

## 5. Metodologia Experimental

### 5.1. Efluentes e Lodos Ativados Utilizados

Foram utilizados 4 efluentes distintos para alimentação do lodo ativado advindos de três indústrias distintas: farmacêutica e dois tipos de alimentícia. A primeira indústria alimentícia fabrica margarinas e biscoitos e a segunda, pães e bolos. A primeira contém grande quantidade de óleos e graxas, que são potencialmente tóxicos para lodos ativados.

O quarto lodo ativado utilizado durante o estudo trata-se de um lodo obtido de uma indústria alimentícia, alimentado e aclimatado por 10 dias com efluente sintético, isento de óleos e graxas e compostos tóxicos. O efluente sintético foi produzido de acordo com Papadimitriou et al. (2007): 833 mg/L sacarose, 2000 mg/L acetato de sódio, 100 mg/L NaCl, 50 mg/L  $\text{CaCl}_2 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ , 20 mg/L KCl, 600 mg/L  $\text{NH}_4\text{Cl}$  e 333 mg/L  $\text{K}_2\text{HPO}_4 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ .

Os efluentes da indústria alimentícia de margarinas e biscoitos estudada, bem como da farmacêutica, são dispostos no tanque de equalização onde é misturado com o esgoto produzido na planta industrial (banheiros, cozinha, vestiário).

As Estações de Tratamento de Efluentes Industriais (ETEI) estão sob supervisão da empresa TECMA<sup>1</sup> Tecnologia em Meio Ambiente, responsável pela caracterização dos efluentes bem como solução de problemas relacionados às ETEI.

Na tabela 7 são apresentados os principais parâmetros relacionados às indústrias citadas.

<sup>1</sup>TECMA Tecnologia em Meio Ambiente, empresa com atuação na área de controle de poluição industrial. Site: <http://www.tecma-tecnologia.com.br>.

**Tabela 7: Relação dos principais parâmetros entre as indústrias relacionadas**

<i>Indústria</i>	<i>Farmacêutica</i>	<i>Alimentícia</i> <i>(margarinas e</i> <i>biscoitos)</i>	<i>Alimentícia</i> <i>(pães e bolos)</i>
<i>Parâmetros</i>			
Vazão de alimentação (m <sup>3</sup> /dia)	306	104	38
SS <sub>TA</sub> médio	4531	2907	2095
Relação SSV/SS <sub>TA</sub>	0,69	0,78	0,69
DQO (mg O <sub>2</sub> /L)	560	694	1989

TA – Mistura do tanque de aeração

## 5.2. Compostos Tóxicos

Os compostos intoxicantes selecionados e utilizados para este estudo são geralmente utilizados em processos de limpeza de reatores industriais e higienização doméstica ou industrial, compostos estes que são encontrados nos efluentes de indústrias farmacêuticas, tratando-se de substâncias presentes em processos industriais inorgânicos. As substâncias e/ou espécies selecionadas para estudo são: fenol, Cu<sup>2+</sup>, amoxicilina e linear alquilbenzeno sulfonato de sódio.

## 5.3. Descrição dos Compostos Tóxicos

As concentrações dos produtos utilizados, linear alquilbenzeno sulfonato de sódio, bactericida e antibiótico, foram obtidas por uma avaliação da quantidade média per capita utilizada, com vistas à simulação em redes de tratamento de esgotos e efluentes industriais.

Como a concentração de surfactante (LAS) média em esgotos sanitários industriais é de 15 mg/L aproximadamente, segundo Giordano (1999), e o gasto diário de água é da ordem de 260 L *per capita* por dia (Atlas do Saneamento/IBGE, 2004), considerando que a concentração de Linear Alquilbenzeno Sulfonato de Sódio no detergente doméstico é de 55 g/L ou 5,5% de acordo com o método analítico estabelecido pelo *Standard Methods*, o

consumo médio de surfactante por pessoa é de 2L por mês. Assim, o volume total de surfactante em um recipiente de 300 mL é de aproximadamente 0,1 mL, considerando que a densidade do surfactante comercial utilizado é de 0,82 g/cm<sup>3</sup>. A concentração do princípio ativo linear alquilbenzeno sulfonato de sódio no surfactante. Como o volume de surfactante comercial utilizado foi de 0,1, 0,2 e 0,5 mL, a concentração de linear alquilbenzeno sulfonato de sódio utilizada situa-se em 16,5 mg/L, 33 mg/L e 82,5 mg/L.

A dose-padrão do antibiótico Amoxicilina é de 1,5 g/dia para adultos, de acordo com a bula do medicamento produzido pelo laboratório GlaxoSmithKline. Considerando que 60% do total consumido é eliminado pela urina (Ortofarma), são 900 mg do princípio ativo em 200 L de água consumidos em um dia. Assim, a concentração média nas águas residuárias domésticas do princípio ativo Amoxicilina é de 4,5 mg/L supondo que toda a população adulta esteja consumindo este composto diariamente.

A concentração letal aos micro-organismos dos compostos fenol e cobre foi obtida na literatura e pode ser comprovada através da Tabela 5, anteriormente citada. Os testes propostos para estes elementos consistiram em verificar as concentrações máximas recomendadas de cada elemento citadas na literatura, com o efeito obtido em diferentes lodos utilizados nos experimentos propostos.

**Tabela 8: Apresentação dos compostos químicos e concentrações utilizadas**

<b>Princípios Ativos</b>	<b>Concentrações Utilizadas (mg/L)</b>
<b>Cu<sup>2+</sup></b>	5, 10, 30
<b>Fenol</b>	50, 75, 100
<b>Amoxicilina</b>	4,5, 6,0 e 8,0
<b>Linear Alquilbenzeno sulfonato de sódio</b>	16,5, 33 e 82,5

#### **5.4. Condições Operacionais**

Os testes para a quantificação de toxicidade utilizando diferentes compostos orgânicos e inorgânicos foram feitos mantendo os seguintes parâmetros em condições aceitáveis:

- pH: manteve-se o pH fixo em cada lodo, de acordo com o valor encontrado na indústria de origem.
- Temperatura: a temperatura registrada no reator biológico situou-se entre 19 e 23°C para todos os ensaios realizados.
- Nutrientes: utilizou-se efluentes com proporções ideais de C:N:P (100:5:1);
- Micronutrientes: concentrações ideais de íons metálicos traço, fundamentais em processos utilizando lodos ativados:  $\text{Fe}^{2+}$ ,  $\text{Cu}^{2+}$ ,  $\text{Zn}^{2+}$ , entre outros;

#### **5.5. Coleta das amostras**

A coleta de lodos ativados e efluentes na indústria era realizada pela introdução de um recipiente de polipropileno no tanque de equalização, onde eram retirados 100 L, os quais alimentariam durante 5 dias o reator no laboratório. Seguindo o mesmo procedimento, retiravam-se amostras de lodos ativados advindos do reator biológico, sendo preenchido um total de 15 L de amostras.

As amostras eram transportadas ao laboratório, e os efluentes armazenados em caixas de isopor com gelo, conservando-se as amostras em temperaturas inferiores a 4°C até antes de uso no reator, quando eram ambientadas e o lodo ativado colocado no reator biológico com aeração. O curto período de tempo entre a coleta e o armazenamento do efluente e do lodo ativado não prejudicou a qualidade das amostras.

#### **5.6. Equipamentos Utilizados**

Os equipamentos utilizados foram: oxímetro, pHmetro, termômetro, agitador magnético e compressor de ar. O oxímetro é da marca YSI, modelo

550A, o qual está acoplado o termômetro; o pHmetro é fabricado pela DIGIMED, modelo DM2. A Fig. 10 exibe os equipamentos e acessórios utilizados na prática experimental.

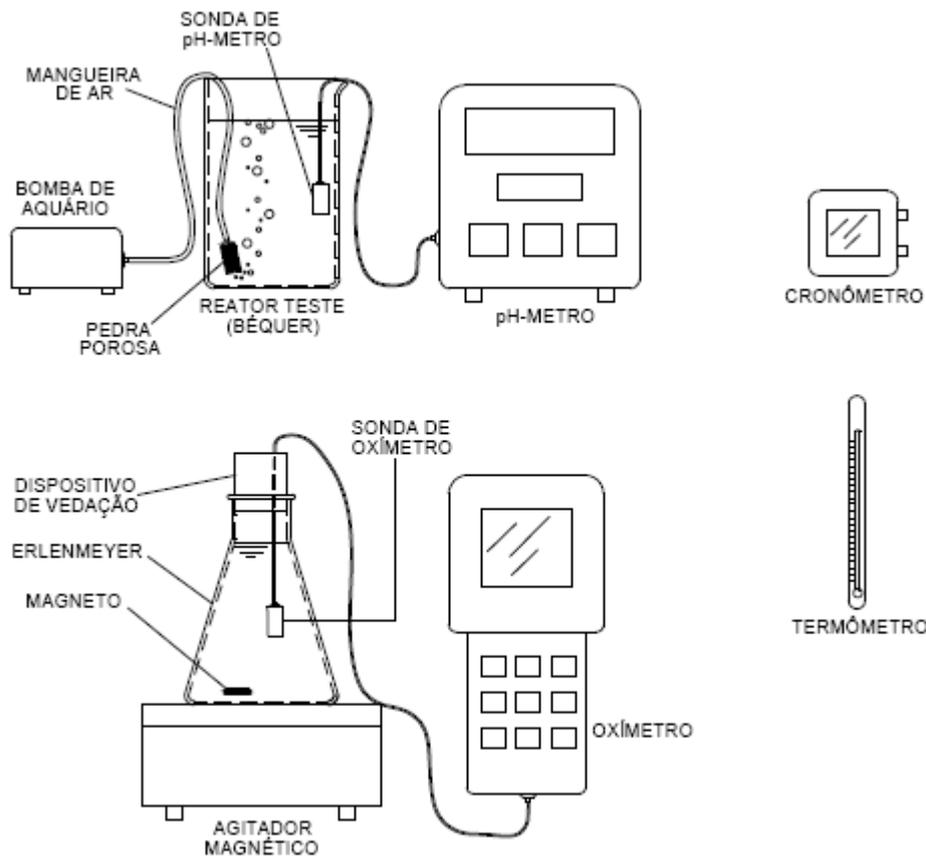


Figura 10: representação do aparato experimental utilizado para a realização dos ensaios

### 5.7. Detalhamento da Montagem do Experimento

A montagem do equipamento para execução dos experimentos foi realizada na empresa TECMA Tecnologia em Meio Ambiente, onde os ensaios com lodos ativados foram conduzidos. O laboratório de instalação do equipamento experimental mantém-se refrigerado em temperatura controlada ( $\pm 19^{\circ}\text{C}$ ), prática obrigatória para execução das análises dos efluentes operadas pela empresa.

O experimento foi elaborado para operar de modo contínuo, apenas havendo intervenção na inserção de nutrientes, micronutrientes e correção do pH (quando necessário).

O reator contínuo apresenta diversas vantagens quando se trabalha com os efluentes durante maior tempo:

1. Menor impacto de toxicidade entre efluente/lodo ativado, pois a vazão é bastante baixa;
2. Se houver elementos tóxicos no efluente, a contaminação se dará de forma mais lenta se comparado com o regime em batelada, quando todo o volume de alimentação é inserido no reator;
3. Riscos associados a variações de temperatura do efluente, concentração de elementos tóxicos e faixas de pH não aceitáveis, são menores;

A Fig. 11 apresenta os equipamentos utilizados na estação em escala experimental de tratamento de efluentes por Lodos Ativados e nos ensaios:



**Figura 11: Detalhe da montagem do experimento, incluindo: reator aeróbio de lodos ativados, decantador, sistema de air-lift, compressor de aquário, tanque de armazenamento do efluente bruto**

Os elementos constituintes são: reator aeróbio, decantador, tanque de armazenamento do efluente bruto, temporizador, compressor e air-lift.

O reator aeróbio é projetado em polipropileno, possuindo 0,35 m de altura, 0,20 m de largura, e base triangular. O decantador foi feito em tubo PVC de 3 mm de espessura e 75 mm de diâmetro, com solda de polipropileno da união, onde foi inserido o tubo de PVC que faz a ligação entre o reator biológico e o decantador. O tanque de armazenamento do efluente é de polipropileno com capacidade de 50L; o quadro elétrico montado com o temporizador foi programado para operar sequencialmente, mantendo-se ligado durante 3 minutos a cada 30 minutos. O compressor de ar foi conectado ao quadro a fim de manter-se em funcionamento em certos períodos, alimentando o reator com efluente, e proporcionando a recirculação de lodo do decantador para o reator biológico através do sistema de *air-lift*.

## **5.8. Procedimento Experimental**

O volume da mistura (lodo + efluente) no reator biológico compreende 12L. A vazão de alimentação do efluente situou-se entre 6 e 12 L/dia. A recirculação de lodo bem como a adição de efluente era controlada por um temporizador, o qual ligava-se ao compressor de ar, responsável pelo *air-lift*. O temporizador foi programado para funcionar 3 minutos a cada 30 minutos, alcançando, desta forma, a vazão especificada de efluente, bem como a recirculação de lodo (Figura 12).



**Figura 12: Detalhe do *air-lift* utilizado na recirculação de lodo**

Uma vez que todas as condições estavam satisfeitas, incluindo: alimentação, pH, temperatura, vazão de alimentação do efluente e vazão de recirculação de lodo, iniciava-se o teste de toxicidade sobre a mistura lodo-efluente.

Uma amostra de 300 mL da mistura (lodo ativado e efluente) era retirada do reator aeróbio com um béquer, sendo inserido composto rapidamente biodegradável (sacarose) e contaminante, ocorrendo aeração por 15 minutos. A amostra era transferida ao frasco de DBO com volume de 300 mL, mantendo-se condição de agitação (agitador magnético), quando ocorria a leitura da concentração de oxigênio dissolvido por 5 minutos. A relação alimento/micro-organismos (A/M) foi de 0,1, 0,15 e 0,2 de forma a avaliar a interferência da A/M com o elemento intoxicante na TCO. A concentração do composto intoxicante foi variada de acordo com valores encontrados na literatura. Assim, realizaram-se testes com lodo sem alimentação, apenas com alimentação e com alimentação + composto intoxicante.

A figura 13 apresenta a sequência da execução do experimento.

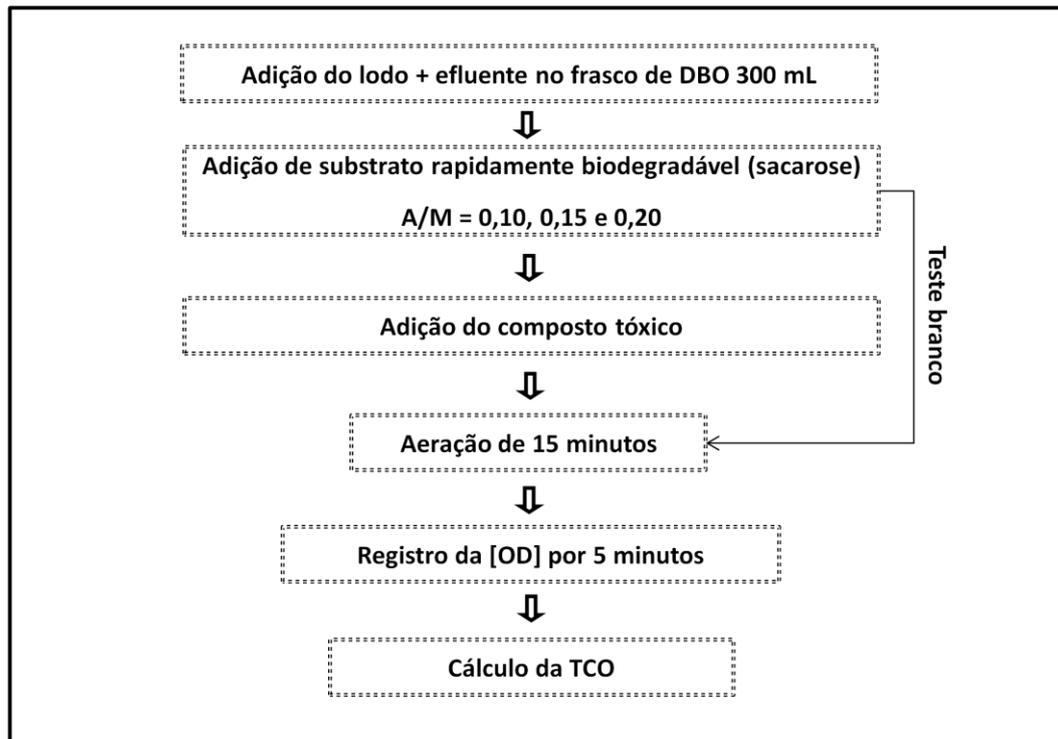


Figura 13: Procedimento experimental dos testes de respirometria

## 5.9. Planejamento Experimental

Os experimentos conduzidos para a determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) foram realizados de acordo com o critério descrito na Tabela 9:

Tabela 9: Planejamento dos experimentos para as diferentes concentrações do composto intoxicante e relação A/M

Composto Intoxicante	Concentração (mg/L)	Relação A/M
Cobre	5, 10, 30	0,1, 0,15 e 0,2
Fenol	50, 100 e 500	0,1, 0,15 e 0,2
Antibiótico	4,5, 6 e 8	0,1, 0,15 e 0,2
Linear alquilbenzeno sulfonato de sódio	16,5, 33 e 82,5	0,1, 0,15 e 0,2

Todos os testes foram mantidos em temperatura entre 21 e 24°C, e o pH do reator biológico manteve-se constante e igual ao encontrado na indústria de

origem; além disso, a aeração do reator com lodos ativados foi mantida constante e com volume de ar em excesso. A aeração do recipiente após a introdução da mistura (lodo + efluente) e contaminante foi realizada por 15 minutos em todos os testes, já que comprovou-se que o composto tóxico interfere no processo de respiração dos micro-organismos com 5 minutos de reação entre lodo ativado/alimento (Apêndice 1.6).

### 5.10. Cálculo da A/M

O cálculo da A/M de alimentação do lodo para posterior teste de respiração ocorreu segundo a equação:

$$A/M = \frac{DQO(mg/L) \cdot Q(L/dia)}{RNFT(mg/L) \cdot V(L)}$$

Para os testes de respirometria, foram utilizados os seguintes valores de A/M: 0,1, 0,15 e 0,2.

Foi preparada solução de 30.000 mg/L de DQO com sacarose, composto rapidamente biodegradável. A concentração de Sólidos Não Filtráveis Totais (RNFT) foi medida para cada lodo (Tabela 10) e o volume do frasco com a mistura lodo/efluente é de 0,3 L. O volume da solução de sacarose calculada para cada experimento foi utilizado para alimentação do béquer.

**Tabela 10: Estudo do  $SS_{TA}$  da mistura lodo ativado/efluente utilizado no cálculo da A/M**

Procedência do Lodo	$SSV_{TA}$ (mg/L)
Indústria Farmacêutica	<b>4241</b>
Indústria Alimentícia de Margarinas e Biscoitos	<b>2765</b>
Indústria Alimentícia de Pães e Bolos	<b>2095</b>
Sintético	<b>4838</b>

**$SS_{TA}$  – Sólidos sedimentáveis voláteis da mistura do tanque de aeração**

Sabendo o  $SSV_{TA}$  (mg/L) (valor medido no dia da coleta e admitido constante durante todos os dias de experimento), calcula-se a vazão de substrato

(sacarose) que deverá ser adicionado ao frasco de 300 mL para alimentar o lodo.

Assim, utilizando  $A/M = 0,1$  e  $SS_{TA}$  da indústria farmacêutica,

$$0,1 = \frac{30.000(mg/L) \cdot Q(L/batelada)}{4241(mg/L) \cdot 0,3(L)}$$

$$Q = 4,2 mL/batelada$$

Para manter as condições citadas ( $A/M = 0,1$  em Indústria Alimentícia), são necessários 4,2 mL de solução de DQO = 30.000 mg/L, conforme exemplo.