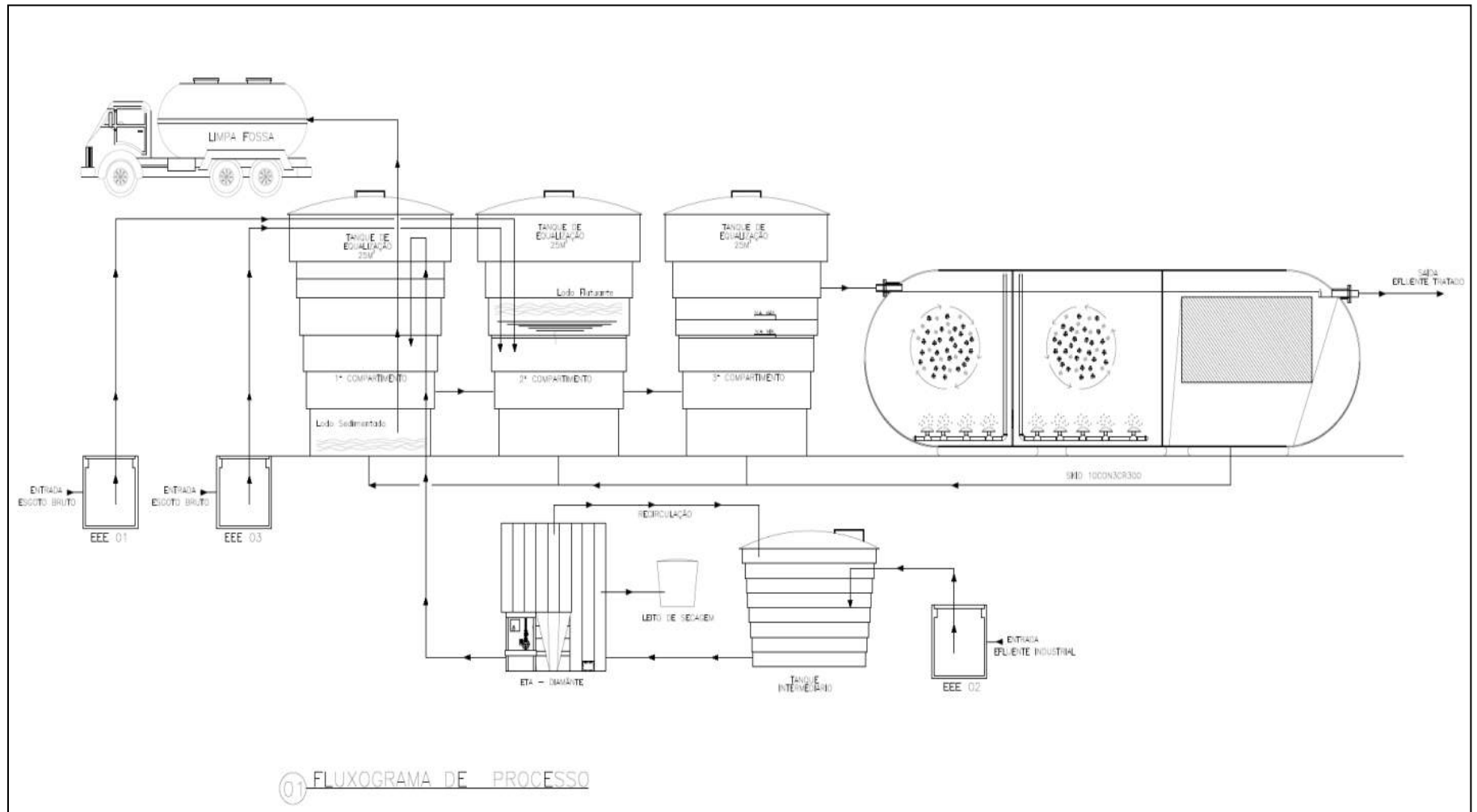




**Layout Sistema de Tratamento Físico Químico, Estação de Tratamento de Despejos Industriais - ETDI (Fonte: Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto de Sistema de Tratamento de Efluentes,2014).**



**Layout Sistema de Tratamento Biológico, Estação de Tratamento de Despejos Industriais - ETDI (Fonte: Empresa Terceirizada responsável pelo projeto - Projeto de Sistema de Tratamento de Efluentes,2014).**



**Anexo 2 - Planilha de Monitoramento Estação de Tratamento de Efluentes Nº215 (Fonte: IBMA, 2017).**

<b>DIVISÃO DE BISCOITOS E MASSAS Nº 215 R.01</b>												
<b>ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – DESPEJOS INDUSTRIAIS</b>												
											DATA DA OPERAÇÃO: __/__/__	
<b>TANQUE DE EQUALIZAÇÃO (AFLUENTE) – T-800</b>												
Horário	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00				
pH												
TEMP. (°C)												
NÍVEL												
<b>MISTURADOR M-801</b>												
Horário	06:00	09:00	12:00	15:00	18:00	21:00	00:00	03:00				
pH 5,0-8,0												
TEMP. (°C)												
VAZÃO												
<b>EFLUENTE INDUSTRIAL TRATADO</b>												
Horário	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
pH 5,0-8,0												
TEMP. (°C)												
SS (ml/l) > 1												
SODA 6,0%												
IFLOC 0,4%												
IZET 8,0%												
ÁCIDO SULFÚRICO												
<b>TANQUE DE AERAÇÃO – T-804 – SAÍDA DE EFLUENTE TRATADO</b>												
Horário	06:00	08:00	10:00	12:00	14:00	16:00	18:00	20:00	22:00	00:00	02:00	04:00
pH 5,0-8,0												
TEMP. (°C)												
VAZÃO m³												
SS (ml/l)												
<b>MBBR TERÇA, QUINTA E SÁBADO</b>			<b>DECANTADOR TERÇA, QUINTA E SÁBADO</b>			<b>T:805 QUARTA</b>						
Horário	09:00		Horário	11:00		Horário		09:00				
SS (ml/l)			SS (ml/l)			VOL. DO		30 seg				
O.D (mg/l) 3,0 a 7,0			O.D (mg/l) < 2,0			LODO (m³)		01 hora				
OPERADORES: 1º TURNO _____			RESPONSÁVEL: _____			2º TURNO _____						
3º TURNO _____												

**Anexo 3 - Planilha N°217 de Monitoramento Sistema Físico Químico; Geração de Lodo na ETE; Inspeção de Masseuras e Boias das Máquinas de Lavagem das Trafilas (Fonte: IBMA, 2017)**

**DIVISÃO DE BISCOITOS E MASSAS**  
**ESTAÇÃO DE TRATAMENTO – DESPEJOS INDUSTRIAIS N° 217**  
**DATA DE OPERAÇÃO \_\_\_\_/\_\_\_\_/\_\_\_\_**

**NÍVEL**

Tq 805			Tq 806			Tq 807		
Água	sobren.	Lodo	Água	sobren.	Lodo	Água	sobren.	Lodo
MBBR 1			MBBR 2			Decant.		
Água	sobren.	Lodo	Água	sobren.	Lodo	Água	sobren.	Lodo

**VAZÃO- ETAR**

Horário	Vazão (m³/h)	Horário	Vazão (m³/h)	Horário	vazão (m³/h)
07:00		15:00		23:00	
08:00		16:00		00:00	
09:00		17:00		01:00	
10:00		18:00		02:00	
11:00		19:00		03:00	
12:00		20:00		04:00	
13:00		21:00		05:00	
14:00		22:00		06:00	

**BALANÇO DE MASSA - TQ 800**

Início de Operação	$\Delta H$ (m)	$\Delta t$ (min)	Nº de vezes que a bomba de alimentação atuou	Vazão da bomba do industrial Qi (m³/h)

**MUDANÇA NA VAZÃO- ETAR**

Horário	Vazão (m³/h)	
	De	Para

**PARADA- ETAR**

Vazão no instante da parada(m³/h)	Horário	
	INÍCIO	FIM

**HIDRÔMETRO**

1º Turno	2º Turno	3º Turno

**AS TRAFILAS ESTÃO COM AS BOIA DE NÍVEL?**

1º Turno	2º Turno	3º Turno
( )SIM	( )SIM	( )SIM
( )NAO	( )NAO	( )NAO

OPERADORES: 1º TURNO \_\_\_\_\_ RESPONSÁVEL: \_\_\_\_\_

2º TURNO \_\_\_\_\_

3º TURNO \_\_\_\_\_

**Anexo 4 - Ficha de Acompanhamento de Medição de Efluentes para RAE (PROCON - Água) (Fonte: IBMA, 2017)**

<i>Ficha de Acompanhamento de Medição de Efluentes para a RAE (PROCON)</i>								
ENDEREÇO:								
PONTO DE COLETA: <b>Afluente Físico-Químico</b>					TIPO DE MEDIDOR: <b>Rotâmetro</b>			
FUNCIONÁRIO:					MÊS:		ANO: <b>2017</b>	
DIAS	Tempo do Func. (horas)	Altura Média (cm)	pH	Temperat. (°C)	Materiais Sediment. (ml/l)	Vazão (m <sup>3</sup> /h)	Vazão (m <sup>3</sup> /d)	OBSERV.
01								
02								
03								
04								
05								
06								
07								
08								
09								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								
31								

**NOTA AO OPERADOR:** 1 - Análise de Materiais Sedimentáveis deve ser feita 04 (Quatro vezes ao mês ou semanalmente)

\_\_\_\_\_  
Operador

\_\_\_\_\_  
Data

\_\_\_\_\_  
Supervisão

**Ficha de Acompanhamento de Medição de Efluentes para a RAE (PROCON)**

ENDEREÇO:

PONTO DE COLETA: **Afluente MBBR**

TIPO DE MEDIDOR: **Magnético**

FUNCIONÁRIO:

MÊS:

ANO: **2017**

DIAS	Tempo do Func. (horas)	Altura Média (cm)	pH	Temperat. (°C)	Materiais Sediment. (ml/l)	Vazão (m³/h)	Vazão (m³/d)	OBSERV.
01								
02								
03								
04								
05								
06								
07								
08								
09								
10								
11								
12								
13								
14								
15								
16								
17								
18								
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
27								
28								
29								
30								

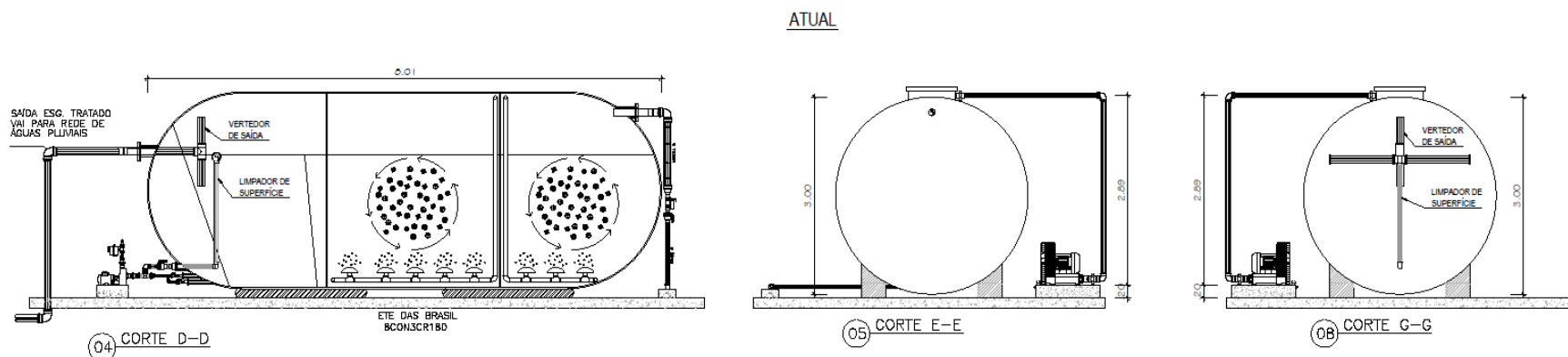
**NOTA AO OPERADOR:** 1 - Análise de Materiais Sedimentáveis deve ser feita 04 (Quatro vezes ao mês ou semanalmente).

\_\_\_\_\_  
Operador

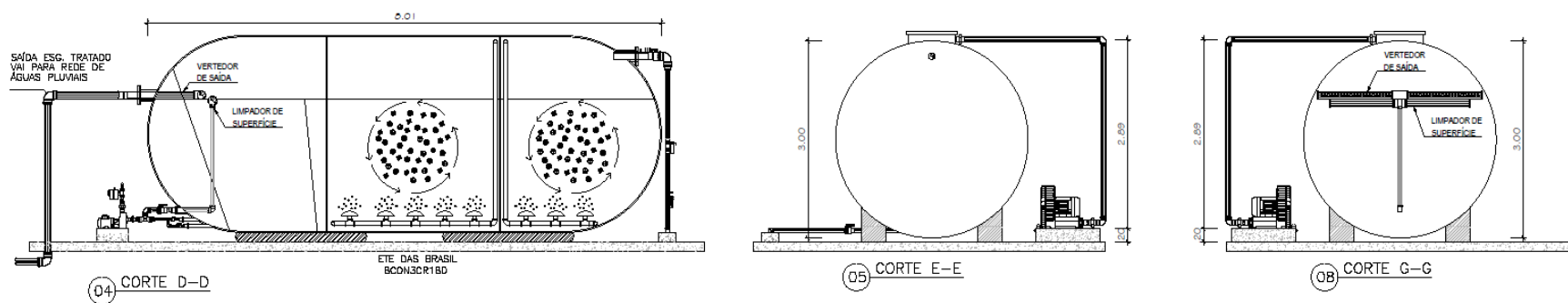
\_\_\_\_\_  
Data

\_\_\_\_\_  
Supervisão

**Anexo 5 - Layout dos ajustes propostos para calha de saída do decantador e da linha de alimentação do MBBR (Empresa Terceirizada pelo projeto e operação da ETE, 2017)**



MUDANÇA PROPOSTA - AJUSTE DA CALHA DE SAÍDA E LINHA DE ALIMENTAÇÃO





## Anexo 6 - Relatório de apresentação dos geobags e suas finalidades e especificações (SNATURAL AMBIENTE, 2017)



### SNatural Ambiente



Tecnologia de baixo custo e usada em vários países, os sacos de drenagem ou sacos de desague para lodo de ETA's e ETE's desaguam ou desidratam sedimentos, lamas de dragagem de lagoa e lodo de Estações de Tratamento de Efluentes (ETE).

#### Tratamento de Lodo de Estações de Tratamento de Esgotos e Efluentes e ETA's

O sistema de desidratação por sacos mantas é o método menos dispendioso para desaguar lodo de estações de tratamento municipal ou operações de tratamento de água industrial. O método requer um mínimo investimento em equipamentos e dependendo do caso os sacos podem ser reaproveitados. A operação evita os odores de uma secagem tradicional a céu aberto e atinge os limites permitidos de Teor de Sólidos em Suspensão (TSS) da legislação de descarte.

**Tipos de Bocas: (1) Superior; (2) Lateral e (3) Boca Aberta.** (Obs.: A bitola das bocas tipo superior ou lateral pode ser pedida sob medida com bocal para 1/2, 3/4, 1, 2, 3 ou 4 pol, etc..)



Saco com boca lateral



Área Preparada para Desague sobre Leito de Secagem com boca lateral



Equipamento para desague com saco com boca aberta



Equipamento para Desague

#### Especificações Técnicas

Propriedade	Resultados
Tração na Ruptura (N)	2000
Alongamento (%)	60
Puncionamento (N)	1000
Fluxo de Água (m <sup>3</sup> /m/h)	165
Abertura Aparente (mm)	0,07 – 0,14

Para desidratação de lodo em ETE's e ETA's, estes sacos são colocados diretamente sobre uma superfície preparada ou sobre um típico leito de areia de secagem e recebem o lodo por mangueiras que vertem a água e retêm o lodo.



Aspecto do Lodo Seco



Desague da Água



Conexão Tipo Flange Roscada

A drenagem inicial em poucas horas concentra sólidos a 15% nas bolsas que serão seladas e removidas da unidade. Os sacos podem ainda ser armazenados a céu aberto para desaguamento e evaporação final que em 10-15 dias elevam o teor de umidade a 60-65% e então levados para disposição final.

Além dos sedimentos também removem boas quantidade de óleo que possam acompanhar a água. Este





processo pode eliminar completamente o trabalho manual necessário para remoção das lamas desidratadas do leito de secagem.

### Tratamento de Lagos e Lagoas



Visível divisa entre água tratada

Na limpeza e restauro de lagoas ou lagos clarifica as águas e restaura a capacidade de armazenamento original sem drenagem ou escavações. Processo simples passa despercebido às pessoas não envolvidas ou residentes na área. Nestes casos a operação é feita sem liberação de odor, de forma simples e limpa e seu progresso e execução não é afetado por condições atmosféricas.

Outro mais recente uso para estes tubos filtrantes foi desenvolvido recentemente para estabilização da linha costeira de regiões propensas a tempestades funcionando como tubos quebra-mar para proteger o litoral.

### Material e Tamanhos dos Sacos

Construídos de lonas porosas resistentes ao manuseio e às intempéries pode ser adquirido em uma ampla gama de tamanhos reutilizáveis ou descartáveis. Bolsas até 100 metros de comprimento e de circunferência variável de acordo com a necessidade podem ser oferecidos em tamanhos que se encaixam em pequenos recipientes como na forma de funil ou de um container.



Drenagem de Lago



Forma de Lona



Pequenos Sacos



Recolha Manual



Forma de Saco – Big-Bag



Sacos de 1 x 1 m

Tamanho de Saco (Larg. e Comp. - metros)	Vazão Indicativa (m <sup>3</sup> /hora)	Observações
0,5 m x 0,5 m	2,5	<p>3 tipos de tecido: 1, 2 e 3</p> <p>O tecido 1 retém 40% do lodo fino e 100% de lodo grosso;</p> <p>o tecido 2 retém 60% do lodo fino e 100% do lodo grosso;</p> <p>O tecido 3 retém 99,9% de lodo fino e 100% do lodo grosso inclusive algas verdes (cianofíceas).</p> <p>Vazão normal de Operação: até 5 m<sup>3</sup>/m<sup>2</sup>/hora</p> <p><b>Modelos descartáveis ou reutilizáveis</b></p>
0,5 m x 1,0 m	5	
1,0 x 1,0 m	10	
1,0 x 1,5	15	
1,0 m x 2,0 m	20	
2,0 x 2,0 m	40	
Sob encomenda		



Consulte-nos para determinar os tamanhos mais adequados e/ou o modelo **reutilizável** ou **descartável**.

## Anexo 7 - Relatório teste feito a partir das amostras de lodo enviadas (SNATURAL AMBIENTE, 2017)



Sintese Natural Ltda.  
Rua Dr. Ruy de Azevedo Sodré, 637 –  
V. Sta. Catarina – SP/SP 04379-000  
Fone: 11 5072 5452

***SNatural Ambiente***

### Identificação do problema:

Ineficiência no processo de filtração com geotêxtil tipo 1 e 3, do decantado de processo físico químico e biológico, com material sólido passando pelo tecido.



### Processo:

#### 1º Passo:

Avaliar o aspecto da amostra do tratamento físico químico e testar os diferentes tipos de tecidos.



Amostra de efluente sem tratamento

Após uma avaliação visual, foi observado que o lodo é composto de grãos bem pequenos, semelhantes a uma areia bem fina, devido a isso o tecido tipo 2 é o mais adequado pois tem capacidade de retenção de sólidos maior, sem a utilização de polímero.

Avaliação do efluente biológico recebido.



Efluente Biológico

Foi observado que esse efluente possui uma característica mais pastosa, típica do uso de polímeros no tratamento. O mesmo tecido será usado, que é o tipo 2.

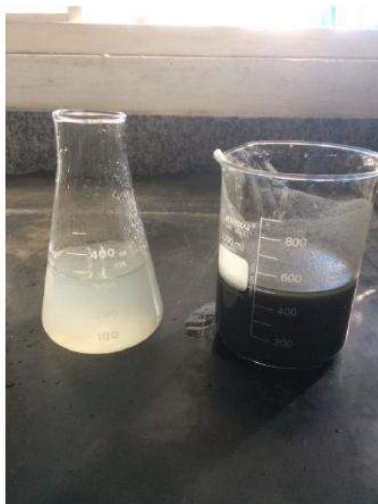
## 2º Passo

Proceder a filtração de 500 ml de cada uma das amostras:

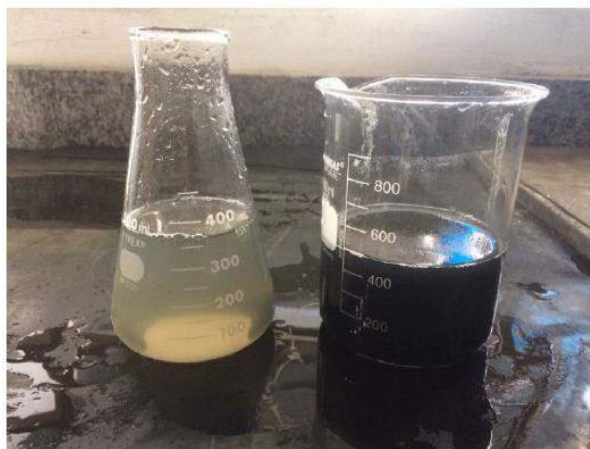


Para os dois tipos de efluente foi utilizado um pedaço do tecido que é fabricado os bags, a fim de obter o mesmo resultado na pratica. O aspecto do filtrado está nas figuras abaixo:





Efluente físico químico filtrado em tecido tipo 2



Efluente biológico filtrado em tecido tipo 2

### Resultados:

Para os dois tipos de efluente o tecido tipo 2 conseguiu reter os sólidos, para o efluente físico químico a separação foi 145 gramas de material sólido em 500ml de efluente bruto. Para o efluente biológico separou-se 55 gramas de material sólido em 500 ml de efluente bruto.



Efluente Biológico



Efluente Físico-químico