



Universidade do Estado do Rio de Janeiro

Centro de Tecnologia e Ciência

Faculdade de Engenharia

Brenda Braga da Costa

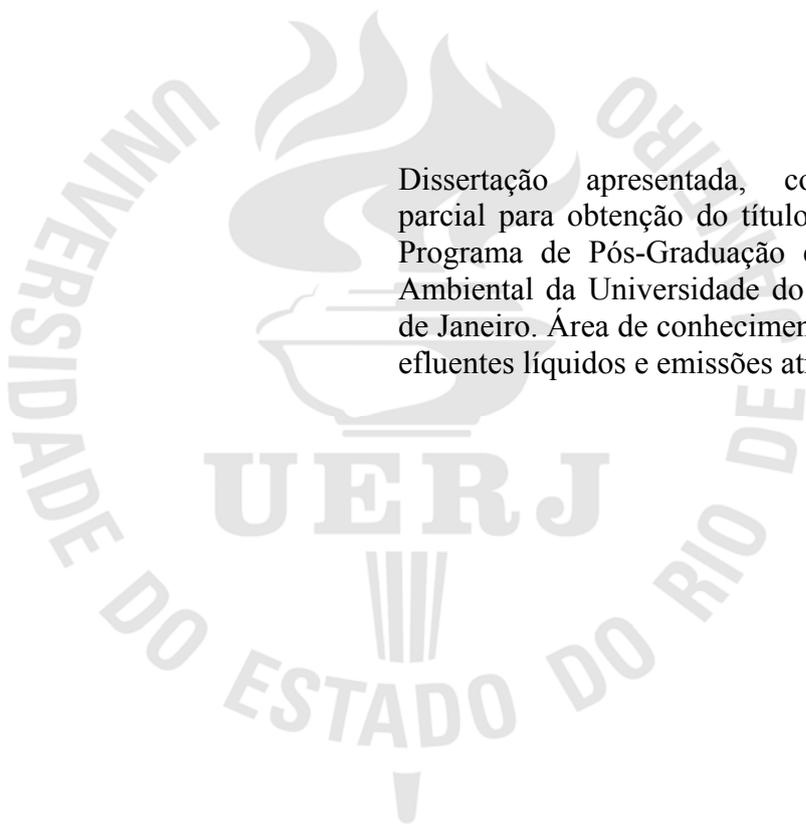
**Controle de microrganismos filamentosos com a utilização de uma solução
de peróxido de hidrogênio (H₂O₂)**

Rio de Janeiro

2013

Brenda Braga da Costa

Controle de microrganismos filamentosos com a utilização de uma solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂)



Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de conhecimento: Controle de efluentes líquidos e emissões atmosféricas.

Orientador: Prof. Dr. Gandhi Giordano

Coorientador: Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho

Rio de Janeiro

2013

CATALOGAÇÃO NA FONTE
UERJ / REDE SIRIUS / BIBLIOTECA CTC/B

B837 Brenda, da Costa.
Controle de microrganismos filamentosos com a utilização
de uma solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) / Brenda
Braga da Costa. - 2013.
117 fl.

Orientador: Gandhi Giordano
Coorientador: Olavo Barbosa Filho.
Dissertação (Mestrado) – Universidade do Estado do Rio de
Janeiro, Faculdade de Engenharia.

1. Engenharia Ambiental. 2. Águas residuais – Purificação –
Processo de lodo ativado – Dissertações. 3. Peróxido de
hidrogênio – Dissertações. I. Giordano, Gandhi. II. Universidade
do Estado do Rio de Janeiro. III. Título.

CDU 628.355

Autorizo, apenas para fins acadêmicos e científicos, a reprodução total ou parcial desta
dissertação, desde que citada a fonte.

Assinatura

Data

Brenda Braga da Costa

Controle de microrganismos filamentosos com a utilização de uma solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂).

Dissertação apresentada, como requisito parcial para obtenção do título de Mestre, ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, da Universidade do Estado do Rio de Janeiro. Área de concentração: Controle de efluentes líquidos e emissões atmosféricas.

Aprovada em: 01 de março de 2013.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Gandhi Giordano (Orientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof. Dr. Olavo Barbosa Filho (Coorientador)
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a Dr.^a Daniele Maia Bila
Faculdade de Engenharia – UERJ

Prof.^a Dr.^a Lídia Yokoyama
Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ

Rio de Janeiro

2013

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho ao meu marido e meus pais, que me dão força, apoio e me compreendem de forma incondicional. Sem esta base sólida este projeto não seria possível.

AGRADECIMENTOS

Gostaria de agradecer o apoio da minha família. Em especial ao meu marido Bruno, por nunca ter me deixado desistir dos meus objetivos por mais difíceis que fossem. Aos meus pais João Moisés e Maria Teresinha, que a todo o momento me incentivaram, entenderam minhas ausências e me ensinaram que todo esforço para conquistar nossos sonhos valem à pena.

Agradeço também aos meus tios, primos e amigos que me apoiaram e estiveram sempre presentes ao meu lado entendendo minha correria e muitas vezes minha ausência.

Ao meu orientador Gandhi Giordano e co-orientador Olavo B. Filho, por sempre estarem dispostos a ajudar, pelo aprendizado, compreensão e por acreditarem na realização deste trabalho. Esse apoio foi imprescindível.

Aos professores do programa de pós-graduação em Engenharia Ambiental da UERJ, por todo conhecimento compartilhado, em especial à professora Daniele Maia Bila que me ajudou com o empréstimo de materiais que seriam de difícil acesso e por aceitar fazer parte desta banca.

Ao LABES da Universidade do Estado do Rio de Janeiro, por ceder espaço em sua bancada para que as análises microscópicas fossem realizadas.

Aos meus colegas de mestrado, da turma de 2011. Em especial à Catarina, Érica, Ana Carolina, que entre uma brincadeira, um encontro dentro ou fora de sala de aula e até pelas mensagens trocadas no nosso “muro das lamentações” se mantiveram presentes, mostrando seu incentivo, apoio e ajudando na descontração, mesmo em momento de extremo cansaço.

A Camila Carballo, uma grande amiga que entre trabalho, seleção de doutorado e família arrumou um tempo para me ajudar na análise estatística deste trabalho. Sua ajuda foi essencial para “libertar” meus gráficos!

A todos os funcionários da empresa TECMA, por sempre estarem dispostos a ajudar, mesmo tendo que interromper por alguns momentos sua rotina de trabalho e por me receberem tão bem na empresa. Ao João Paulo Miliante, que esteve presente desde o início deste projeto e ao Rafael Caputo e Thales Protazio que fizeram parte, cada um de um momento do trabalho, agradeço por toda dedicação, amizade, brincadeiras, ideias e assistência durante toda a realização desse projeto.

Eu acredito demais na sorte. E tenho constatado que,
quanto mais duro eu trabalho, mais sorte eu tenho.

Thomas Jefferson.

RESUMO

COSTA, Brenda Braga. *Controle de microrganismos filamentosos com a utilização de uma solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂)*. 2012. 117 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

O processo de lodos ativados consiste em um tratamento biológico amplamente utilizado nas estações de tratamento, para remoção de matéria orgânica, devido à qualidade do efluente ao final do processo. Essa remoção é realizada por microrganismos que atuam neste sistema como bactérias, protozoários, metazoários e organismos filamentosos, como fungos e bactérias, formadores de flocos biológicos. Para garantir a eficiência deste processo deve haver um equilíbrio da microbiota dentro do reator aeróbio e o controle do número de filamentosos, tendo em vista que seu excesso no sistema pode causar o intumescimento do lodo (*bulking*) interferindo na qualidade do efluente gerado. O presente estudo teve como objetivo testar a eficiência de uma solução de 0,001% de peróxido de hidrogênio (H₂O₂) no controle de microrganismos filamentosos em lodos provenientes de duas indústrias, farmacêutica e alimentícia, reduzindo assim os riscos relacionados à utilização desta substância em grandes volumes. Foram realizadas análises microscópicas do lodo para avaliação quantitativa e monitoramento da atividade biológica dos reatores, essa avaliação serviu como base para a análise qualitativa a partir do índice de Madoni (1994) gerando um Índice Biótico do Lodo (IBL). Foram realizados outros testes, como IVL e teste de respiração, sendo os resultados destes testes comparados a fim de avaliar a eficiência da solução de H₂O₂ e sua interferência no processo. A solução de H₂O₂ foi eficiente em ambos os experimentos, mostrando através dos testes de TCO e TCO_e não haver interferência desta solução no metabolismo da microfauna; os resultados do IBL mostraram uma boa qualidade do lodo para ambos experimentos e a partir desta análise foi observado que a elevação de temperatura, acima de 30,0°C, causa interferência no sistema levando a uma redução do IBL. Os resultados de IVL não demonstraram diferença entre os valores dos reatores controle e tratado, porém a avaliação do tamanho dos flocos e filamentos mostrou que o aumento na concentração da solução de H₂O₂ levou a um controle na quantidade de filamentosos nos reatores tratados que reduziram em tamanho e quantidade.

Palavras-chave: Lodo ativado; Peróxido de hidrogênio; Organismos filamentosos; Microfauna; Indicadores biológicos.

ABSTRACT

COSTA, Brenda Braga. *Controle de microrganismos filamentosos com a utilização de uma solução de peróxido de hidrogênio (H₂O₂)*. 2012. 117 fl. Dissertação (Mestrado em Engenharia Sanitária e Ambiental) – Faculdade de Engenharia, Universidade do Estado do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2012.

The activated sludge process consists in a treatment largely used in biological treatment plants for removal of organic matter, because of the quality of the effluent at the end of the process. This removal is accomplished by microorganisms which act in this system as bacteria, protozoa, metazoan and filamentous organisms such as fungi and bacteria, forming biological flocs. To ensure efficiency of this process must be a balance of microbiota in the aerobic reactor and control the number of filaments, in order that its excess in the system may cause sludge swelling (bulking) interfering with the quality of the effluent. The present study aimed to test the efficacy of a 0.001% solution of hydrogen peroxide (H₂O₂) in control of filamentous microorganisms in sludge from two industries, pharmaceutical and food, thereby reducing the risks related to the use of this substance in large volumes. Analyses microscopic sludge to quantitative evaluation and monitoring of the biological activity of the reactors, this assessment was the basis for the qualitative analysis from the Madoni's index (1994) generating a Sludge Biotic Index (IBL). Other tests were performed as IVL and then breath test, and the results of these tests being compared in order to evaluate the efficiency of H₂O₂ solution and their interference in the process. A solution of H₂O₂ was efficient in both experiments, showing through the TCO and TCOe tests, that this solution not be interference with the metabolism of microfauna, the IBL results showed a good quality of the sludge for both experiments and from this analysis revealed that the temperature over 30,0°C, causes interference in the system leading to a reduction in the IBL. The results IVL showed no difference between the control and treated reactors, but the evaluation of the size of the flocs and filaments showed that increasing the solution concentration of H₂O₂ led to control the amount of filamentous treated in reactors which have reduced in size and quantity.

Keywords: Activated sludge; Hydrogen peroxide; Filamentous organisms; Microfauna; Biological indicators.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1.	Esquema representativo do processo de lodos ativados em regime contínuo.....	26
Figura 1.2.	Ciclos do processo de operação um reator em bateladas.....	27
Figura 1.3.	Amostra de lodo ativado de uma estação de tratamento de esgoto, mostrando a presença de flocos com boa formação, devido ao reduzido número de filamentosos. Aumento 250X.....	30
Figura 1.4.	Lodo ativado de uma indústria farmacêutica com excesso de filamentosos. Aumento de 400X.....	30
Figura 1.5.	Figura 1.5. (a) <i>Paramecium sp.</i> ; (b) CPF ; (c) AMB. Aumento 400X (a), (b) e (c).....	34
Figura 1.6.	Fotomicrografia de um rotífero, presente no lodo ativado de uma indústria farmacêutica. Aumento 1000X.....	35
Figura 2.1.	Produção de radical hidroxil via tratamento de Fenton, radiação U.V./H ₂ O ₂ e ozonização (O ₃ / H ₂ O ₂).....	50
Figura 3.1.	Esquema da composição dos sólidos.	53
Figura 5.1.	Aparelho utilizado para aeração mecânica do reator de bancada (A) e região interna do reator mostrando o processo de aeração (B).....	62
Figura 5.2.	Reatores controle e tratado de lodos ativados de uma indústria alimentícia.....	62
Figura 5.3.	Reatores controle e tratado de lodos ativados de uma indústria farmacêutica.....	63

Figura 5.4.	Oxímetro utilizado nos ensaios de teste de respiração.....	66
Figura 5.5.	Realização do teste de respiração (A) e aparelhos utilizados durante as análises (B).....	66
Figura 5.6.	(a) Microscópio óptico estereoscópico binocular e (b) microscópio óptico estereoscópico binocular com câmera digital acoplada.....	67
Figura 5.7.	Câmera digital e suporte utilizados para a realização das análises microscópicas.....	68
Figura 5.8.	Formulário de Avaliação Microscópica.....	69
Figura 5.9.	Escalas utilizadas no programa Carl Zeiss Axiovision LE 4.8 para determinação do tamanho dos microrganismos, flocos e filamentos encontrados nos lodos ativados. (A) aumento 1000X, (B) aumento 400X e (C) aumento 100X. A distância entre as barras maiores equivale a 50 μm (A), 100 μm (B) e 100 μm (C).....	70
Figura 6.1.	As fotomicrografias destacam o protozoário ciliado predador de floco (CPF), do gênero <i>Aspidisca</i> , no aumento de 400X.....	82
Figura 6.2.	Ciliado fixo (CF) do gênero <i>Vorticella</i> no aumento de 1000X.....	82
Figura 6.3.	Protozoário ciliado livre natante (CLN). Aumento de 1000X.....	83
Figura 6.4.	Protozoário flagelado (FLG) - Aumento de 100X.....	83
Figura 6.5.	Fotomicrografia de uma tecameba (AMB), protozoário da classe Sarcodina, gênero <i>Arcella</i> . Aumento 400X.	84
Figura 6.6.	Rotífero. Aumento de 1000X.....	84
Figura 6.7.	Protozoário ciliado livre natante (CLN). Aumento 400X.....	85
Figura 6.8.	Fotomicrografia dos flocos presentes no reator controle (A) e tratado (B) com aumento de 100X.....	85

Figura 6.9.	Protozoário ciliado predador de floco (CPF) do gênero <i>Euplotes</i> destacado em A e B. Aumento 1000X (A) e (B).....	94
Figura 6.10.	Protozoário ciliado sésil (CF), gênero <i>Tokophrya</i> . Aumento de 1000X (A) e 400X (B).....	95
Figura 6.11.	Ciliado sésil, <i>Vorticella sp.</i> Aumento 400X.....	95
Figura 6.12.	Protozoário ciliado. Aumento 1000X (A) e 400X (B).....	96
Figura 6.13.	<i>Paramecium sp.</i> Aumento 400X (A) e (B).....	96
Figura 6.14.	Protozoário ciliado livre natante (CLN). Aumento 400X.....	97
Figura 6.15.	Protozoários flagelados. Aumento 400x (A) e 1000X (B).....	98
Figura 6.16.	Protozoário flagelado. Aumento de 400X (A) e (B).....	98
Figura 6.17.	(A) Tardígrada; (B) - Anelídeo, gênero <i>Aesoloma</i> . Aumento 100X (A) e (B).....	99
Figura 6.18.	(A) Rotífero; (B) Nematelminto. Aumento 400X (A) e 100X (B).....	99
Figura 6.19.	Microrganismos não identificados. Aumento 400X (A) e (B).....	100
Figura 6.20.	Fotomicrografia dos flocos presentes no reator controle (A), apresentando um grande número de filamentosos e reator tratado (B) com poucos filamentos e flocos em tamanho ideal. Aumento 100X (A) e (B).....	100

LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1.1.	Cinética do crescimento microbiano em um sistema fechado e a representação de suas fases.....	37
Gráfico 1.2.	Taxa de crescimento microbiano (μ) em relação à concentração de substrato (S).....	39
Gráfico 4.1.	Efeito sobre a concentração de oxigênio dissolvido, após adição ao lodo ativado de uma limitada quantidade de substrato.....	58
Gráfico 6.1.	Comparação entre os valores médio de TCO no reator controle e tratado.....	77
Gráfico 6.2.	TCO x $[H_2O_2]$	77
Gráfico 6.3.	Média da TCOe para os três ciclos de H_2O_2 nos reatores controle e tratado.....	78
Gráfico 6.4.	TCOe x $[H_2O_2]$	79
Gráfico 6.5.	Média do IVL para os reatores controle e tratado.....	79
Gráfico 6.6.	IVL x $[H_2O_2]$	80
Gráfico 6.7.	Comparação da qualidade biológica do lodo, através do IBL em relação à concentração de H_2O_2	81
Gráfico 6.8.	Variação do tamanho dos flocos no reator controle e tratado. Os valores obtidos foram significativos ($P < 0,05$).....	86
Gráfico 6.9.	Média de TCO para os reatores controle e tratado.....	89
Gráfico 6.10.	TCO x $[H_2O_2]$	89
Gráfico 6.11.	Média da TCOe para os reatores controle e tratado.....	91
Gráfico 6.12.	TCOe x $[H_2O_2]$ ao longo dos ciclos de aplicação do H_2O_2	91
Gráfico 6.13.	$IVL_{\text{médio}}$ para os reatores controle e teste do Experimento B	92

Gráfico 6.14.	IVL x [H ₂ O ₂].....	93
Gráfico 6.15.	IBL x [H ₂ O ₂].....	93
Gráfico 6.16.	Tamanho dos flocos no reator controle e tratado, no experimento B. Os valores obtidos foram significativos *(P<0,05)	101

LISTA DE TABELAS

Tabela 1.1.	Principais gêneros de microrganismos atuantes no processo de lodos ativados.....	32
Tabela 1.2.	Relação entre a microfauna e o desempenho do sistema de lodos ativados.....	33
Tabela 1.3.	Prováveis causas do <i>bulking</i> e sua relação com diferentes microrganismos filamentosos.	45
Tabela 1.4.	Relação entre o tamanho de filamentos e flocos e características do lodo.....	46
Tabela 1.5.	Relação entre diâmetro do floco e sua classificação.....	47
Tabela 1.6.	Classificação dos tipos de flocos.....	47
Tabela 3.1.	Faixas de Índice Volumétrico do Lodo (IVL).....	55
Tabela 5.1.	Tabela para determinação do IBL, baseado em grupos dominantes, densidade e unidades taxonômicas.....	72
Tabela 5.2.	Conversão dos valores IBL em quatro classes e respectivas características do sistema.....	73
Tabela 6.1.	Parâmetros físico-químicos da indústria farmacêutica e alimentícia de tratamento referente ao experimento A.....	75
Tabela 6.2.	Ciclos de aplicação do H ₂ O ₂ no experimento A e seus respectivos valores, referente à indústria farmacêutica.....	76
Tabela 6.3.	Valores referentes a cada ciclo de aplicação do H ₂ O ₂ no experimento B, referente à indústria alimentícia.....	88

LISTA DE EQUAÇÕES

Equação 1.1.	Relação A/M.....	28
Equação 1.2.	Taxa de crescimento bacteriano.....	35
Equação 1.3.	Concentração de biomassa.....	36
Equação 1.4.	Taxa de crescimento específico (μ).....	36
Equação 1.5.	Taxa de respiração endógena.....	38
Equação 1.6.	Coefficiente de reação.....	40
Equação 4.1.	Taxa de respiração total.....	59
Equação 5.1.	Vazão média de alimentação.....	61
Equação 5.2.	IVL.....	64
Equação 5.3.	Taxa de consumo de oxigênio.....	65
Equação 5.4.	Taxa de consumo de oxigênio específico.....	65

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

Ag	Prata
A/M	Relação Alimento/Microrganismo
AMB	Tecamebas
AMN	Amebas nuas
ATP	Adenosina Trifosfato
C	Carbono
°C	Graus Celsius
Ca	Cálcio
CF	Ciliados fixos
CLN	Ciliados livre natantes
Co	Cobalto
CO ₂	Gás carbônico
CO ₃ ⁻	Íons carbonato
CPF	Ciliados predadores de flocos
Cu	Cobre
d	Dias
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio
DBO:N:P	Demanda Bioquímica de Oxigênio: Nitrogênio: Fósforo

DBO/DQO	Demanda Bioquímica de Oxigênio/ Demanda Química de Oxigênio
DQO	Demanda Química de Oxigênio
ETE	Estação de Tratamento de Esgoto
F	Flagelados
Fe	Ferro
F/M	<i>Ratio Food to microrganism</i>
FLG	Flagelados
g	Gramas
H CO_3^-	Íons bicarbonato
H_2S	Sulfato de Hidrogênio
HOO^-	Ânion perhidroxila
H_2O_2	Peróxido de Hidrogênio
H_2O_2 (l)	Peróxido de Hidrogênio (líquido)
H_2O (l)	Água (líquida)
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$	Peróxido de Hidrogênio/Ozônio
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3/\text{U.V.}$	Peróxido de Hidrogênio/Ozônio/Ultra Violeta
$\text{H}_2\text{O}_2/\text{U.V.}$	Peróxido de Hidrogênio/ Ultra Violeta
IBL	Índice Biótico do Lodo
$\text{IBL}_{\text{médio}}$	Média do Índice Biótico do Lodo
IVL	Índice Volumétrico do Lodo

K	Potássio
Kg	Quilograma
Kg DBO ₅ /Kg SSV.d	Quilograma de Demanda Bioquímica de Oxigênio ₅ / Quilograma de Sólidos Suspensos Voláteis.dia
LES	Laboratório de Engenharia Sanitária
Mg	Magnésio
Mn	Manganês
Mo	Molibidênio
mg/L	Miligrama/litro
mg O ₂ /L	Miligrama de Oxigênio/Litro
mL	Mililitro
mL/g	Mililitro/grama
mL H ₂ O ₂ /L	Mililitro de Peróxido de Hidrogênio/Litro
mm	Milímetros
MTZ	Micrometazoário
Na	Sódio
N	Nitrogênio
N ₂	Nitrogênio atmosférico
NH ₃	Amônia
NH ₄ ⁺	Íon amônio
NO ₃ ⁻	Nitrato

O ₂	Oxigênio
O ₂ (g)	Oxigênio (gasoso)
O ₃	Ozônio
O.D.	Oxigênio Dissolvido
⁻ OH	Radical hidroxila
Organismos/mL	Organismos/mililitro
p	Grau de significância
P	Fósforo
Pb	Chumbo
Pl	Platina
pH	Potencial Hidrogeniônico
POA	Processo Oxidativo Avançado
RNFT	Resíduo Não Filtrável Total
RNFV	Resíduo Não Filtrável Volátil
TAMB	Tecameba
TECMA	Tecnologia em Meio Ambiente
S	Substrato
Se	Selênio
SD	Sólidos Dissolvidos
SDF	Sólidos Dissolvidos Fixos
SDV	Sólidos Dissolvidos Voláteis

SS	Sólidos Suspensos
SSF	Sólidos Suspensos Fixos
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SST	Sólidos Suspensos Totais
SSV	Sólidos Suspensos Voláteis
SSV/SS	Sólidos Suspensos Voláteis/Sólidos Suspensos
TOC	Taxa de Oxigênio Consumido
TCO _e	Taxa Específica de Oxigênio Consumido
UERJ	Universidade do Estado do Rio de Janeiro
U.V.	Ultra Violeta
V	Volts
V _{médio}	Volume médio
Zn	Zinco
ZFLGs	Zooflagelados
≤	Menor ou igual
<	Menor
≥	Maior ou igual
>	Maior
μ	Crescimento específico
μ _{máx}	Crescimento Específico Máximo

μm

Micrômetro

%

Porcentagem

θ

Coeficiente de temperatura

$o\text{-PO}_4$

Ortofosfato

SUMÁRIO

	INTRODUÇÃO	23
1	LODOS ATIVADOS	26
1.1.	O processo de lodos ativados	26
1.2.	Microbiologia de lodos ativados	28
1.3.	Crescimento microbiano	35
1.4.	Variáveis que interferem no processo de lodos ativados	39
1.5.	Filamentosos no processo de lodos ativados	43
2.	PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO	49
2.1.	Decomposição do peróxido de hidrogênio	49
2.2.	Importância do peróxido no tratamento de efluentes	49
2.3.	Utilização do peróxido de hidrogênio no controle de microrganismos filamentosos	51
3.	PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS	53
3.1.	Oxigênio dissolvido	53
3.2.	Sólidos	53
3.3.	Índice volumétrico do lodo	55
3.4.	Relação A/M (Alimento/Microrganismo)	56
4.	RESPIROMETRIA	57
5.	METODOLOGIA	60

5.1.	Escolha dos lodos Ativados	60
5.2.	Etapa operacional	60
5.2.1.	<u>Condições operacionais e montagem dos reatores</u>	60
5.2.2.	<u>Condições operacionais</u>	63
5.3.	Monitoramento da amostra	64
5.3.1.	<u>Análise dos parâmetros físico-químicos do lodo biológico</u>	64
5.3.2.	<u>Teste de sedimentabilidade do lodo biológico</u>	64
5.3.3.	<u>Teste de respiração</u>	64
5.4.	Análise Microscópica	67
5.4.1.	<u>Análise microscópica da microbiota, microrganismos filamentosos e flocos biológicos presentes no lodo biológico</u>	67
5.4.2.	<u>Análise qualitativa</u>	71
5.5.	Aplicação do peróxido de hidrogênio	73
5.6.	Análise estatística	74
6.	RESULTADOS E DISCUSSÃO	75
6.1.	Dados referentes à Indústria Farmacêutica e Alimentícia	75
6.2.	Experimento A: Indústria Farmacêutica	76
6.3.	Experimento B: Indústria Alimentícia	88
7.	CONCLUSÕES E ORIENTAÇÕES	103
	REFERÊNCIA	107
	Apêndice A – Indústria Farmacêutica (Experimento A)	113
	Apêndice B – Indústria Alimentícia (Experimento B)	115

INTRODUÇÃO

Poluição é toda alteração física ou química provocada no meio ambiente (Ricklefs, 2011). A contaminação de sistemas hídricos por contaminantes biológicos e/ou químicos produzidos a partir de ações antrópicas é um problema constante e uma rede de coleta de esgotos ineficiente contribui para tal situação (Sant'Anna Jr., 2010; Baird, 2011). Os resíduos gerados em atividades domésticas ou industriais quando lançadas em um corpo hídrico sem o devido tratamento, geram um aumento da carga orgânica no meio sendo necessária a remoção destes poluentes através de um processo de tratamento de efluentes (von Sperling, 1997; Sant'Anna Jr., 2010).

O processo de lodos ativados, amplamente utilizado no mundo, é um processo aeróbio com introdução de oxigênio por meio de aeração mecânica com o objetivo de biodegradação da matéria orgânica ocasionando o desenvolvimento de diversos microrganismos, sendo estes os responsáveis pela floculação biológica e remoção de poluentes (von Sperling, 2001; Beranger, 2009; Araújo, 2010).

Para uma maior eficiência do sistema de lodos ativados deve haver uma separação de sólido-líquido eficiente com o objetivo de promover uma clarificação satisfatória do efluente (von Sperling, 1997; Dezotti *et al*, 2011). Algumas características dos efluentes a serem tratados podem gerar problemas ao longo do processo de lodos ativados como a presença de substâncias tóxicas, OD, excesso de carga orgânica, ausência de macro e micronutrientes. O excesso de filamentosos, presentes no lodo ativado, pode prejudicar o processo de decantação do lodo, pois os filamentos se projetam, impedindo aderência a outros flocos e dessa forma reduzindo a eficiência do processo de sedimentação, fazendo com que o lodo seja levado juntamente com o efluente tratado (Vazóller *et al*, 1989; Jenkins *et al*, 2003; Dezotti *et al*, 2011). Esse fenômeno é conhecido como intumescimento do lodo ou *bulking*.

Diversos estudos têm mostrado a eficiência de diferentes desinfetantes dentre eles o peróxido de hidrogênio (H₂O₂), que não gera subprodutos tóxicos e se mostra eficiente no controle de filamentosos (Jenkins *et al*, 2003). Esses estudos se baseiam em resultados de IVL e testes respirométricos para avaliação da eficiência do peróxido de hidrogênio.

Outros trabalhos objetivam demonstrar a sucessão ecológica em reatores aeróbios, utilizando esta sucessão para uma avaliação da qualidade do lodo através de índices, como o

Índice Biótico do Lodo (IBL) proposto por Madoni (1994). Apesar desta análise qualitativa ser bem difundida, não há registros na literatura, da realização de análises microscópicas para avaliar a ação do H_2O_2 na atividade dos microrganismos em contato com esta substância.

Os lodos ativados utilizados para este trabalho são provenientes de duas Estações de Tratamento de Efluentes, uma indústria farmacêutica e a outra alimentícia, ambas operadas pela empresa TECMA.

Apesar de já conhecida a eficácia do peróxido de hidrogênio como desinfetante, os estudos até o momento mostram apenas sua eficácia em altas concentrações (Keller *et al*, 1972; Jenkins *et al* 2003), o presente estudo teve como objetivo avaliar a ação de uma solução de peróxido de hidrogênio no processo de lodos ativados, com foco no controle do intumescimento do lodo (*bulking* filamentoso). Além de testes de respiração e IVL, essa avaliação também foi realizada a partir de análises microscópicas, podendo desta forma observar a ação da solução de peróxido de hidrogênio sobre toda a microbiota do reator aeróbio.

Esta dissertação tem como objetivos:

- Caracterização físico-química e biológica do processo de tratamento das ETE's;
- Estudar a ação de uma solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) no intumescimento do lodo em reatores de bancada;
- Realizar análises microscópicas e comparar os resultados obtidos antes e depois da aplicação de H_2O_2 , fazendo desta forma um diagnóstico do tratamento;
- Caracterização da microfauna presente no lodo e sua possível relação com o *bulking* filamentoso;
- Realização de testes de respiração para avaliar o impacto da solução de H_2O_2 sobre o metabolismo da microfauna no processo de lodos ativados;
- Verificar a eficiência da solução de H_2O_2 na redução de *bulking* em processos de lodos ativados, assim como a quantidade necessária dessa solução.

No capítulo 1 são apresentadas informações sobre o processo de lodos ativados, baseado em diversos referenciais teóricos, assim como a microfauna característica do sistema, suas contribuições no tratamento biológico, a ação de microrganismos filamentosos e como o aumento destes pode alterar a eficiência do sistema.

O capítulo 2 mostra a ação do peróxido de hidrogênio, sua utilização no tratamento biológico, assim como sua ação desinfetante no controle de microrganismos filamentosos.

O capítulos 3 e 4 apresentam os parâmetros físico químicos necessários para o controle do processo de lodos ativados.

O capítulo 5 trata-se da metodologia adotada para o presente estudo. Neste capítulo descreveram-se as atividades relacionadas à fase experimental do estudo:

- I. Escolha dos lodos Ativados.
- II. Condições operacionais e montagem dos reatores, monitoramento da amostra, análise dos parâmetros físico-químicos do lodo biológico, teste de sedimentabilidade do lodo e testes de respiração.
- III. Análise microscópica quantitativa e qualitativa.
- IV. Aplicação do peróxido de hidrogênio.
- V. Análise estatística.

No capítulo 6 são discutidos os resultados obtidos nos testes de TCO, TCOe, IVL, avaliação quantitativa e qualitativa do lodo, esta última através do IBL e análise do tamanho dos flocos biológicos.

No capítulo 7 foram apresentadas as conclusões sobre o presente estudo, com o objetivo de contribuir com informações que facilitem o controle e avaliação do processo de lodos ativados e possíveis orientações para trabalhos a serem realizados.

1. LODOS ATIVADOS

1.1. O processo de lodos ativados

O processo de lodos ativados baseia-se no controle do crescimento microbiano no reator aerado, através da recirculação do lodo produzido no sistema (Campos, 1994 apud Beranger, 2010) O sistema de lodos ativados pode ser dividido pela idade do lodo, sendo classificado como convencional ou de aeração prolongada e quanto ao fluxo, fluxo contínuo ou fluxo intermitente (batelada) (von Sperling, 1997).

Os microrganismos formadores de flocos biológicos, tais como bactérias, protozoário, metazoários e anelídeos são responsáveis pela alta eficiência do processo de lodos ativados, pois realizarão a oxidação bioquímica dos compostos orgânicos e inorgânicos (Jordão *et al*, 2005; Bento *et al*, 2010).

O processo de lodos ativados consiste em um tanque de aeração, no qual o afluente e lodo ativado são misturados e aerados, com o objetivo de remover material orgânico solúvel e insolúvel promovendo assim a degradação dos poluentes pela ação dos microrganismos atuantes, seguido da separação das fases sólido-líquido (Eckenfelder, 1989; San'Anna Jr, 2010). Ao final do processo o sobrenadante clarificado é descartado, a maior parte do lodo retorna ao decantador primário, aumentando dessa forma a concentração microbiana; a outra parcela é então retirada para tratamento específico como demonstrado na **Figura 1.1** (Jordão *et al*, 2005; San'Anna Jr, 2010).

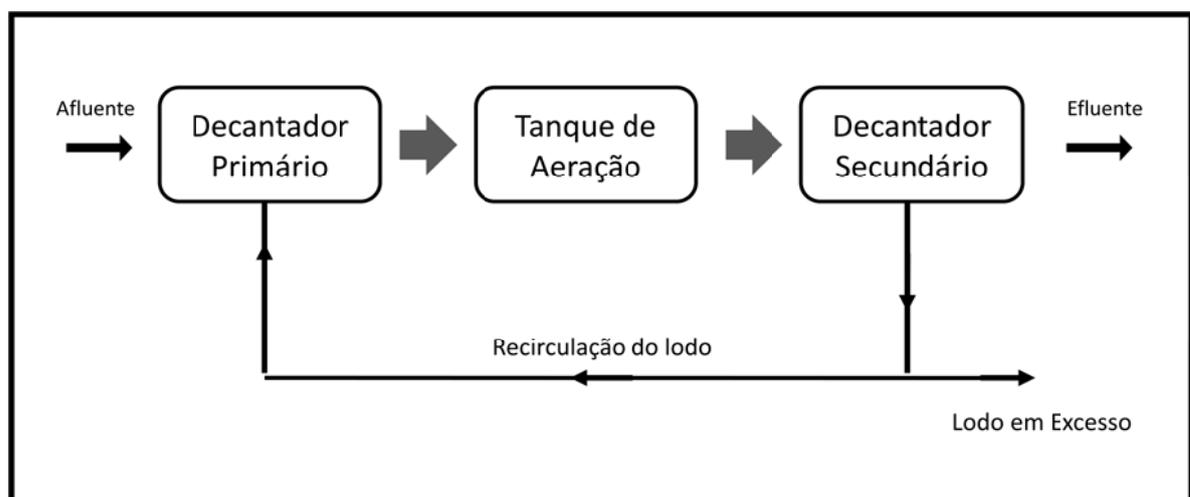


Figura 1.1. – Esquema representativo do processo de lodos ativados em regime contínuo. (Adaptado Jordão, 2005).

Para que o processo seja eficiente deve haver boa sedimentabilidade do lodo, caso essa não seja adequada, pode indicar uma concentração de microrganismos menor do que a necessária, podendo haver perda de sólidos, prejudicando a qualidade do efluente gerado (Sant'Anna, 2010; Dezotti *et al*, 2011).

O processo de lodos ativados é bastante flexível e pode ser adaptado para tratar uma grande variedade de efluentes, sendo assim diferentes tipos de processos já foram desenvolvidos. Uma das formas de classificar o processo de lodos ativados, tanto no sistema contínuo como no de bateladas, é a partir da idade do lodo (dias) e outra forma de controle é pela relação alimento/microrganismo (relação A/M) (von Sperling *et al*, 2005). Em lodos ativados convencionais de fluxo contínuo, a idade do lodo é de 4 a 10 dias, já os lodos ativados de aeração prolongada e fluxo contínuo a biomassa permanecem no sistema de 18 a 30 dias.

O sistema de lodos ativados de fluxo intermitente consiste na incorporação do processo de decantação primária, oxidação biológica e decantação secundária em um só tanque (von Sperling, 1997). Este no interior de apenas um tanque, denominado de reator, que atua primeiramente como tanque de aeração e posteriormente como decantador, como demonstra a **Figura 1.2**. A operação em bateladas segue a sequência descrita por von Sperling (1997) e van Haandel *et al* (1999):

1. Enchimento do reator – entrada do esgoto bruto;
2. Reação – aeração e mistura da massa líquida contida no reator;
3. Sedimentação do lodo no reator e separação dos sólidos em suspensão;
4. Descarga do efluente tratado e eventualmente do lodo em excesso.

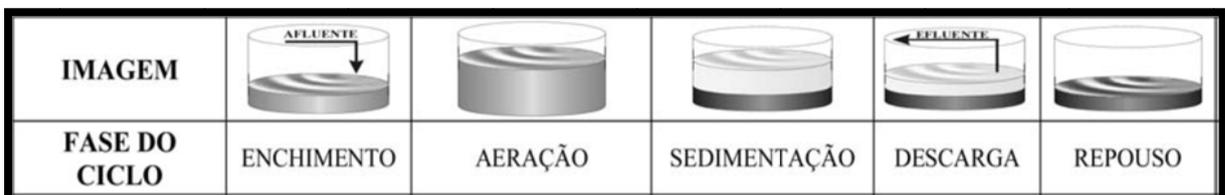


Figura 1.2. – Ciclos do processo de operação um reator em bateladas (Santos *et al*, 2006).

Uma das relações muito utilizada nas estações de tratamento é a relação alimento/microrganismo (relação A/M), também chamada de F/M (*food-to-microorganism ratio*), descrita na **Equação 1.1** (von Sperling, 1997; Jordão *et al*, 2005). Este parâmetro mede

a quantidade de alimento disponível por unidade de massa, sendo assim, pode-se concluir que quanto maior a DBO, menor será a eficiência na assimilação desse substrato. Esta relação pode ser expressa em termos de Kg de DBO ou Kg de DQO/kg de SST.d ou SSV.d. A relação A/M, assume os seguintes valores de 0,3 a 0,8 KgDBO₅/KgSSV.d para lodos ativados convencionais e 0,08 a 0,15 KgDBO₅/KgSSV.d para lodos ativados de aeração prolongada (von Sperling, 1997; Jordão *et al*, 2005).

$$\frac{A}{M} = \frac{Q \cdot S_0}{V \cdot X_v} \quad (\text{Equação 1.1})$$

onde:

A/M = Carga de lodo (Kg DBO₅/ Kg SSV.d)

Q = Vazão do afluente (m³/d)

S₀ = concentração de DBO₅ afluente (g/m³)

V = volume do reator (m³)

X_v = concentração de sólidos em suspensão voláteis (g/m³)

O processo de lodos ativados apresenta vantagens, como a maior eficiência do tratamento, maior flexibilidade de operação, porém também existem desvantagens relacionadas a esse processo como a grande área requerida para sua instalação, excesso de produção de biomassa, pequena flexibilidade com relação a flutuações da carga aplicada (van Haandel *et al*, 1999; Jordão *et al*, 2005; Dezotti *et al*, 2011).

1.2. Microbiologia de lodos ativados

O processo aeróbio de lodos ativados consiste na oxidação bioquímica da matéria orgânica por microrganismos que atuam no lodo biológico e a análise microscópica dos mesmos pode indicar as condições operacionais e a eficiência do processo (Madoni, 1994; Silva *et al*, 2000; Bento *et al*, 2005) . Esses microrganismos formam os flocos biológicos

constituindo desta forma um micro-ecossistema compostos por bactérias, protozoários, fungos e micrometazoários (Sant'Anna Jr., 2010).

Os principais constituintes da microbiota no processo de lodos ativados são as bactérias, incluindo as bactérias filamentosas responsáveis pela formação do floco biológico. As bactérias são microrganismos decompositores que degradam matéria orgânica do meio, porém seu crescimento deve ser controlado para que não cause intumescimento do lodo, provocando problemas na etapa de sedimentação (Vazollér *et al*, 1989; Jordão *et al*, 1997; Jenkins *et al*, 2003). Os microrganismos que compõem o sistema são muito diversificados e podem variar de acordo com mudanças físico-químicas e ambientais, um reduzido número de espécies em um sistema é indicativo de baixa eficiência, enquanto sistemas com maior biodiversidade apresentam maior eficiência (Madoni, 1994). Fatores como pH, relação A/M (alimento/microrganismos), oxigênio dissolvido (OD) e nutrientes devem ser controlados para garantir a sobrevivência da microfauna atuante no processo (Vazollér *et al*, 1989; Jenkins *et al*, 2003; Bento *et al*, 2005).

- Bactérias

As bactérias são microrganismos unicelulares, procariontes de grande importância no processo de lodos ativados tendo como função promover a oxidação biológica da matéria orgânica no sistema e também a formação de flocos, que são responsáveis por uma separação eficiente sólido-líquido aumentando a velocidade de sedimentabilidade (von Sperling, 2001; von Sperling *et al*, 2005).

As bactérias representam a maior parte da biomassa do processo e são classificadas de acordo com sua morfologia, nutrição e metabolismo e podem ser divididas em arqueobactérias e eubactérias, seu tamanho pode variar de 0,3 a 3 µm, enquanto as bactérias filamentosas são maiores que 100 µm (Gerardi, 2006). As arqueobactérias são microrganismos extremófilos que podem sobreviver em condições como alta concentração de sal (halófilos), alta temperatura (hipertermófilo) e ambientes com valor extremamente alto ou baixo de pH, as principais arqueobactérias do processo de lodos ativados são as bactérias metanogênicas, as eubactérias são as bactérias comumente encontradas no processo e podem ser de vida livre ou formadora de flocos (Gerardi, 2006; Sant'Anna, 2010; Ricklefs, 2011).

A comunidade bacteriana comum ao sistema aeróbio com biomassa em suspensão pode ser classificada em dois grupos: as formadoras de flocos e bactérias filamentosas, estas em excesso podem trazer problemas na sedimentação do lodo (van Haandel *et al*, 1999). O balanço entre esses dois grupos é responsável pelo sucesso operacional da estação de sistemas de lodos ativados (von Sperling, 1997; Sant'Anna, 2010). A **Figura 1.3** mostra exemplo de flocos de aparência arredondada com poucos filamentosos e a **Figura 1.4** um lodo ativado com excesso de microrganismos filamentosos.

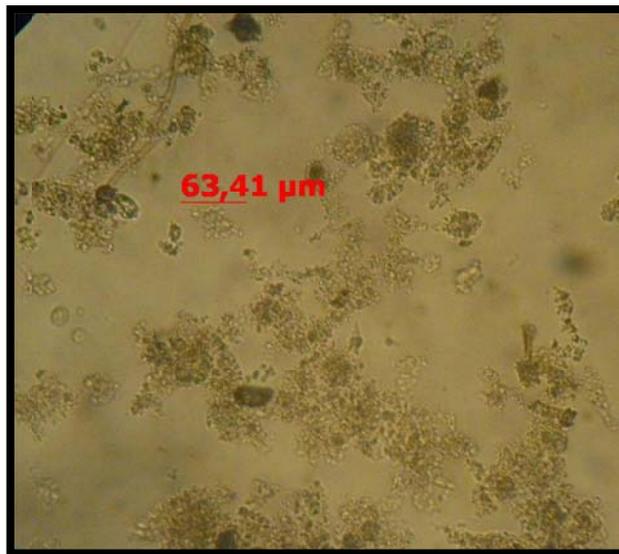


Figura 1.3. Amostra de lodo ativado de uma estação de tratamento de esgoto, mostrando a presença de flocos com boa formação, devido ao reduzido número de filamentosos. Aumento 250X (Araújo, 2010).

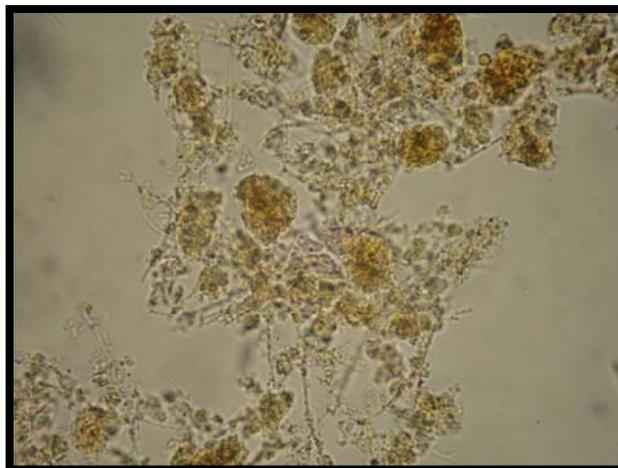


Figura 1.4. Lodo ativado de uma indústria farmacêutica com excesso de filamentosos. Aumento 400X.

Para o crescimento e reprodução das bactérias é necessária uma fonte de carbono para síntese de novo material celular, fonte de energia para a atividade metabólica, nutrientes inorgânicos, além de aminoácidos e vitaminas (Gerardi, 2006), caso essas condições não sejam encontradas, pode haver um baixo rendimento da estação de tratamento.

As bactérias mais frequentes nos lodos ativados são *Zoogloea ramigera*, *Archromobacterium*, *Chromobacterium* e *Pseudomonas*, dentre as filamentosas a mais comum é a *Sphaerotilus natans* (Vazóller, 1989; Gerardi, 2006).

- Protozoários

Os protozoários são organismos eucariotos e podem ser de vida livre ou sésseis e estes podem formar colônias (Barners, 1984). Segundo Jenkins *et al* (2003) os protozoários e metazoários representam até 5% da biomassa no sistema de lodos ativados, o que representa cerca de 50.000 organismos/mL. Os protozoários são responsáveis pela clarificação do efluente gerado, promovendo a redução da turbidez devido à predação de alguns microrganismos no meio, como bactérias livres ou aderidas ao floco biológico (Vazóller, 1989; Madoni, 1994). Segundo Barners (1984) os protozoários encontram-se divididos nas seguintes classes, de acordo com sua forma de locomoção:

- Mastigophora que compreende os protozoários flagelados (FLG);
- Ciliophora, protozoários ciliados, podendo ser divididos em ciliados livre natantes (CLN), ciliados fixos (CF) e ciliados predadores de flocos (CPF);
- Sarcodina inclui o grupo das amebas nuas (AMN) e tecamebas (AMB), protozoários que se locomovem por meio de pseudópodos.

Os grupos acima citados são comumente encontrados no processo de lodos ativados e as divisões acima utilizadas, CLN, CF, CPF, AMN, AMB, FLG, são propostas por Jenkins *et al*,(2003), sendo utilizadas por Madoni (2004) e Bento *et al* (2010).

Os ciliados predadores de flocos e os ciliados fixos promovem a remoção de material particulado não integrante dos flocos biológicos, contribuindo assim para uma melhor qualidade do efluente (Madoni, 1994; Bento *et al*, 2005; Gerardi, 2006). Jardim *et al* (1997) observou uma correlação positiva entre a remoção de sólidos sedimentáveis e a densidade de ciliados livres no tanque de aeração, isso pode estar relacionado ao fato dos ciliados livres

liberarem polissacarídeos e mucoproteínas, contribuindo para a boa formação do floco e contribuindo para a boa sedimentação do lodo.

Cerca de 230 espécies de protozoários podem ser observadas, porém alguns tipos são encontrados frequentemente e estão listadas na **Tabela 1.1**.

Tabela 1.1. Principais gêneros de microrganismos atuantes no processo de lodos ativados

Grupos		Gêneros Frequentes
Classe Ciliophora	Ciliados livre natantes	<i>Paramecium, Colpidium, Litonotus, Trachelophyllum, Amphileptus, Chilodonella.</i>
	Ciliados fixos	<i>Vorticella, Opercularia, Epistylis, Charchesium</i>
	Ciliados predadores de flocos	<i>Aspidisca, Euplotes, Oxytricha, Stylonychia</i>
Classe Mastigophora		<i>Euglena, Cercomonas, Peranema</i>
Classe Sarcodina		<i>Amoeba, Arcella, Astramoeba, Actinophrys</i>

Fonte: Adaptado de Vazóller *et al* (1989).

Os protozoários variam de acordo com as condições operacionais do sistema, dessa forma esses microrganismos tornam-se uma ferramenta para o monitoramento e determinação da qualidade do tratamento biológico (Jenkins *et al*, 2003), como por exemplo, a presença de ciliados demonstra boa depuração do sistema de tratamento, indicando maior estabilidade e eficiência no tratamento de efluentes (Hoffmann *et al*, 2001; Oliveira *et al*, 2009; Hermoso *et al*, 2010). Os ciliados livre natantes são microrganismos altamente sensíveis às substâncias

tóxicas, assim como os rotíferos, e podem atuar como bioindicadores no sistema de lodos ativados, indicando uma atuação satisfatório do processo (Jenkins *et al*, 2003). A **Tabela 1.2.** mostra a relação de microrganismos no processo e o desempenho do sistema de lodos ativados.

Tabela 1.2. Relação entre a microfauna e o desempenho do sistema de lodos ativados.

Grupo Dominante	Desempenho	Possíveis Causas
FLG	Fraco	Baixa aeração, sobrecarga e presença de subprodutos de fermentação
Pequenos CLN	Médio	Deficiência de aeração, baixo tempo de detenção hidráulico
Grandes CLN	Médio	Choques devido à sobrecarga, deficiência no processo de aeração
CPF	Boa	-
CF e CPF	Boa	-
CF	Decrescendo	Fenômeno de transição
AMN e FLG	Muito Fraco	Alta carga de compostos de difícil degradação
AMB	Boa	-

Fonte: Madoni (1994)

A **Figura 1.5** apresenta a fotomicrografia de alguns protozoários encontrados no sistema de lodos ativados.

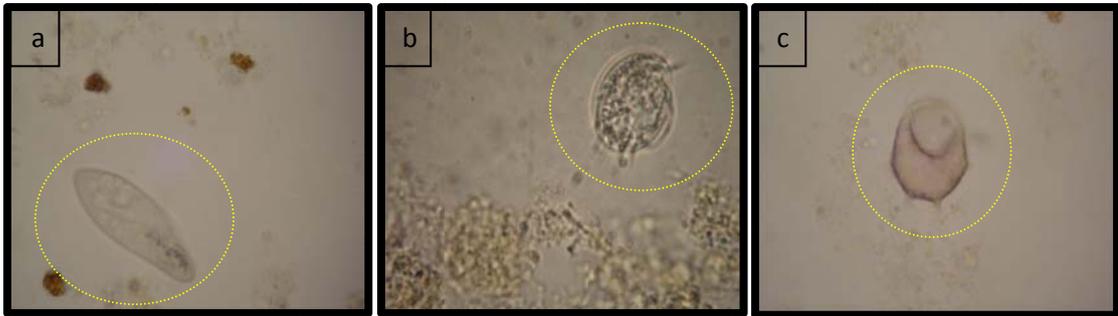


Figura 1.5. (a) *Paramecium sp.*; (b) CPF ; (c) AMB. Aumento 400X (a), (b) e (c).

Em seus estudos Madoni (1994) e Bento *et al* (2005) relacionaram a concentração de sólidos suspensos e turbidez do efluente diretamente proporcional às densidades de TAMBs ZFLGs e inversamente proporcionais à densidade de CLNs. Os ZFLGs são indicadores de efluentes com alta concentração de sólidos suspensos (SS) e DBO₅.

- Micrometazoários

Compreende o grupo dos rotíferos, nematelmintos e anelídeos. A presença desses micrometazoários, em especial rotíferos e anelídeos, estão associados a baixos níveis energéticos no sistema e alta idade do lodo, por apresentarem lenta taxa de crescimento (Cutollo *et al*, 2000; Hoffmann *et al*, 2001; Bento *et al*, 2005; Bento *et al*, 2010). Rotíferos atuando conjuntamente com ciliados livre natantes e ciliados predadores de flocos garantem a qualidade do lodo, trazendo maior eficiência para o processo de lodos ativados (Jenkins *et al*, 2003), pois atuam como microrganismos predadores de flocos e bactérias livres (Bento *et al*, 2005; Oliveira *et al*, 2009). Segundo Bento *et al* (2005) a alta densidade de metazoários no sistema está diretamente relacionada com o aumento do Índice Volumétrico do Lodo (IVL).

O resultado obtido pela microscopia dos lodos ativados serve como diagnóstico para controlar os processos operacionais do sistema, como idade do lodo, concentração de oxigênio, carga de substâncias tóxicas, relação A/M (Bento *et al*, 2005; Hoffmann, 2001; Hermoso *et al*, 2010).

A **Figura 1.6** mostra a fotomicrografia de um rotífero no sistema de lodos ativados de uma indústria farmacêutica.



Figura 1.6. Fotomicrografia de um rotífero, presente no lodo ativado de uma indústria farmacêutica. Aumento 1000X.

1.3. Crescimento microbiano

O crescimento microbiano ocorre em decorrência da remoção de substrato, sendo assim, quanto mais alimento for assimilado maior a taxa de crescimento microbiano. A matéria carbonácea é, no tratamento e esgotos, um fator limitante para o crescimento microbiano. A taxa de crescimento bacteriano pode ser medida em função da remoção de substrato (**Equação 1.2**) ou pela concentração de biomassa (**Equação 1.3**) (von Sperling, 1997).

$$\frac{dX_v}{dt} = Y \cdot \frac{d(S_o - S)}{dt} \quad (\text{Equação 1.2})$$

onde:

X_v = concentração de sólidos em suspensão voláteis, SSV (g/m^3)

Y = coeficiente de produção celular (massa de SSV produzidos por unidade de massa de DBO reduzida) (g/g)

S_o = concentração de DBO_5 total do afluente (g/m^3)

t = tempo (d)

$$\frac{dX_v}{dt} = \mu \cdot X_v \quad (\text{Equação 1.3})$$

onde:

X_v = concentração de biomassa no reator, representada por SSV (g.SSV/m³)

μ = taxa de crescimento específica (d⁻¹)

t = tempo (d)

As equações acima são para crescimento microbiano sem restrição de recursos alimentares, porém o crescimento microbiano é em função da concentração de substrato disponível no meio, sendo assim, este crescimento em culturas pode ser observado segundo o modelo da curva de Monod (**Gráfico 1.1**). Este modelo tem sido amplamente utilizado para estimar a constante cinética do crescimento microbiano em substratos que apresentam compostos inibitórios e não inibitórios (Fia *et al*, 2010). A equação de Monod mede a taxa de crescimento específico (μ) e está representada na **Equação 1.4**.

$$\mu = \mu_{m\acute{a}x} \cdot \frac{S}{K_S + S} \quad (\text{Equação 1.4})$$

onde:

μ = taxa de crescimento específico

$\mu_{m\acute{a}x}$ = taxa de crescimento específico máximo (d⁻¹)

S = concentração do substrato limitante (g DBO₅/m³)

K_s = constante de saturação, a qual é definida como a concentração do substrato para a qual $\mu = \frac{\mu_{m\acute{a}x}}{2}$ (g DBO₅/m³)

As etapas de crescimento microbiano (**Gráfico 1.1**) descritas por Monod, foram citadas por Vazóller *et al* (1989). Essas etapas ou fases são:

- Fase Lag ou de Aclimação: representa a fase de adaptação dos microrganismos às condições do meio. Esta fase caracteriza-se por tempos de gerações longos e velocidade de crescimento nula;
- Fase de aceleração: fase de crescimento microbiano e conseqüente consumo do substrato. Esta fase apresenta um aumento na velocidade de crescimento com o tempo;
- Fase Log ou Exponencial: velocidade máxima de crescimento microbiano. Isso é decorrente às condições adequadas do meio, como substrato abundante, baixa concentração de metabólitos tóxicos;
- Fase Estacionária: velocidade de crescimento volta a ser nula, em decorrência do esgotamento do substrato ou aumento de substâncias tóxicas com níveis incompatíveis com o crescimento microbiano;
- Fase de Declínio: redução no número de microrganismos causada por sua morte ou lise celular.

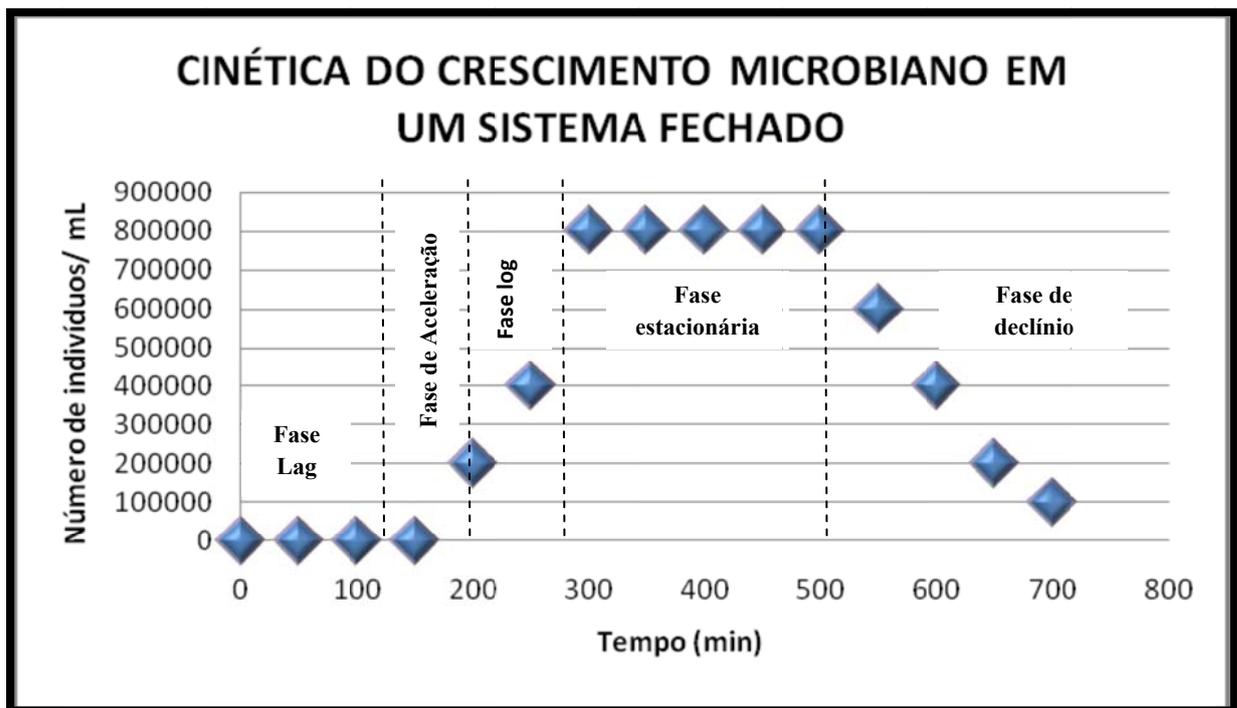


Gráfico 1.1. Cinética do crescimento microbiano em um sistema fechado e a representação de suas fases (Adaptado de Araújo, 2010).

Na fase estacionária e de declínio ocorre a respiração endógena, que caracteriza a fase endógena, onde após um esgotamento dos substratos do meio os microrganismos consomem suas reservas de substrato em um processo de auto-oxidação, sem que haja reposição destas.

Neste processo ocorre lise celular e seu material intracelular torna-se disponível para outros microrganismos do meio, havendo consumo de oxigênio do meio, sem que haja consumo de matéria orgânica no reator (Vazóller *et al*, 1989; Jordão *et al*, 2005).

O modelo de Monod foi proposto para culturas bacterianas puras, para tratamento de efluentes este modelo não consegue descrever a fase de declínio (Sant'Anna Jr, 2010). No metabolismo endógeno, deve-se considerar apenas a fração biodegradável da biomassa que compreende a biomassa ativa, já que a fração não biodegradável, composta por substâncias não biodegradáveis do efluente e resíduos produzidos na respiração endógena, não está sujeita ao decaimento (von Sperling, 1997). Esta taxa, formulada a partir do modelo de Monod que sofreu modificações para considerar a respiração endógena, está representada na **Equação 1.5**.

$$\frac{dX_b}{dt} = -K_d \cdot X_d \quad (\text{Equação 1.5})$$

onde:

X_b = concentração de SSV biodegradáveis (mg/L)

K_d = coeficiente de respiração endógena (d^{-1})

Em condições de abundância de substrato, os microrganismos crescem com a taxa de crescimento específico máximo ($\mu_{\text{máx}}$), quando reduz o substrato (S) a taxa de crescimento específico (μ) diminui até atingir valor igual a zero, nesta condição a concentração de substrato é nula, como mostra o **Gráfico 1.2** (Sant'Anna Jr., 2010).

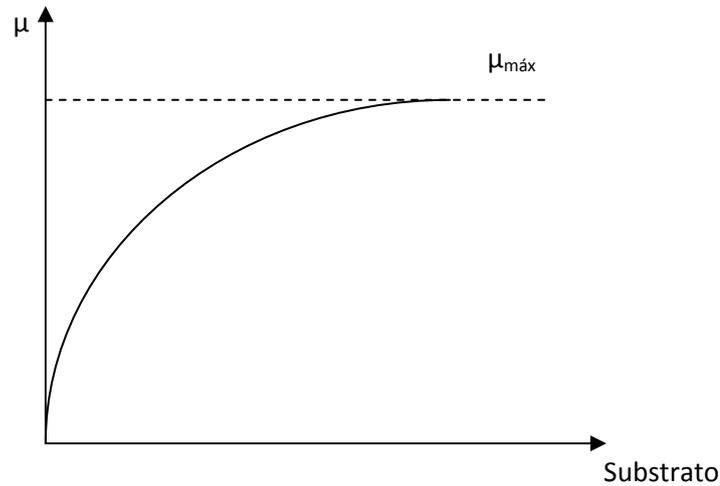


Gráfico 1.2. Taxa de crescimento microbiano (μ) em relação à concentração de substrato (S). (Adpatado de Sant'Anna Jr, 2010).

1.4. Variáveis que interferem no processo de lodos ativados

O sucesso na eficiência do processo de lodos ativados está diretamente relacionado aos fatores que interferem no crescimento da microfauna, podemos dividir esses fatores em nutricionais físicos ou químicos (Gerardi, 2006).

- *Temperatura*

A temperatura tem grande influência no metabolismo microbiano, afetando as taxas de oxidação das matérias carbonáceas e nitrogenadas.

A temperatura exerce duas principais influências sobre a população de microrganismos do lodo, influenciando a taxa de substratos e nutrientes que penetram nas células microbianas e afetando a atividade enzimática (Eckenfelder *et al*, 1989; Gerardi, 2006). O impacto da temperatura na atividade microbiana é significativo, um aumento de 10,0°C no meio duplica a atividade enzimática. O aumento das taxas metabólicas se mantém até uma temperatura ótima, acima dessa temperatura pode haver desnaturação das enzimas atuantes no processo levando a uma redução da taxa metabólica (von Sperling, 1997; Gerardi, 2006).

Há três faixas de temperaturas: mesófila que opera entre 4,0°C a 39,0°C; a termofílica operando com picos de temperatura de 55°C; psicofílicas operando abaixo de 4°C. O processo de lodos ativados atua em faixa mesofílica (Eckenfelder, 1989). A faixa de temperatura é um fator seletivo, podendo ser responsável por mudanças no processo de lodos ativados, por exemplo, a uma temperatura de 35,5°C há a degradação do floco biológico; a uma temperatura de 40,0°C podemos observar o desaparecimento de protozoários e a uma temperatura de 43,3°C há a presença de flocos dispersos com filamentosos (Eckenfelder, 1989; von Sperling, 1997).

A relação entre temperatura e a taxa de reação está expressa na **Equação 1.6**, esta equação é válida para uma faixa mesofílica.

$$K_T = K_{20} \cdot \theta^{(T-20)} \quad (\text{Equação 1.6})$$

onde:

K_T = coeficiente de reação a uma determinada temperatura T (dia⁻¹)

K_{20} = coeficiente de reação a uma temperatura de 20°C (dia⁻¹)

θ = coeficiente de temperatura (-)

T = temperatura do meio (°C)

Se θ for igual a 1,02, o valor da taxa de reação aumenta 2% a cada acréscimo de 1°C na temperatura do meio (Eckenfelder, 1989; Eckenfelder *et al*, 1995; von Sperling, 1997). Em águas residuais de indústrias o valor de θ pode variar de 1,03 a 1,10.

- *Efeito do pH*

O pH do meio interfere diretamente no processo de oxidação biológica da matéria orgânica do sistema, podendo acelerar ou reduzir a atividade metabólica dos microrganismos neste processo. Para uma melhor atuação do processo de lodos ativados temos que o pH ideal para o sistema é acima de 5,0 e abaixo de 9,0 sendo a faixa ótima de pH acima de 6,5 e abaixo

de 8,5, nesta faixa há uma melhor degradação de compostos orgânicos no meio (Eckenfelder, 1989). Apesar da literatura admitir uma faixa de pH ideal entre 6,5 e 8,5, Beranger (2009) observou em seus estudos que variações agudas de pH em uma faixa de 4,5 a 11, a comunidade microbiana continua respirando, mostrando que consegue suportar esta ampla faixa de variação do pH.

Segundo Gerardi (2006) a faixa de pH ideal para o desenvolvimento bacteriano é um pH acima de 4,0 e abaixo de 9,5 ($4 < \text{pH} < 9,5$), sendo a faixa ótima acima de 6,5 abaixo de 7,5. As bactérias podem ser divididas em três grupos correspondentes ao pH em que atuam, sendo classificadas como neutrófilas, quando atuam em pH entre 5,4 e 8,5; acidófilas, como por exemplo *Thiobacillus* e *Sulfolobus*, quando atuam em pH abaixo de 2,0 ou alcalinófila, como por exemplo *Nitrosomonas* e *Nitrobacter*, quando atuam em pH com valores entre 7,0 e 11,5 (Gerardi, 2006).

Nos sistemas de mistura completa íons hidroxila (OH^-) livre, reagem com o CO_2 produzido na atividade metabólica microbiana, gerando íons carbonato (CO_3^-) e bicarbonato (HCO_3^-) que atuam como um tampão no sistema, fazendo com que o pH fique em torno de 8,0 (Eckenfelder, 1989).

Segundo Gerardi (2006), os problemas operacionais em um sistema de tratamento biológico, para unidades de pH com valores menores que 6,8 são:

- Redução da atividade enzimática;
- Aumento da produção de sulfeto de hidrogênio (H_2S);
- Inibição do processo de nitrificação;
- Interrupção da formação do floco e
- Crescimento indesejado de fungos filamentosos e *Nocardioforms*.

Para um sistema de tratamento biológico operando a um pH acima de 7,2, ocorrem as seguintes interferências:

- Redução da atividade enzimática;
- Aumento da produção de amônia (NH_3);
- Inibição do processo de nitrificação e
- Interrupção na formação do floco.

- *Fatores nutricionais*

Fatores nutricionais incluem o substrato e os nutrientes do meio, os nutrientes necessários no processo de oxidação biológica são manganês (Mn), cobre (Cu), zinco (Zn), molibdênio (Mo), Selênio (Se), magnésio (Mg), cobalto (Co), cálcio (Ca), sódio (Na), potássio (K) e ferro (Fe). No processo de lodos ativados esses nutrientes são necessários para o desenvolvimento da microfauna, nesta há uma relação de competição entre os diferentes microrganismos pelos macronutrientes e micronutrientes do meio. Os microrganismos do processo de lodos ativados necessitam de macronutrientes como nitrogênio (N), fósforo (P), além do carbono (C), Ca, Na, K e Mg para suas atividades metabólicas, processos de síntese e remoção de substâncias orgânicas, além de micronutrientes como Zn, Co, Cu, que podem atuar como co-fator em processos enzimáticos e em conjunto com os macronutrientes atuam na boa formação dos flocos biológicos (Eckenfelder *et al*, 1995; von Sperling, 1997). Os micronutrientes metálicos são necessários em pequenas concentrações, em contrapartida, os macronutrientes são requeridos em maior concentração. Esses micronutrientes quando adicionados ao meio levam a um aumento de biodiversidade e tendo sua presença reflexo na boa formação do floco biológico (Araújo, 2010).

O nitrogênio em geral é encontrado na forma de íon amônio (NH_4^+) ou como nitrato (NO_3^-), mas também pode ser encontrado na forma de amônia livre. A carência deste macronutriente pode interferir na remoção de DBO; o fósforo é encontrado sob a forma de ortofosfato ($o\text{-PO}_4$), sendo esta substância retirada de compostos orgânicos e inorgânicos que contenham fósforo (Eckenfelder *et al*, 1995). Baixa quantidade de nitrogênio e fósforo pode estar relacionada com a formação de *bulking*, a relação adequada para remoção de DBO é na razão de 100:5:1 (DBO:N:P) ou a razão máxima de 150:5:1 (DBO:N:P) (Eckenfelder *et al*, 1995; Jenkins, 2003).

- *Toxicidade*

A toxicidade de sistemas de oxidação biológica pode ter diversas causas como a presença de fenóis em alta concentração, porém em baixa concentração há biodegradação deste composto, substâncias como metais pesados, sendo sua toxicidade dependente das condições de operação e presença de altas concentrações de sais inorgânicos e amônia (Eckenfelder, 1989).

Costa (2009) em seu estudo observou a influência da toxicidade na biodiversidade da microfauna no sistema de lodos ativados e como esta toxicidade pode afetar a taxa de consumo de oxigênio (TCO). A capacidade de cada sistema para suportar diferentes cargas tóxicas depende das características de cada lodo biológico que está relacionado ao tipo de indústria ao qual pertencem, sendo assim lodo de uma indústria farmacêutica, por exemplo, terá condições de suportar concentrações maiores de compostos tóxicos. A toxicidade também afeta a taxa de consumo de oxigênio (TCO), quanto mais intoxicado menor a TCO, como o que foi apresentado para uma indústria farmacêutica.

1.5. Filamentosos no processo de lodos ativados

Para que o processo de lodos ativados seja eficiente deve haver uma separação sólido-líquido no decantador secundário a fim de garantir a clarificação do efluente gerado e adensamento do lodo, essas funções ficam comprometidas caso haja uma má sedimentação do lodo (von Sperling, 1997). O lodo pode sofrer diferentes tipos de deterioração, a mais comum é o intumescimento do lodo (*bulking*), causado pelo crescimento excessivo de microrganismos filamentosos (Bitton, 2010).

Os flocos do lodo ativado são formados por micro e macroestruturas. As microestruturas são formadas pelos processos de adesão e biofloculação; a macroestrutura é constituída por organismos filamentosos (Jordão *et al*, 1997; van Haandel *et al*, 1999). O floco é composto por bactérias formadoras de flocos e bactérias filamentosas, os filamentosos presentes nos flocos biológicos também podem ser compostos por fungos, mas a maioria dos microrganismos são bactérias filamentosas, como *Pseudomonas*, *Achromobacter*, *Flavobacterium*, *Alcaligenes* e *Zoogloea* (von Sperling, 1997; Jenkins *et al*, 2003).

Para uma maior eficiência do processo de lodos ativados deve haver um equilíbrio entre os microrganismos formadores de flocos e os microrganismos filamentosos, que devem se manter no interior do floco, garantindo resistência e suporte (Jordão *et al*, 2005). Segundo von Sperling (1997) quando há um equilíbrio entre organismos filamentosos e os formadores de flocos, o floco formado é forte e grande garantindo assim boa decantabilidade e adensamento do lodo, nesta condição o IVL é baixo. Porém quando há redução de organismos formadores de flocos, o floco é pouco rígido apresentando-se fraco e pequeno (“pin-point”), em decorrência desta característica há uma má decantabilidade e turbidez, as causas da

presença de flocos do tipo pint-point, são cargas orgânicas muito baixas, muita agitação no tanque de aeração, presença de substâncias tóxicas e compostos complexos e recalcitrantes (van Haandel *et al*, 1999; Jordão *et al*, 2005). As bactérias filamentosas são essenciais para a formação dos flocos por isso, quando em pequena quantidade pode haver a perda da estrutura dos flocos biológicos resultando em uma baixa eficiência do processo (Bitton, 2010).

Em uma terceira condição podemos encontrar microrganismos filamentosos em excesso, como demonstrado na **Figura 1.2**. Nesta condição os flocos ficam menos densos e a aproximação entre eles é dificultada devido a formação de uma espécie ponte entre os flocos (van Haandel *et al*, 1999). Os filamentos impedem a aderência dos flocos fazendo com que após a sedimentação, os flocos ocupem volume excessivo apresentando alta taxa de IVL (van Haandel *et al*, 1999; Hermoso *et al*, 2010) .

O IVL é um parâmetro utilizado para medir a sedimentação do lodo, o que pode indicar a qualidade dos flocos encontrados no sistema, já que o IVL é diretamente proporcional à quantidade de filamentosos no sistema. Existem diferentes faixas de sedimentação que são propostas como ideais. Uma das determinações foi feita por Jordão *et al* (2005), onde a classificação de um IVL ideal para lodos é na faixa de 40 a 150 mL/g, nesta faixa há boa sedimentação e baixa turbidez do efluente, acima desta faixa de IVL pode haver excesso de filamentosos e conseqüente intumescimento do lodo. Em alguns casos, como na presença de flocos “*pin-point*”, o IVL pode ser até menor que 40 mL/g, porém o efluente costuma apresentar turbidez e sólidos em suspensão. Jenkins *et al* (2003) propõem que um IVL ideal se apresenta na faixa de 80 a 120 mL/g, abaixo de 80 mL/g há presença de flocos *pin-point* e baixa sedimentabilidade do lodo, já um IVL acima de 120 mL/g pode gerar o intumescimento do lodo.

Jardim *et al* (1997) observaram em seu estudo a predominância de *Sphaerotilus natans*, uma bactéria filamentosa que contribui com o fenômeno de intumescimento do lodo e correlacionou-a de forma negativa com a remoção de sólidos suspensos. O grupo de microrganismos filamentosos formadores da biomassa de reatores biológicos em águas residuárias, pode ser um indicativo do aparecimento de *bulking*, estes microrganismos estão listados na **Tabela 1.3**.

Tabela 1.3. Prováveis causas do *bulking* e sua relação com diferentes microrganismos filamentosos.

Causas	Organismos Filamentosos Relacionados
Baixa concentração de Oxigênio dissolvido	Tipo 1701, <i>Sphaerotilus natans</i> , <i>H. hydroxsis</i>
Baixa relação A/M	<i>M. parvicella</i> , <i>Nocardia</i> sp., <i>H. hydroxsis</i> , Tipos 021N, 0041, 0675, 0092, 0581, 0961, 0803
Esgoto em estado séptico e Sulfetos	<i>Thiothrix</i> sp., <i>Beggiatoa</i> sp., Tipo 021N
Deficiência de nutrientes (N, P)	<i>Thiothrix</i> sp., Tipos 021N, 041 (na presença de despejos industriais), 0675
Baixo pH (<6)	Fungos

Jenkins (2003) apud Jordão *et al* (2005).

Os fatores que influenciam no crescimento de filamentosos são os mesmos que interferem no crescimento dos outros microrganismos no sistema e podem ser divididos em: características das águas residuárias; parâmetros do processo; condições de operação da planta (Jenkins *et al*; 2003).

Alguns destes fatores citados por von Sperling (1997) e Jenkins *et al* (2003) estão listados abaixo:

- Baixo oxigênio dissolvido (OD)
- Baixa relação A/M
- Esgoto afluyente séptico
- Deficiência de nutrientes (N e P)
- Baixo pH
- Sulfetos dissolvidos
- Lipídios, principalmente os que contêm gorduras insaturadas e ácidos oléicos.

O controle deste fenômeno pode ser realizado a nível operacional, como recirculação do lodo, fornecimento de uma quantidade satisfatória de oxigênio, adição de produtos químicos, cloração, no entanto hoje se prioriza a utilização de prevenção do intumescimento do lodo. Uma das formas de prevenir tal problema é a incorporação de seletores, onde inicialmente existe um ambiente favorável à reprodução de microrganismos, passando em seguida por um processo de estresse, ocorrendo uma redução no número de microrganismos no processo (von Sperling, 1997; Jordão *et al*, 2005).

Alguns critérios são utilizados para avaliar a qualidade do lodo no reator, baseando-se nas características dos flocos, esses critérios podem divergir entre autores diferentes, como Vazollér (1989) demonstrado na **Tabela 1.4**, Jenkins *et al* (2003) **Tabela 1.5** e Eikelboom (2000) na **Tabela 1.6**.

Tabela 1.4 – Relação entre o tamanho de filamentos e flocos e características do lodo.

Filamentos (bac/mL)	Tamanho dos Flocos	Diâmetro	Características do Lodo
10^1 a 10^2	Pequeno	< 50 μm	Lodo disperso (<i>pint-point</i>) Provável intumescimento do lodo
10^2 a 10^6	Pequeno	< 50 μm	Provável intumescimento do lodo
	Médio a grande	>100 a 300 μm	Lodo em boas condições
10^6 a 10^8	Pequeno a Médio	<100 μm	Provável intumescimento do lodo
	Grande	>150 μm	Intumescimento do lodo
> 10^8	–	–	Intumescimento do lodo

Adaptado de Vazollér (1989).

Para Jenkins *et al* (2003), a classificação se dá da seguinte forma, como mostra a **Tabela 1.5**.

Tabela 1.5. Relação entre diâmetro do floco e sua classificação.

Tamanho	Diâmetro
do Floco	do Floco
Pequeno	$\leq 150 \mu\text{m}$
Médio	$150 - 500 \mu\text{m}$
Grande	$\geq 500 \mu\text{m}$

(Adaptado Jenkins *et al*, 2003).

Eikelboom (2000) traz a seguinte classificação:

Tabela 1.6. Classificação dos tipos de flocos

Tamanho	Diâmetro
do Floco	do Floco
Pequeno	$< 25 \mu\text{m}$
Médio	$25 - 250 \mu\text{m}$
Grande	$> 250 \mu\text{m}$

(Adaptado Eikelboom, 2000).

Os tipos de flocos encontrados no processo de lodos ativados são variados, estando quase sempre presentes os pequenos flocos ($< 25 \mu\text{m}$), porém quando em excesso podem causar turbidez no efluente clarificado (Eikelboom, 2000). A partir de análises microscópicas qualitativas do lodo, envolvendo aspectos gerais do floco como tamanho e quantidade de

filamentos, compactação entre outros, e a identificação de espécies dominantes é possível caracterizar as condições depurativas do lodo (Bento *et al*, 2005).

2. PERÓXIDO DE HIDROGÊNIO

2.1. Decomposição do peróxido de hidrogênio

O peróxido de hidrogênio se decompõe em O₂ e H₂O de acordo com a reação abaixo:



Segundo US Peroxide e Lee *et al* (2000), os fatores que contribuem com a decomposição do peróxido de hidrogênio são:

- Aumento de pH;
- Aumento da temperatura;
- Presença de metais que atuam como catalisadores iônicos, como Ferro (Fe), Manganês (Mn), Cobre (Cu), Chumbo (Pb), Platina (Pt) e Prata (Ag);
- Exposição aos raios ultravioleta.

O manuseio de peróxido de hidrogênio deve ser cuidadoso, já que esse produto pode causar queimaduras e/ou irritações na pele, olhos e aparelho respiratório. Por ser um forte oxidante e liberar oxigênio em sua decomposição, pode contribuir na combustão de produtos inflamáveis. Os principais sintomas por intoxicação ao peróxido de hidrogênio são irritações, queimaduras, conjuntivite, asma e doenças respiratórias.

2.2. Importância do peróxido no tratamento de efluentes

A ação oxidante do peróxido de hidrogênio (H₂O₂) é superior ao cloro, dióxido de cloro e permanganato de potássio; através de sua catálise pode gerar radicais hidroxila ([•]OH) (Mattos *et al*, 2003). Devido a estas características o H₂O₂ é utilizado como desinfectante e nos chamados Processos Oxidativos Avançados (POA) que são baseados na formação de radicais hidroxila ([•]OH), agente altamente oxidante (Nogueira *et al*, 1998). O peróxido de hidrogênio é um poderoso agente oxidante, com potencial de oxidação de 1,77V e possui como vantagem não se decompor em subprodutos tóxicos (Mattos *et al*, 2003, Méndez *et al*, 2009). O peróxido de hidrogênio é um potente oxidante líquido, que por não introduzir elementos contaminantes na água a tratar, não ser formador de organoclorado, composto que

pode ser formado a partir da aplicação de Cl_2 e ser um dos oxidantes químicos de mais baixo custo vem sendo muito utilizado em ETE's (Melo *et al.*, 2009).

O peróxido de hidrogênio pode ser usado isoladamente ou combinado com Fe^{+2} , U.V., O_3 , como nos POA's, estimulando a produção de radicais hidroxil como mostra a **Figura 2.1**. O POA's podem apresentar alto custo, quando implementado em grande escala, devido a retirada de nanopartículas dos fotocatalisadores, fonte de radiação ultravioleta (U.V.), adição de reagentes instáveis, além do consumo de radicais hidroxila que acabam não levando à degradação dos compostos alvos (Pereira *et al.*, 2005).

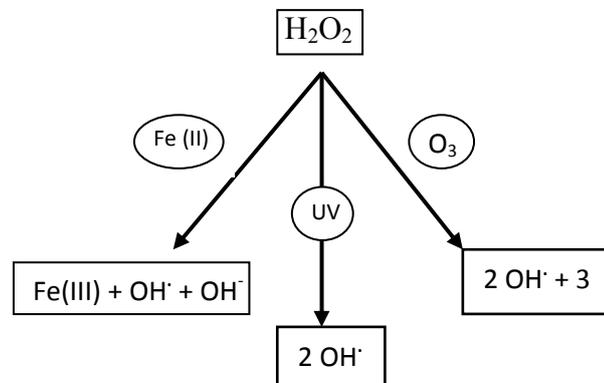


Figura 2.1. Produção de radical hidroxil via tratamento de Fenton, radiação U.V./ H_2O_2 e ozonização ($\text{O}_3/\text{H}_2\text{O}_2$).

A ação do peróxido de hidrogênio é variada, podendo ser utilizado na área médico-hospitalar, redução de DBO/DQO, processos de branqueamento em indústrias têxtil e de celulose, tendo sido este efeito geralmente atribuído à ação oxidante do ânion perhidroxila (HOO^-), no controle de odores, e controle de bioprocessos, como desinfecção, pré-tratamento de efluentes industriais, aprimoramento de tratamentos biológicos, tratamento terciário e tratamentos emergenciais de água (Mattos *et al.*, 2003, Méndez *et al.*, 2009).

Em indústrias de papel e celulose há uma grande produção de organoclorados, produzidos a partir da utilização do cloro no processo de clareamento da polpa, alguns dos quais são considerados altamente tóxicos como clorofenóis, clorocatecóis e dioxinas, as indústrias passaram a utilizar compostos que produzem radical hidroxila, como peróxido de hidrogênio, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3$, $\text{H}_2\text{O}_2/\text{O}_3/\text{U.V.}$ para substituir o cloro (Freire *et al.*, 2000). A utilização do $\text{H}_2\text{O}_2/\text{U.V.}$ também tem sido útil para degradação de poluentes orgânicos e compostos

fenólicos. Compostos fenólicos podem ser utilizados somente o peróxido de hidrogênio, que tem como vantagem a ocorrência de sua reação em condições ambientais, permitindo assim a degradação de vários compostos orgânicos com um custo reduzido (Britto *et al.*, 2008; Freire *et al.*, 2000). O processo $H_2O_2/U.V.$ é uma técnica também utilizada na redução de cor e compostos aromáticos presentes em efluentes têxteis. Esse sistema, $H_2O_2/U.V.$, é o mais utilizado no tratamento de poluentes perigosos/refratários, presentes em efluentes da indústria têxtil e para maior eficiência desse processo o pH deve ser controlado, sendo o pH ideal em torno de 11 (Hassemer *et al.*, 2005).

2.3. Utilização do peróxido de hidrogênio no controle de microrganismos filamentosos

O peróxido de hidrogênio possui ação desinfetante, podendo dessa forma auxiliar no controle de microrganismos filamentosos (Caropreso *et al.*, 1974 apud Jenkins *et al.*, 2003).

A ação do peróxido de hidrogênio pode ser diferente de acordo com o tipo de microrganismo presente no meio. Podemos separar os seres vivos em dois grandes grupos o primeiro dos procariontes, que compreende os organismos do Reino Monera e o segundo o grupo dos eucariontes, que compreende os demais Reinos, Protozoa, Funghi, Plantae, Animalia. Os organismos procariontes são mais simples que os eucariontes e observa-se a ausência de determinadas organelas, como mitocôndria, retículo endoplasmático, complexo de golgi e peroxissomos (Nelson *et al.*, 2011; Ricklefs, 2011). Esta última organela possui uma função muito importante para os organismos eucariotos, pois é capaz de degradar o H_2O_2 antes que esse composto consiga agir sobre suas estruturas. Os peroxissomos contêm enzimas oxidativas, como catalase urato-oxidase, quando o H_2O_2 se acumula na célula a catalase converte esse composto em H_2O e O_2 (Raff *et al.*, 2010). Sendo assim, a ação deste composto sobre organismos eucariontes torna-se mais difícil que em organismos procariontes.

Entre as substâncias mais usadas para eliminação de microrganismos filamentosos, já que estes podem alterar a qualidade do efluente gerado como descrito no item 1.4, estão o peróxido de hidrogênio e cloro devido à sua desinfetante, ação do peróxido de hidrogênio no controle de filamentosos tem uma ação similar à cloração (van Haandel *et al.*, 1999; Jenkins *et al.*, 2003). Segundo Eckenfelder (1989) o peróxido de hidrogênio possui ação seletiva para algumas bactérias filamentosas, podendo ser adicionado ao lodo em seu retorno na faixa de 20 a 50 mg/L. Estudos comparativos entre cloro e peróxido e hidrogênio para controle do

bulking foram realizados em indústrias de papel reciclado, sendo os dois agentes químicos eficientes nesse controle, porém a dose de peróxido de hidrogênio necessária para esse controle foi cinco vezes maior que a dose de cloro (Jenkins *et al*, 2003).

Jenkins *et al* (2003) citam que a ação do H₂O₂ pode variar de estação para estação e suas doses devem ser controladas para cada uma delas, mas geralmente são mais altas que as doses de cloro. Esta aplicação pode variar com os valores de IVL, podem ser necessárias dosagens de 40 a 200 mg/L de H₂O₂ ao longo de vários dias para a completa correção do problema, neste período o efluente pode apresentar turbidez até a completa correção do problema (Wang *et al*, 2008). A aplicação do H₂O₂ pode levar a uma redução do IVL em até 50% (Keller *et al*, 1973 apud Jenkins *et al*, 2003). Keller *et al* (1972) relatam em seu trabalho que na adição de 20 a 40 mg/L de H₂O₂ na recirculação do lodo, houve uma redução do IVL de 300-400 mL/g para 200 mL/g e eventualmente de 50-60 mL/g. Keller *et al* (1972) fizeram diferentes experimentos em intervalos de tempos diferentes, como por exemplo, a adição de 200 mg/L por 24 horas, seguido por 400 mg/L por quatro horas levando a uma redução do IVL. Keller *et al* (1972) concluíram que o peróxido de hidrogênio pode ser adicionado até 450 mg/L sem efeitos deletérios para o sistema, essa substância possui uma vasta gama de concentrações e o erro em sua dosagem pode causar sérios danos ao sistema. Eckenfelder (1989) cita que dosagens de peróxido de hidrogênio de 20 a 50 mg/L são seletivas para determinados tipos de filamentosos.

3. PARÂMETROS FÍSICO-QUÍMICOS

3.1. Oxigênio dissolvido

O nível de oxigênio dissolvido (O.D.) no meio depende de diferentes fatores, como a taxa de respiração microbiana, transferência de oxigênio promovida pelo sistema de aeração, temperatura e composição do meio (Sant'Anna Jr., 2010).

Segundo Sant'Anna Jr. (2010) os processos aeróbios operam com até 0,5 mg/L de O.D., porém as plantas operam com valores de 2 mg/L para operar com segurança, segundo Jordão *et al* (2005) a concentração de OD não deve ser superior a 8,00 mg/L, para não interferir no sistema.

3.2. Sólidos

Os sólidos são formados por substâncias dissolvidas (diâmetro inferior à 1,2 μm) e em suspensão (diâmetro superior à 1,2 μm) podendo possuir composição orgânica ou inorgânica. A **Figura 3.1** mostra esquematicamente a composição dos sólidos.

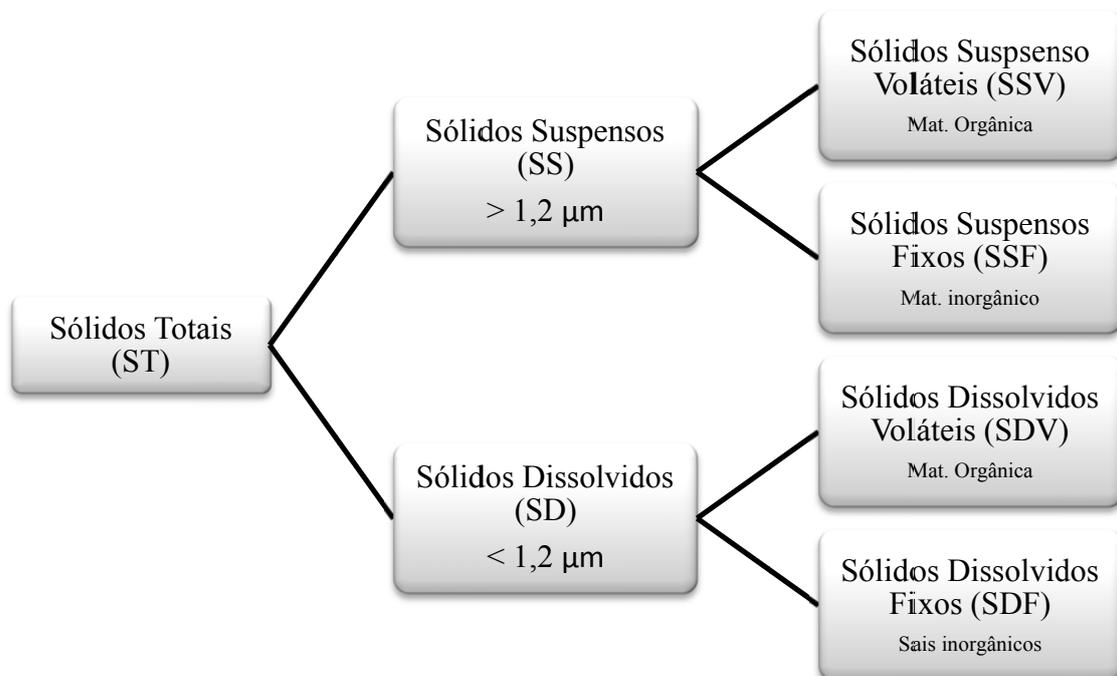


Figura 3.1. Esquema da composição dos sólidos. (Adaptado de Giordano, 2011).

Segundo Jordão *et al* (2005) a matéria sólida pode ser classificada segundo:

- a dimensão das partículas:
 - Sólidos em Suspensão
 - Sólidos Coloidais
 - Sólidos Dissolvidos

- a sedimentabilidade:
 - Sólidos Sedimentáveis
 - Sólidos Flutuantes
 - Sólidos Não Sedimentáveis

- a calcinação, a alta temperatura (550 a 600°C):
 - Sólidos Fixos
 - Sólidos Voláteis

- a secagem, em temperatura média (103 a 105°C)
 - Sólidos Totais
 - Sólidos em Suspensão Totais
 - Sólidos Dissolvidos Totais

Os sólidos totais permanecem como resíduo após evaporação a 103°C, quando este resíduo é submetido à calcinação (600°C) há a formação de sólidos voláteis e sólidos fixos. Os sólidos em suspensão (SS) são aqueles que ficam retidos após a filtração, o sólido em suspensão é normalmente a unidade utilizada para expressar a massa microbiana, porém também representam a massa inorgânica, a biomassa microbiana é expressa como sólidos em suspensão voláteis (SSV) (von Sperling, 1997; Jordão *et al*, 2005).

3.3. Índice volumétrico do lodo

O IVL é um teste que avalia a sedimentação do lodo e pode indicar a qualidade do efluente em decorrência dessa sedimentação. Por este motivo é de grande relevância no monitoramento das plantas de tratamento, já que um lodo com boa sedimentação é essencial para a clarificação do efluente final. Diversos fatores estão ligados à formação de flocos biológicos e podem assim interferir no IVL, um desses fatores é a presença de microrganismos filamentosos, a presença de filamentos dificulta a formação dos flocos que ficam pouco agregados, causando má sedimentação e alterando a qualidade do efluente gerado (Jenkins *et al*, 2003).

Autores como Jenkins *et al* (2003), Jordão *et al* (2005) e Bitton (2010), propõem diferentes faixas de IVL como mostra a **Tabela 3.1**, abaixo.

Tabela 3.1. Faixas de Índice Volumétrico do Lodo (IVL)

IVL (mg/L)	AUTOR
40-150	Jordão e Pessoa (2005)
50-150	Bitton (2010)
80-120	Jenkins <i>et al</i> (2003)

Adaptado de Sant'Anna Jr. (2010).

O IVL é um parâmetro avaliado ao final do processo de sedimentação, sendo calculado pela medida do volume (mL) ocupado pelo lodo após 30 minutos de sedimentação (V_{30}), dividida pela massa de sólidos (g), como mostra a **Equação 5.2**. O valor do IVL é expresso em mL/g. A concentração de lodo no tanque de aeração tem influência no ensaio de sedimentação, à medida que a concentração de lodo cresce o IVL aumenta. Em concentrações muito elevadas o resultado pode não espelhar um quadro real, por exemplo, um lodo com 10.000 mg/L que não sedimenta, em uma proveta com volume igual a 1.000 mL, o IVL seria de 100 mL/g o que indicaria um lodo com boa sedimentação, mas no entanto não espelha a realidade do teste realizado (Jordão *et al*, 2005).

3.4. Relação A/M (Alimento/Microrganismo)

Também denominada de carga orgânica específica ou relação F/M (*Food/Microorganism ratio*), representa a razão entre a quantidade de matéria orgânica alimentada ao reator na unidade de tempo, pela massa microbiana presente no reator (Sant'Anna Jr., 2010) e esta está relacionada com a eficiência do sistema. Pode ser expressa em kg de DQO ou $\text{DBO}_5/\text{kgSSV.d}$. A relação A/M pode ser calculada da seguinte forma, como mostra a **Equação 1.1**:

A faixa de relação A/M no processo pode variar de 0,02 a 5 $\text{kg DBO}_5/\text{kg SSV.d}$ e os valores convencionais variam, normalmente, entre 0,07 a 1,1 $\text{kg DBO}_5/\text{kg SSV.d}$. Valores menores que 0,15 $\text{kg DBO}_5/\text{kg SSV.d}$ podem indicar pouca disponibilidade de alimento para os microrganismos do processo, já valores acima de 0,15 $\text{kg DBO}_5/\text{kg SSV.d}$ representa uma alta carga de matéria orgânica em relação à quantidade de microrganismos atuantes no sistema, o que pode ocasionar a saída de matéria orgânica no efluente gerado (Jordão *et al*, 2005). Quando a carga de alimento fornecida é baixa, passa a prevalecer a respiração endógena, que é característica de um sistema de aeração prolongada. Esta razão A/M pode estar relacionado com o IVL, assim os valores mais baixos de A/M (0,05 a 0,10 $\text{kg DBO}_5/\text{kg SSV.d}$), característicos de uma aeração prolongada, correspondem à formação de flocos mais leves e IVLs mais elevados. Para este tipo de sistema, de aeração prolongada, a faixa recomendada da relação A/M está situada entre 0,2 e 0,6 $\text{kg DBO}_5/\text{kg SSV.d}$ (von Sperling, 1997; Jordão *et al*, 2005). O controle de testes de respiração, da concentração de oxigênio dissolvido no tanque e controle da relação SSV/SS também são importantes para o controle da relação A/M. A relação entre SSV e SS indica a idade do lodo e sua estabilidade para o descarte (von Sperling, 1997).

4. RESPIROMETRIA

A respirometria trata da medição e avaliação do consumo de oxigênio por um sistema biológico em condições experimentais, para que ocorra a oxidação e remoção da matéria orgânica presente em uma amostra (Copp, 2002). A unidade de medida utilizada neste teste é em mg de O₂ por litro (mg O₂/L) de lodo ativado em um dado intervalo de tempo.

Sendo o consumo de oxigênio a expressão da biomassa presente no sistema, nas estações de tratamento de esgoto de sistema de lodos ativados utiliza-se cada vez mais o método respirométrico para obter as características de biodegradabilidade do afluente, já que o oxigênio consumido neste processo está diretamente associado ao crescimento da biomassa e remoção do substrato (Andreottola *et al*, 2002). A partir dos testes respirométricos mede-se a taxa de consumo de oxigênio (TCO), que é um dos principais componentes a ser quantificado e este depende da quantidade de oxigênio disponível no sistema (Copp, 2002; Andreottola *et al*, 2005). Este tipo de teste pode fornecer informações sobre a atividade da biomassa, a composição do afluente, concentração de sólidos, degradação, informações sobre a atividade da biomassa, purificação do sistema e presença de substâncias que apresentam toxicidade ao sistema, essa toxicidade resulta em uma redução da capacidade metabólica da biomassa, sem estar relacionada à carga orgânica aplicada (Fernandes *et al*, 2001; Copp, 2002). O teste de TCO leva em consideração as variações na taxa de respiração do lodo em consequência do tipo de substrato acrescido e sua velocidade de degradação. Esta absorção de oxigênio pode ser dividida em duas fases (Andreottola *et al*, 2005):

i) respiração endógena do lodo – oxigênio necessário na produção de energia, sob a forma de ATP, para a manutenção das funções celulares dos microrganismos presentes no sistema;

ii) degradação do substrato – consumo de oxigênio pelos microrganismos do sistema, para a degradação da matéria orgânica presente no afluente que chega ao sistema. Esta é conhecida como fase exógena da taxa de absorção de oxigênio e pode ser diferenciada em substrato rapidamente biodegradável, tendo este uma alta velocidade de consumo de O₂ e substratos lentamente biodegradáveis, com velocidade de consumo de O₂ menor que na presença de um substrato rapidamente biodegradável e maior que na respiração endógena. O

gráfico abaixo (**Gráfico 4.1**) mostra o efeito da concentração de oxigênio dissolvido sob a adição limitada de um substrato a um sistema de lodos ativados.

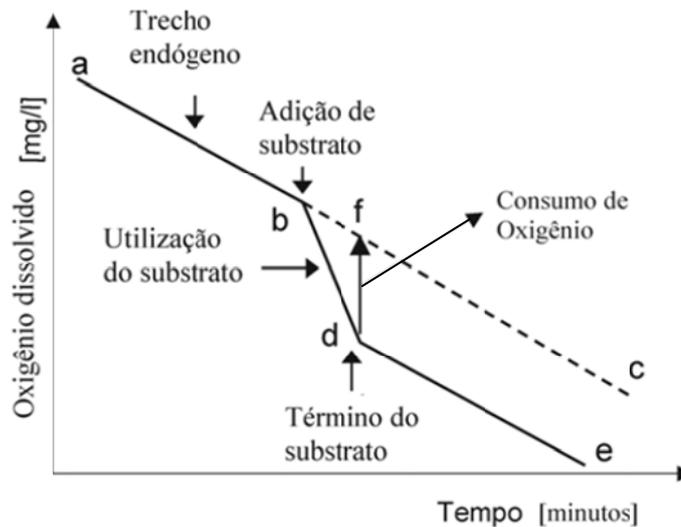


Gráfico 4.1. Efeito sobre a concentração de oxigênio dissolvido, após adição ao lodo ativado de uma limitada quantidade de substrato (Andreottola *et al*, 2002).

A taxa de respiração dos microrganismos do processo de lodos ativados é determinada pela Taxa Específica de Consumo de Oxigênio (TCOe), esta taxa também pode ser utilizada como indicador de toxicidade através da inibição da atividade respiratória.

O consumo de oxigênio pelos organismos bacterianos no sistema de lodos ativados se deve a três fatores:

1. a respiração endógena, consumo de oxigênio pelas bactérias para a sua manutenção;
2. catabolismo do material orgânico presente no afluente;
3. oxidação de amônia para nitrito pelas bactérias nitrificadoras, quando estas estão presentes.

As medidas respirométricas podem ser realizadas de três formas (Spanjers *et al*, 1998 apud Ferreira *et al*, 2002):

1º- instantaneamente. A taxa de respiração é medida logo que se inicie o experimento, sendo determinada assim apenas a condição inicial de respiração;

2º- medida em intervalos. Onde se obtêm a determinação de taxa de respiração relevante em um intervalo de tempo específico durante o experimento;

3º- na forma de um respirograma. Esses são representações gráficas da taxa de consumo de oxigênio dissolvido em função do tempo de medição.

A taxa de retirada de oxigênio é composta por duas partes: taxa de respiração do substrato, que corresponde à retirada de oxigênio para degradação do substrato e taxa de respiração do lodo (célula bacteriana), entendida como respiração endógena. Esta taxa pode ser calculada através da seguinte **Equação 4.1** (Ferreira *et al*, 2002).

$$r = r_s + r_{end} \quad (\text{Equação 4.1})$$

Sendo:

r = taxa de respiração total (mg/L.h⁻¹);

r_s = taxa de respiração do substrato (exógena) (mg/L. h⁻¹);

r_{end} = taxa de respiração endógena (mg/L. h⁻¹).

5. METODOLOGIA

Os efeitos da aplicação de peróxido de hidrogênio foram testados seguindo as etapas listadas abaixo:

5.1. Escolha dos lodos Ativados

Para aplicação do peróxido de hidrogênio foram selecionados lodos biológicos de diferentes Estações de Tratamento de Efluentes, sendo estes levados à empresa TECMA, RJ e mantidos em reatores de bancada:

- Indústria farmacêutica– Experimento A.
- Indústria Alimentícia – Experimento B.

5.2. Etapa operacional

5.2.1. Condições operacionais e montagem dos reatores

O lodo biológico foi coletado diretamente do reator biológico das empresas alimentícias e farmacêutica, levado à empresa TECMA (RJ), preservado em caixas de isopor com gelo e mantida a uma temperatura de aproximadamente 4°C, assim como o efluente para a alimentação dos reatores de bancada. Para a montagem dos reatores, os lodos foram retirados da caixa de isopor e então deixados à temperatura ambiente.

Para análise do controle de filamentosos pela ação da solução de H₂O₂, foram montados reatores de lodos ativados em escala de laboratório na empresa TECMA, RJ. Os reatores operaram em modo de batelada, contendo um tanque de aeração e uma bomba de aquário, para garantir a oxigenação do meio. O reator de bancada era composto de propileno, tendo altura de 35 centímetros e largura de 20 centímetros. Os lodos ativados das indústrias farmacêutica e alimentícia foram acondicionados em reatores de bancada distintos, tendo cada um 5000 mL de lodo ativado. Os reatores foram separados em reator controle e tratado da indústria farmacêutica e reatores controle e tratado da indústria alimentícia. Os reatores atuaram em temperatura ambiente, que foi aferida com o auxílio de um termômetro analógico,

a aeração mecânica manteve-se constante, por meio de bombas de aquário (**Fig. 5.1**) instaladas nos reatores e alimentação pelo modo de batelada. O volume de efluente utilizado na alimentação foi calculado através da relação A/M, sendo este valor do **Experimento A** 0,15 kg DBO₅/kg SSV.d e no **Experimento B** 0,3 kg DBO₅/kg SSV.d. Para que o volume do reator se mantivesse constante, antes da alimentação, foram retiradas alíquotas de efluente clarificado, em volumes semelhantes ao volume calculado para a alimentação do reator, como mostra a **equação 5.1**.

$$Q = \frac{V_{RM} \cdot A/M \cdot RNFV}{DQO_{afluente}} \quad (\text{Equação 5.1})$$

onde:

Q = Vazão média de alimentação (L/dia)

V_{RM} = Volume útil do reator de manutenção (L)

A/M = Relação alimento/microrganismo (Kg DQO₅/ Kg SSV.d)

RNFV = Resíduo não filtrável volátil (mg/L)

DQO_{afluente} = Demanda química de oxigênio do afluente (mg/L)

Os reatores controle e tratado da indústria farmacêutica atuaram por três ciclos de H₂O₂ os reatores controle e tratado com lodo biológico da indústria alimentícia por sete ciclos de H₂O₂. Ao longo do experimento a temperatura ambiente teve aumento considerável, alterando a temperatura do reator ocasionando a morte dos microrganismos presentes no lodo ativado. Desta forma novas amostras de lodo foram coletadas em cada uma das indústrias e novos reatores foram montados, seguindo os mesmos parâmetros dos reatores anteriores.

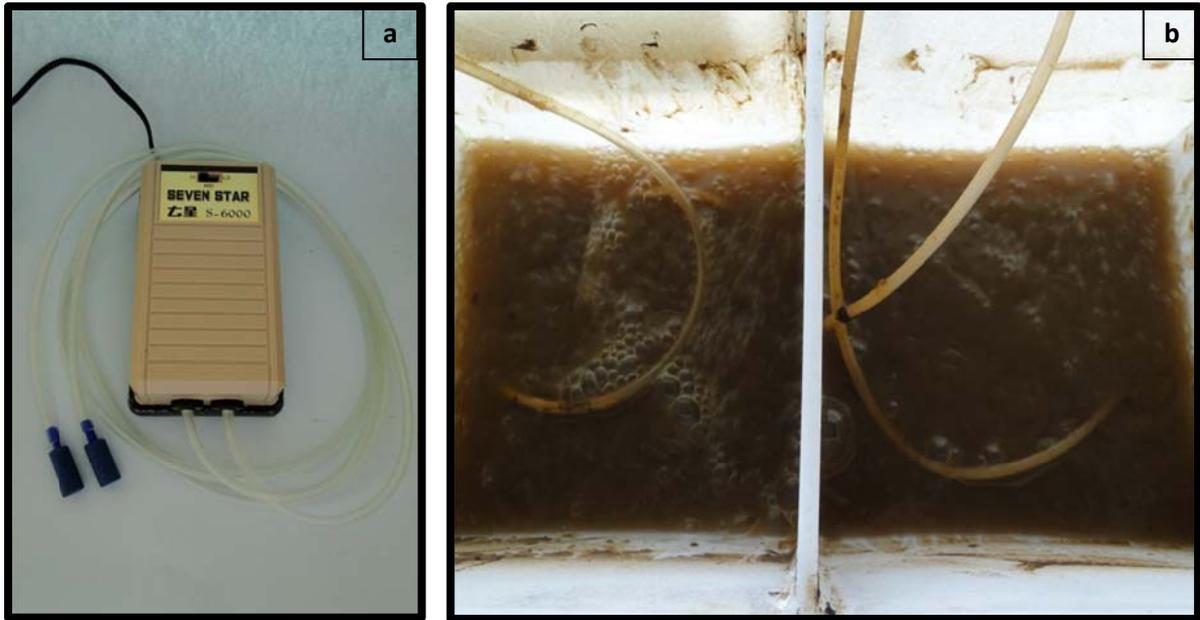


Figura 5.1. Aparelho utilizado para aeração mecânica do reator de bancada (a) e região interna do reator mostrando o processo de aeração (b).

As **Figuras 5.2** e **5.3** mostram os reatores de laboratório utilizados para os experimentos com o lodo biológico das indústrias alimentícias e farmacêuticas, respectivamente.

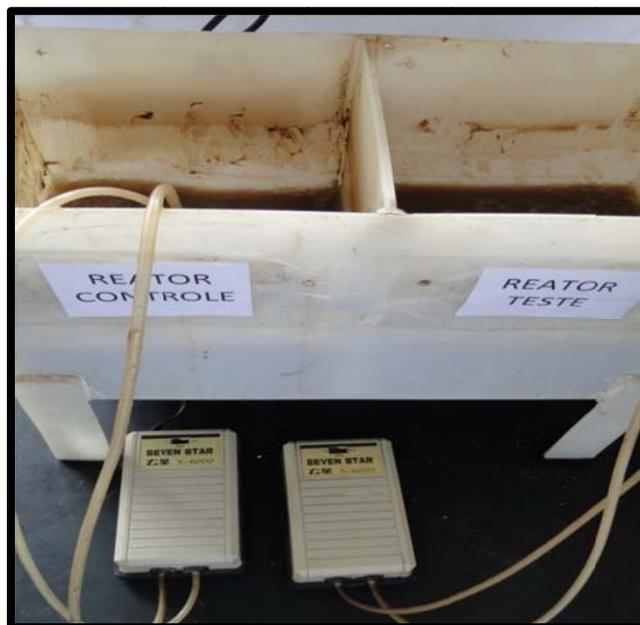


Figura 5.2. Reatores controle e tratado de lodos ativados de uma indústria alimentícia.



Figura 5.3. Reatores controle e tratado de lodos ativados de uma indústria farmacêutica.

5.2.2. Condições operacionais

As amostras de lodo ativadas foram retiradas dos reatores de laboratório, cada um sendo semeado com lodo do tanque de aeração das referentes indústrias e alimentado com afluentes coletados de cada uma delas. As amostras para os testes de respiração, teste de sedimentabilidade (IVL) eram coletadas diretamente dos reatores, sendo retirados 300 mL de lodo biológico para o teste de respiração e 1.000 mL de lodo biológico para o teste de sedimentabilidade. Para a análise microscópica foram coletados 10 mL do lodo biológico de cada reator, sendo as amostras acondicionadas em recipientes de vidro com tampa e devidamente identificados. Após as análises de IVL e teste de respiração as amostras foram devolvidas aos reatores de bancada. As análises microscópicas foram realizadas logo após a retirada do lodo do reator de laboratório. As análises microscópicas, assim como os testes de sedimentabilidade e respiração foram realizados entre os meses de maio de 2012 a janeiro de 2013.

Foram também coletadas informações referentes, concentração de sólidos, DQO, DBO e volume do tanque de aeração do reator de bancada.

5.3. Monitoramento da amostra

5.3.1. Análise dos parâmetros físico-químicos do lodo biológico

Os parâmetros físico químicos (temperatura, DBO, DQO, RNFT e RNFV) das estações de tratamento citadas anteriormente foram analisados pelos laboratórios da TECMA. Para a realização das análises foram utilizadas as metodologias propostas em APHA, AWWA e WEF (2005).

5.3.2. Teste de sedimentabilidade do lodo biológico

A sedimentabilidade de lodo foi calculada pelo Índice volumétrico do Lodo (IVL), para esta análise foram retirados 1000 mL de lodo fresco homogeneizado, de cada um dos reatores, sendo então colocados em uma proveta de 1000 mL. Após 30 minutos de sedimentação foi analisado o volume em mL ocupado por 1 grama (g) de lodo. O IVL foi calculado de acordo com a **Equação 5.2**:

$$IVL = \frac{V_{30}}{X_e} \cdot V_p \quad (\text{Equação 5.2})$$

onde X_e é a concentração de sólidos na amostra (SSV ou SST); V_p volume do líquido na proveta (mL) e V_{30} volume ocupado pelo lodo após 30 minutos de sedimentação (mL).

5.3.3. Teste de respiração

Este teste mede a taxa de oxigênio consumido (TOC) em um determinado intervalo de tempo. Para este teste foram utilizados 300 mL da amostra de cada reator, o método utilizado foi adaptado de Beranger (2009).

Para a realização do teste foram retirados 300 mL de lodo homogeneizado de cada um dos reatores, que foram colocados cada um em um béquer e deixados sob aeração por 15 minutos, para cada amostra do béquer houve adição de 0,15 mL de solução de sacarose a 30%.

Depois de aeradas as amostras foram transferidas para um frasco de DBO de 300 mL e mantidas sob agitação constante durante a análise, garantindo assim a homogeneização da amostra durante os ensaios, sendo utilizado um agitador magnético marca Quimis, modelo Q-221-1. O consumo de oxigênio foi determinado por um período de 7 minutos, sendo as anotações do teor de oxigênio feitas a cada 30 segundos com o auxílio de um cronômetro. O cálculo da TCO e TCO_e foram realizados de acordo com as **Equações 5.3 e 5.2**.

$$TCO = (OD_i - OD_f) / \Delta t \quad (\text{Equação 5.3})$$

onde:

TCO – Taxa de Consumo de O₂ (mg.L⁻¹.h⁻¹)

OD_i - Oxigênio Dissolvido no instante inicial do teste (mg/L)

OD_f - Oxigênio Dissolvido no instante final do teste (mg/L)

Δt – Duração do teste (h)

$$TCO_e = TCO / RNFV \quad (\text{Equação 5.4})$$

onde:

TCO_e – Taxa de Consumo de Oxigênio Específica (mg. g⁻¹.h⁻¹)

TCO - Taxa de Consumo de O₂ (mg.L⁻¹.h⁻¹)

RNFV – Resíduos Não Filtráveis Voláteis (g/L)

No experimento A, da indústria farmacêutica, devido à curta duração do experimento, o valor utilizado para o RNFV foi o mesmo da amostra de origem e esse valor foi utilizado para o cálculo de TCO_e e do IVL.

O aparelho utilizado para tal medição foi um oxímetro da marca YSI, modelo 55A (**Fig. 5.4**), sendo a concentração de oxigênio medida em mg/L. A **Figura 5.5** mostra a

realização do teste de respiração, o agitador magnético e o frasco de DBO utilizados nas análises.



Figura 5.4. Oxímetro utilizado nos ensaios de teste de respiração.

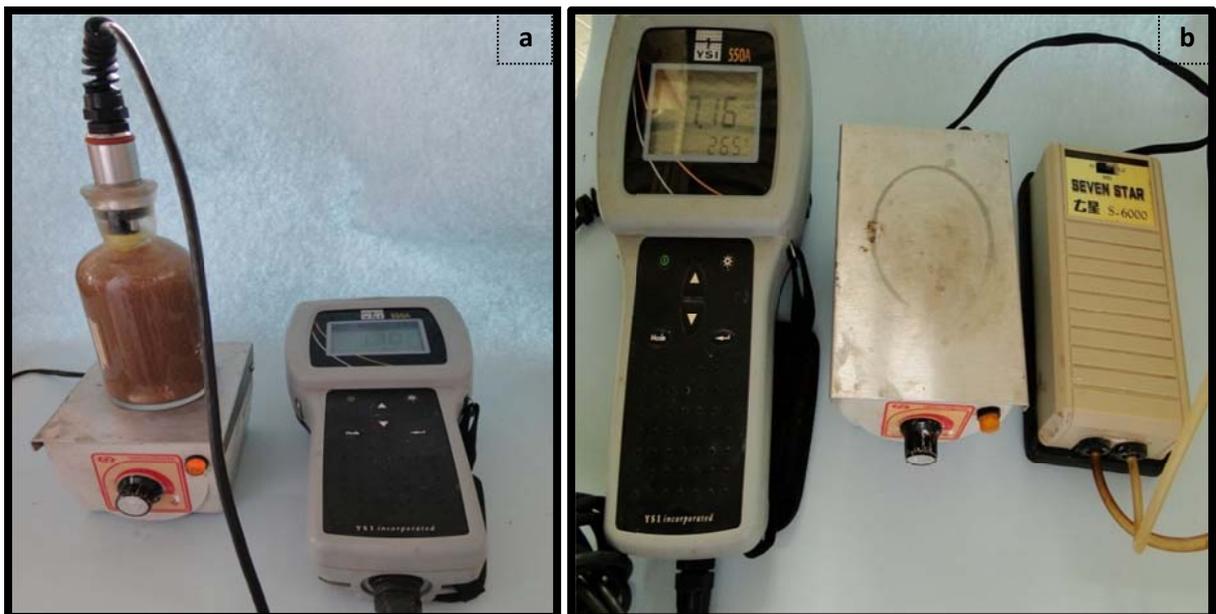


Figura 5.5. Realização do teste de respiração (a) e aparelhos utilizados durante as análises (b).

5.4. Análise Microscópica

5.4.1. Análise microscópica da microbiota, microrganismos filamentosos e flocos biológicos presentes no lodo biológico

As análises foram feitas no Laboratório de Engenharia Sanitária (LES) da UERJ e no Laboratório de Microbiologia da TECMA, ambos em um microscópio óptico estereoscópico binocular marca *Nikon Eclipse – E 200*. Foi acoplada ao microscópio uma máquina digital, *Sony – cyber-shot (DSC-W350)*, zoom óptico 4x, 14.1 mega-pixels, com o auxílio de um suporte fixado na parte superior do aparelho. A **Figura 5.6** mostra o microscópio utilizado nas análises, assim como o microscópio com a câmera e o suporte já acoplados e a **Figura 5.7** a máquina e o suporte para acoplamento utilizado nas análises, respectivamente.

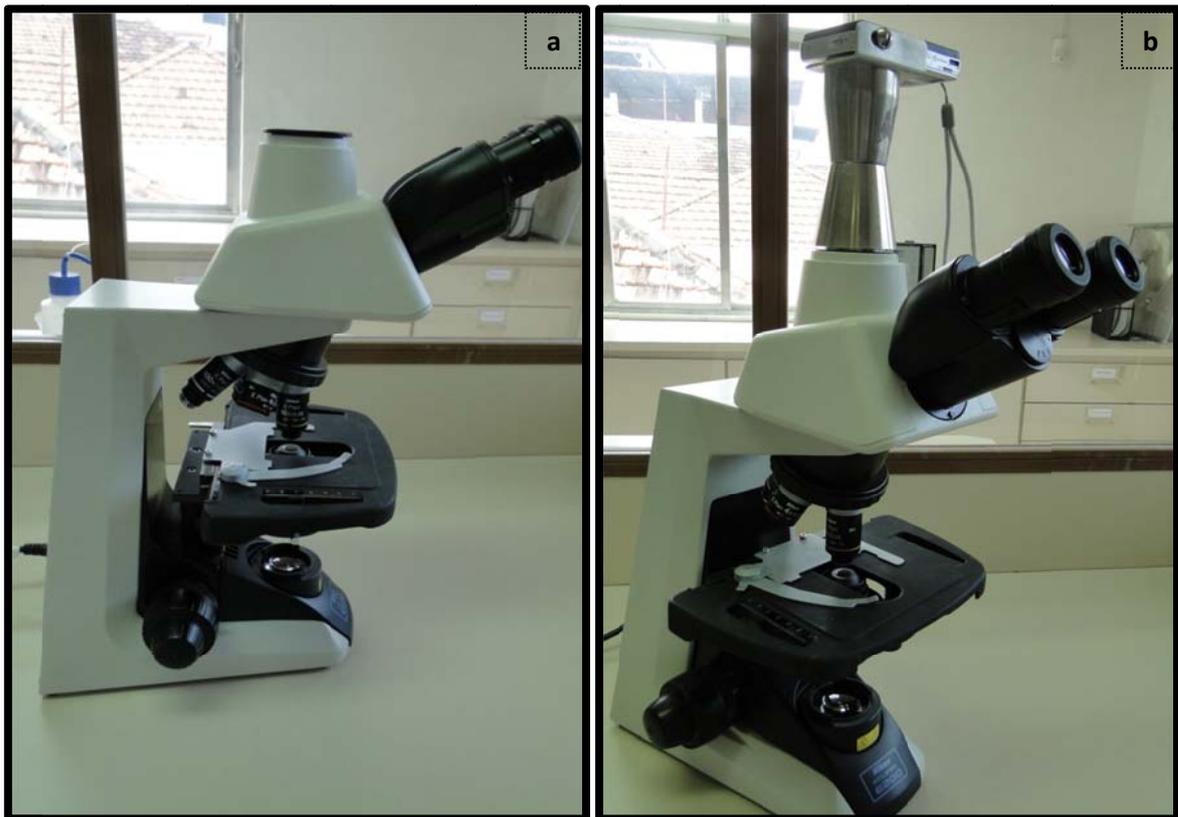


Figura 5.6. (a) Microscópio óptico estereoscópico binocular e (b) microscópio óptico estereoscópico binocular com câmera digital acoplada.



Figura 5.7. Câmera digital e suporte utilizados nas análises microscópicas.

A avaliação microscópica foi realizada com amostras do aerador de bancada. Aproximadamente 10 mL de amostra de cada reator foram coletadas para a análise microscópica e acondicionado em um frasco com tampa, os frascos não estavam completamente preenchidos pelo líquido da amostra, sendo assim ainda havia ar dentro dos recipientes. Em laboratório 0,1mL de efluente foram retiradas com o auxílio de uma pipeta de plástico, colocadas sobre uma lâmina de vidro (tamanho 76 x 26 mm) e selada por uma lamínula (tamanho 24 x 50 mm). Foram observadas características como diversidade da microfauna presente nas amostras de lodo biológico; morfologia dos flocos encontrados e como estes se apresentavam no meio, ou seja, agregados, segregados, com ou sem a presença de filamentosos, formato dos flocos; quantidade de microrganismos filamentosos, podendo ser classificados em ausente, reduzido número de filamentosos, quantidade normal ou excesso de filamentosos.

A avaliação do lodo biológico foi feita segundo Vazzolér *et al* (1989), Patterson *et al* (1992), Madoni (1994), Jenkins *et al* (2003), Bento *et al* (2005) e Sant'Anna Jr. (2010).

Foi utilizado um formulário (**Fig. 5.8**), adaptado de Araújo (2010), para facilitar a etapa de análise microscópica e descrição dos resultados obtidos.

FORMULÁRIO DE AVALIAÇÃO MICROBIOLÓGICA

Tipo de estação de tratamento amostrada:

Reator Controle Tratado

Concentração de peróxido de hidrogênio: _____

Data da coleta: ___/___/___ Data da observação: ___/___/___

Micronutriente SIM NÃO Esgoto SIM NÃO

Presença de filamentosos SIM NÃO.

Ausente Insuficiente Normal Excessiva

Morfologia do Floco: Segregado Denso Compacto

Esparços Difusos Irregulares Unido por filamentosos

Microfauna Presente:

Ciliados:

predadores de floco-

livre natantes-

fixos-

Amebas:

nua-

tecameba-

Flagelados-

Rotífero-

Anelídeo-

Outros-

Figura 5.8. Formulário de Avaliação Microscópica, adaptado de Araújo (2010).

O tamanho dos flocos foi calculado pelo programa Carl Zeiss Axiovision LE 4.8, segundo trabalho publicado por Araújo (2010). As fotos obtidas através de fotografia digital foram inseridas no programa, sendo desta forma possível calcular o tamanho dos flocos e dos microrganismos presentes no lodo. A **Figura 5.9** mostra as escalas utilizadas para estabelecer o tamanho dos microrganismos e dos flocos no programa. Foram medidas as distâncias entre as barras de medição presentes na figura e esses valores estão destacados na imagem.

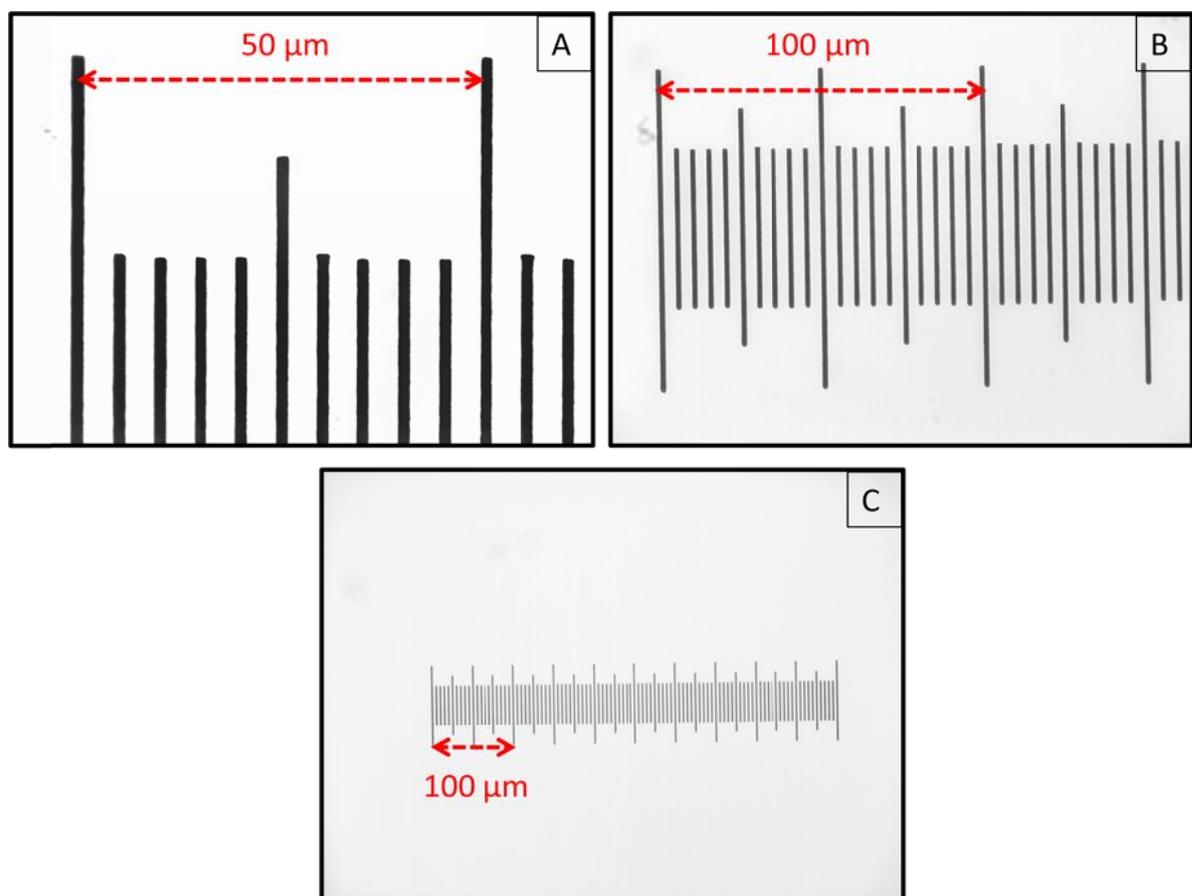


Figura 5.9. Escalas utilizadas no programa Carl Zeiss Axiovision LE 4.8 para determinação do tamanho dos microrganismos, flocos e filamentos encontrados nos lodos ativados. (A) aumento 1000X, (B) aumento 400X e (C) aumento 100X. A distância entre as barras maiores equivale a 50 µm (A), 100 µm (B) e 100 µm (C).

Depois de fotografados os flocos foram classificados em pequenos, quando apresentavam comprimento menor ou igual (\leq) 150 µm; médios, quando apresentavam

comprimento de 150-500 μm e grandes, quando apresentavam comprimento maior ou igual (\geq) a 500 μm (Jenkins *et al*, 2003).

5.4.2. Análise qualitativa

Realizada através do Índice Biótico do Lodo (IBL), indica a qualidade do lodo biológico através de análises microscópicas e avaliação de acordo com o índice de Madoni (1994). Durante as análises microscópicas descritas no sub item 5.4.1. foram levantados dados para a análise do IBL. A quantidade de lodo disposto na lâmina e recoberto pela lamínula foi de 0,1 mL, o resultado obtido na leitura foi multiplicado por 10, para caracterizar o número de microrganismos presentes em 1 mL de amostra.

Em suas análises, Madoni (1994) correlacionou as condições operacionais e os protozoários encontrados nos tanques de aeração de 44 ETE's durante 20 anos de estudos e assim definiu grupos positivos e negativos relacionados à eficiência de depuração do sistema. Para o autor ciliados predadores de flocos (CPFs), ciliados fixos (CF), tecamebas (TAMB) são agrupados como positivo, já os pequenos flagelados, os ciliados livre natantes (CLNs), *Vorticella micróstoma* e *Opercularia spp* são classificados como negativos. A matriz mostrada na **Tabela 5.1**, mostra o IBL relacionado às características do sistema.

A tabela considera da esquerda para a direita, na primeira coluna vertical os grupos taxonomicamente dominantes, na segunda coluna vertical a densidade total da microfauna e as demais colunas na vertical consideram a densidade de flagelados (F). Para selecionar o IBL primeiro deve-se selecionar uma linha a horizontal, que indica o grupo dominante encontrado na amostra, e logo após selecionar a densidade total ($\geq 10^3$ ou $< 10^3$ organismos.mL⁻¹). Feita a escolha da coluna horizontal, determina-se a unidade taxonômica e a densidade de pequenos flagelados, respectivamente ($F < 10$ ou $10 < F < 100$). O ponto de interseção entre a linha vertical e horizontal corresponde ao valor do IBL, que poderá então ser relacionado com uma das quatro classes indicadas na tabela de conversão do IBL (**Tabela 5.2**).

Tabela 5.1. Tabela para determinação do IBL, baseado em grupos dominantes, densidade e unidades taxonômicas.

Grupo dominante e densidade total da microfauna		Número total de unidades taxonômicas e número de pequenos flagelados							
		Densidade	>10		8 - 10		5- 7		<5
Grupos dominantes	Organ.mL ⁻¹	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100	F<10	10<F<100
CPF+CF* e/ou TAMB	$\geq 10^3$	10	8	9	7	8	6	7	5
	$< 10^3$	9	7	8	6	7	5	6	4
CF* > 80%	$\geq 10^3$	9	7	8	6	7	5	6	4
	$< 10^3$	8	6	7	5	6	4	5	3
<i>Opercularia</i> spp	$\geq 10^3$	7	5	5	4	5	3	4	2
	$< 10^3$	6	4	5	3	4	2	3	1
<i>Vorticella microstoma</i>	$\geq 10^3$	6	4	5	3	4	2	3	1
	$< 10^3$	5	3	4	2	3	1	2	0
CLN	$\geq 10^3$	6	4	5	3	4	2	3	1
	$< 10^3$	5	3	4	2	3	1	2	0
Pequenos flagelados natantes (>100)	$\geq 10^3$		4		3		2		1
	$< 10^3$		3		2		1		0

*Exceto *Opercularia* spp e *Vorticella microstoma*.

(Fonte: Adaptado de Madoni, 1994)

A avaliação do IBL é baseada em relação aos grupos positivos e negativos, levando-se em consideração a densidade e o número de unidades taxonômicas presentes no reator. Os valores obtidos após a avaliação do IBL são avaliados segundo uma tabela de conversão do IBL, que classifica o lodo e mostra a qualidade do efluente, segundo quatro classes como mostra a **Tabela 5.2**.

Tabela 5.2. Conversão dos valores IBL em quatro classes e respectivas características do sistema

Valor do IBL	Classe	Características
8 – 10	I	Sistema bem colonizado com excelente atividade biológica e ótimo desempenho.
6 - 7	II	Lodo estável e bem colonizado, atividade biológica em declínio e bom desempenho.
4 – 5	III	Insuficiente depuração biológica no tanque de aeração e médio desempenho.
0 - 3	IV	Fraca depuração biológica no tanque de aeração e baixo desempenho.

Fonte: Madoni, 1994.

5.5. Aplicação do peróxido de hidrogênio

A solução de peróxido de hidrogênio (H_2O_2) foi preparada no laboratório Físico-Químico da TECMA (RJ), para esta solução foi utilizado 1 mL de H_2O_2 (20-60%) diluído em 1000 mL de água deionizada em um balão volumétrico de 1000 mL. Esta solução foi aplicada nos reatores tratados das indústrias alimentícia e farmacêutica. Os ciclos de aplicação da solução de H_2O_2 foram realizados por 3 (três) dias consecutivos, entre os ciclos de aplicação de H_2O_2 ocorreram intervalos de 3 (três) dias antes do início de um novo ciclo.

Para acompanhar as características dos reatores tratados após a aplicação da solução de H_2O_2 , análises microscópicas, testes de sedimentabilidade e respiração foram realizados no primeiro dia antes da aplicação do H_2O_2 ($t= 0h$) e antes da última aplicação ($t= 48h$) do H_2O_2 . Após o intervalo de três dias iniciou-se um novo ciclo, a cada ciclo houve um aumento gradual na aplicação da solução de H_2O_2 , até que as mudanças desejadas pudessem ser observadas. Os dados obtidos no reator tratado foi comparado com a avaliação microscópica do reator controle.

5.6. Análise estatística

Para a realização dos testes estatísticos foi utilizado o software Graf Pad Prism 6.0. Os dados foram analisados de acordo com dois tipos de testes estatísticos ANOVA e Teste T, a escolha dos testes foi de acordo com o tipo de amostra e análise a ser realizada. O programa calcula a média, desvio padrão e o grau de significância (p) dos dados em questão.

6. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Este capítulo apresenta os resultados dos **Experimentos A** (indústria farmacêutica) e **B** (indústria alimentícia). Para todos os experimentos houve a comparação entre o grupo controle, onde ocorreu a observação do lodo em sua condição original e o grupo tratado, onde foram aplicadas doses crescentes da solução de peróxido de hidrogênio até uma concentração que se mostrasse ideal para o controle de filamentosos em cada experimento.

6.1. Dados referentes à Indústria Farmacêutica e Alimentícia

A tabela abaixo se refere aos valores de DBO, DQO, RNFT, RNFV do lodo utilizado da indústria alimentícia e farmacêutica, assim como o volume dos reatores de bancada para cada experimento.

Tabela 6.1. Parâmetros físico-químicos da indústria farmacêutica e alimentícia de tratamento referente ao experimento A.

PARÂMETROS	VALORES MÉDIOS	
	Indústria Farmacêutica	Indústria Alimentícia
$V_{\text{médio}}$ do Reator de Bancada* (L)	6	7
RNFT (mg/L)	5207	5885
RNFV (mg/L)	3190	5364
DBO (mg O ₂ /L)	120	253
DQO (mg O ₂ /L)	250	889

*(controle e tratado)

6.2. Experimento A: Indústria Farmacêutica

No experimento A, referente à indústria farmacêutica a aplicação da solução de H_2O_2 ocorreu ao longo de três ciclos, como mostra a **Tabela 6.2**, a temperatura média foi de $25,4^\circ C$ e $25,0^\circ C$ nos reatores controle e tratado, respectivamente. Os valores da temperatura dos reatores controle e tratado ao longo do experimento encontram-se no **Apêndice A – Tabela III**. O consumo de oxigênio foi calculado através da TCO e TCOe, demonstrado através das **Equações 5.3 e 5.4**.

Tabela 6.2. Ciclos de aplicação do H_2O_2 no experimento A e seus respectivos valores, referente à indústria farmacêutica.

Semanas	Aplicação da solução de H_2O_2	Valor da solução de $H_2O_2^*$ aplicada
1 ^a	1º ciclo	1,22
2 ^a	2º ciclo	1,33
3 ^a	3º ciclo	1,44

*(mg/L)

O **Gráfico 6.1** apresenta a média dos valores de TCO no reator controle e tratado para os três ciclos de aplicação do H_2O_2 e o **Gráfico 6.2** mostra o comportamento dos reatores ao longo dos três ciclos de aplicação da solução de peróxido de hidrogênio.

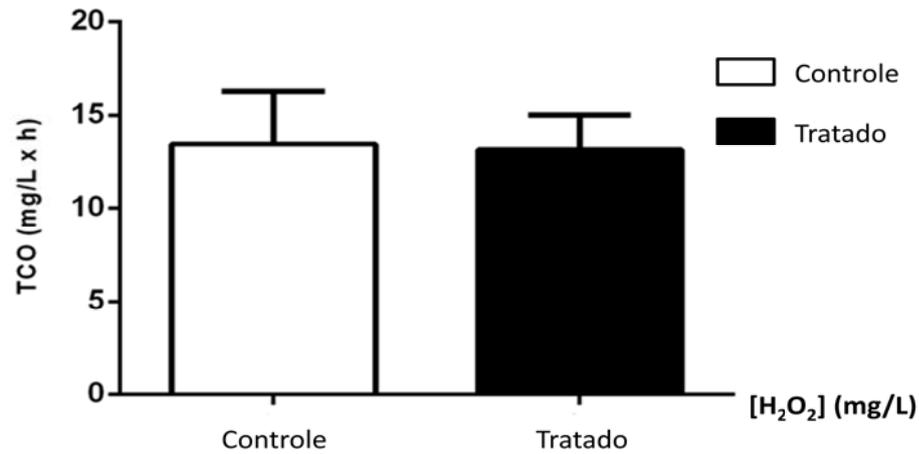


Gráfico 6.1. Comparação entre os valores médios de TCO no reator controle e tratado.

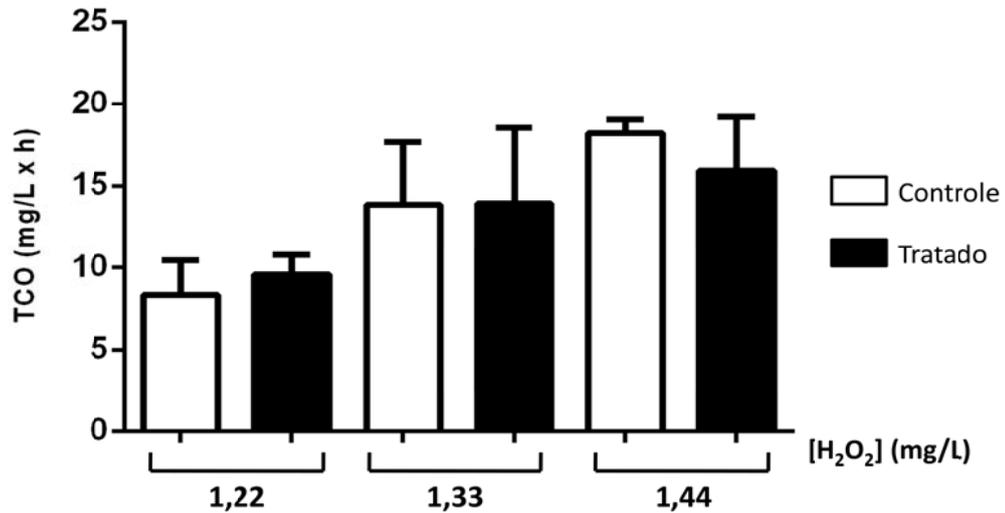


Gráfico 6.2. TCO x [H₂O₂]

O **Gráfico 6.2** mostra a variação dos valores da TCO de acordo com as concentrações da solução de H₂O₂ nos valores de 1,22 mg/L, 1,33 mg/L e 1,44 mg/L. Os resultados da TCO nos reatores controle e tratado estão tabelados no **Apêndice A – Tabela I**. Os valores de TCO não apresentam significância quando comparadas as médias dos reatores controle e tratado (**Gráfico 6.1**) ou quando comparados os valores de TCO nos reatores a cada ciclo de aplicação da solução de H₂O₂ (**Gráfico 6.2**). Os resultados obtidos através desta análise demonstram inicialmente valores mais baixos de TCO para ambos os reatores e os mesmos apresentam um aumento ao longo do experimento, não sendo observadas grandes variações

entre os reatores controle e tratado, sugerindo desta forma não haver influência da solução de H_2O_2 nesses resultados.

Os valores de TCO estão relacionados à natureza do afluente utilizado, que neste caso é proveniente de uma indústria farmacêutica. Andreottola *et al* (2002) sugere que o oxigênio consumido pela microbiota ao longo da análise está diretamente associado ao crescimento da biomassa e remoção do substrato. Ao longo dos testes de respiração realizados, a taxa de OD decaiu lentamente, não mostrando um declínio significativo ao final do mesmo, o que pode ser observado de acordo com os resultados da TCO. Segundo Copp (2002) e Fernandes *et al* (2001) isso pode indicar a presença de substâncias que possam ocasionar toxicidade ao sistema. Como a toxicidade afeta a estrutura molecular da biomassa, há uma redução na densidade de microrganismos ativos, ocasionando uma redução no consumo de oxigênio dissolvido.

A partir das análises de TCO foram calculadas as TCOe's para os reatores de bancada, com lodo proveniente de uma indústria farmacêutica. Os valores da TCOe encontrados para os reatores estão relacionados com as concentrações da solução de H_2O_2 que variaram de 1,22 mg/L a 1,44 mg/L, como mostra o **Gráfico 6.4**.

O gráfico abaixo (**Gráfico 6.3**) mostra a média dos valores de TCOe no reator controle e tratado para os três ciclos de peróxido de hidrogênio.

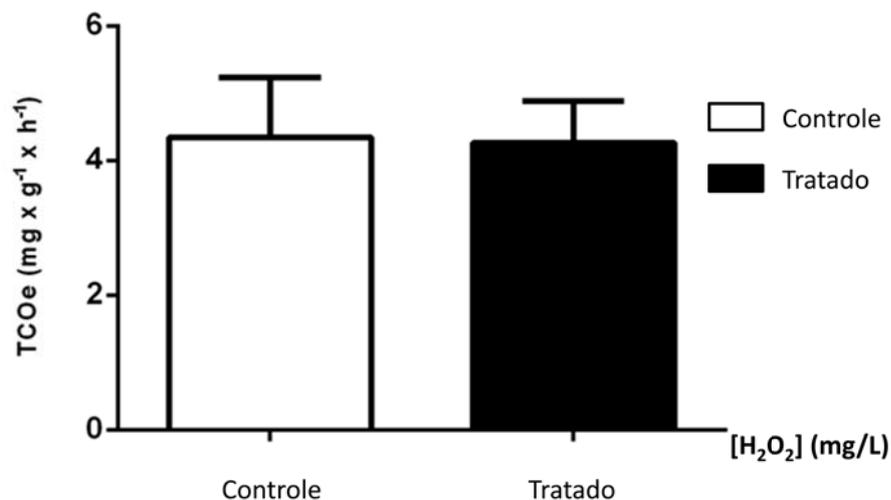


Gráfico 6.3. Média da TCOe para os três ciclos de H_2O_2 nos reatores controle e tratado.

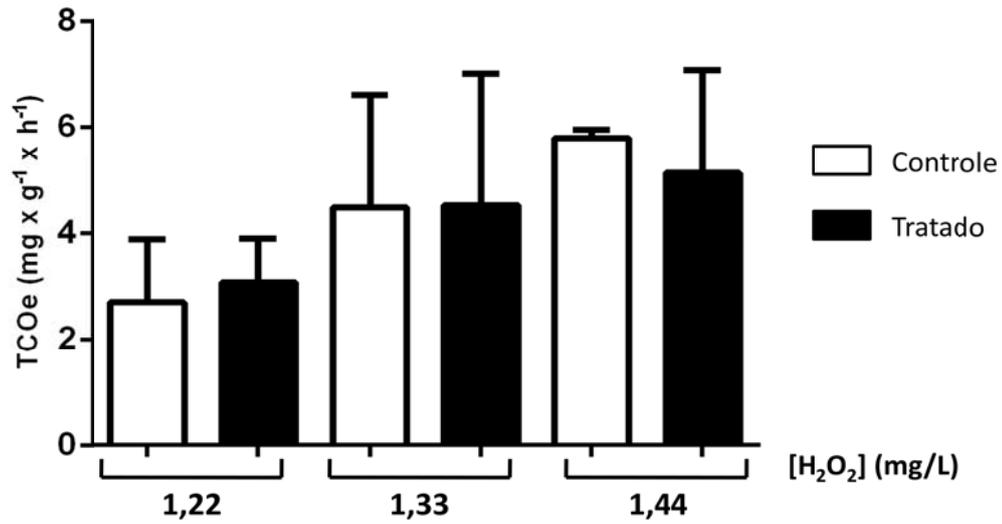


Gráfico 6.4. TCOe x [H₂O₂]

A média para o reator controle foi de 4,34 mg/g x h e para o reator tratado foi de 4,26 mg/g x h. Esse valor demonstra que a TCOe são muito próximas para ambos os reatores. Os valores referentes à TCOe ao longo dos ciclos de aplicação da solução de H₂O₂ estão situadas no **Apêndice A – Tabela I**.

Além do teste de avaliação da atividade metabólica dos lodos ativados através da TCO e TCOe, foram realizados testes de IVL para avaliar a qualidade do lodo biológico, como mostram os **Gráficos 6.5 e 6.6**.

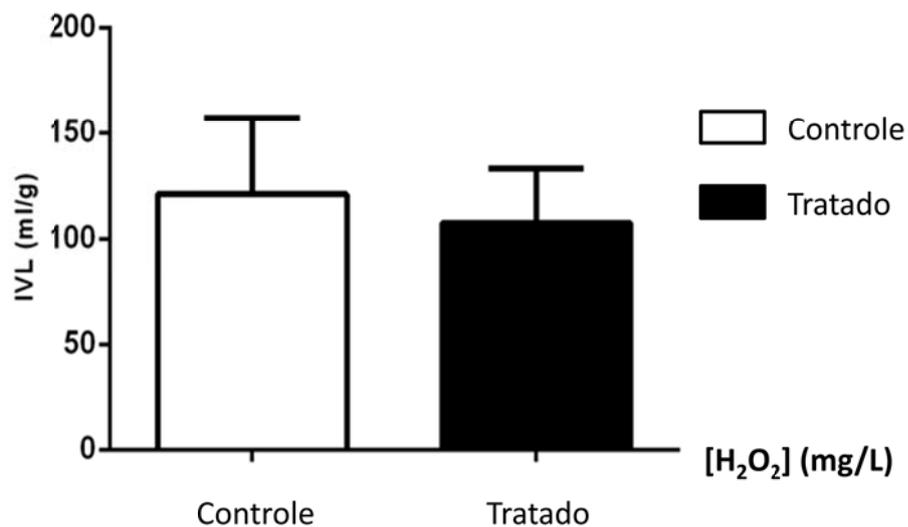


Gráfico 6.5. Média do IVL para os reatores controle e tratado.

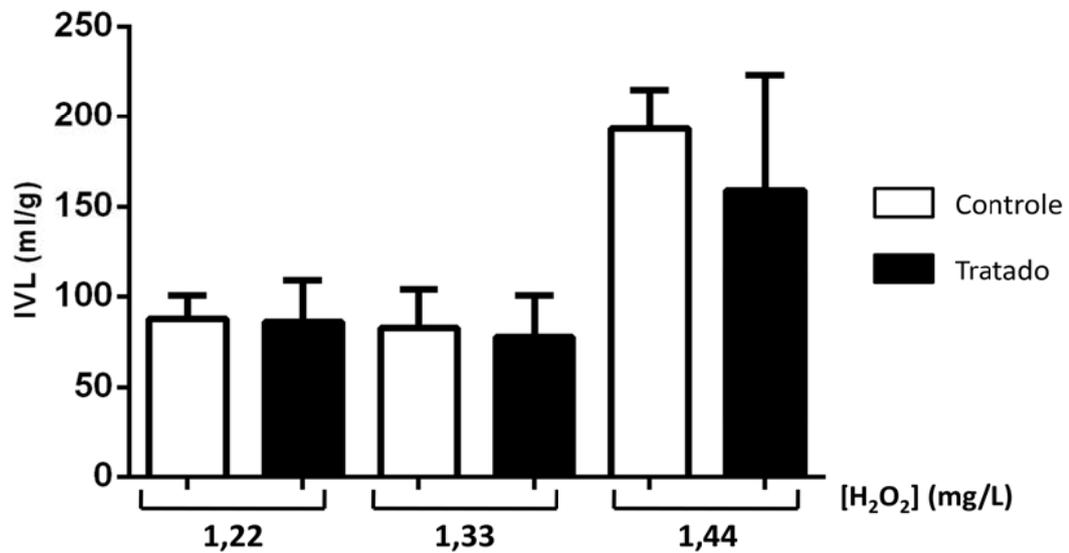


Gráfico 6.6. IVL x [H₂O₂].

A média de IVL foi de 121,08 mL/g para o reator controle e 107,42 mL/g para o tratado. O valor encontrado para o tratado está de acordo com o IVL proposto por Jenkins *et al* (2003), ao longo do experimento observou-se que o IVL do tratado apresentou valores mais baixos que o reator controle. Ao longo das duas primeiras aplicações do peróxido de hidrogênio o valor de IVL foi satisfatório, porém na última semana de operação houve um aumento do IVL (vide **Apêndice A – Tabela I**). Esse aumento do IVL pode estar relacionado à elevação de temperatura nos reatores, que operaram em torno 30,3°C. O valor do IVL encontrado no terceiro ciclo de aplicação da solução de H₂O₂ no reator controle foi de 192,96 mL/g e no tratado 158,80 mL/g.

A avaliação da qualidade biológica do lodo foi realizada para verificar o comportamento do reator tratado ao longo das adições da solução de H₂O₂ comparado ao reator controle. As amostras do reator tratado e do reator controle apresentaram, ambos, IBL_{médio} 6 (seis). Os valores do IBL estão demonstrados no **Gráfico 6.7** e apresentados no **Apêndice A – Tabela II**

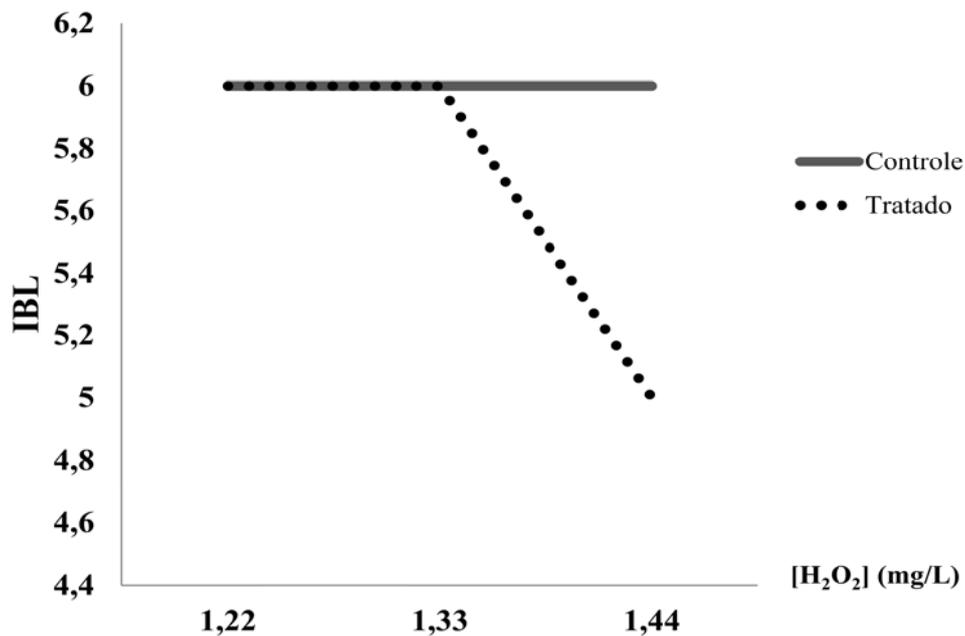


Gráfico 6.7. Comparação da qualidade biológica do lodo, através do IBL em relação à concentração de H₂O₂.

Este valor do IBL indica um lodo estável e bem colonizado com atividade biológica em declínio e bom desempenho. Ao longo do experimento os reatores apresentaram uma porcentagem de tecamebas no controle e 48,1% no tratado. No reator controle além das tecamebas (AMB) foram encontrados 17,3% de flagelados, 18,5% de ciliados predadores de flocos (CPF) e 13,1% de rotíferos. O reator tratado apresentou 5,1% de flagelados, 20,6% de ciliados predadores de flocos e 11,7% de rotíferos.

A presença de protozoários ciliados predadores de flocos, de acordo com Vazóller (1989) e Madoni (1994) é um indicativo de boa qualidade do lodo biológico, já que estes são responsáveis pela clarificação do efluente gerado, promovendo a redução da turbidez devido a predação de alguns microrganismos no meio, como bactérias livres ou aderidas ao floco biológico. Um alto número destes microrganismos (CPF) indica uma boa atividade do lodo biológico sendo observado um efluente de alta qualidade ao final do processo. Os CPF encontrados na amostra da indústria farmacêutica estão representados na **Figura 6.1**. No reator controle a porcentagem de CPF e de FLG é aproximadamente a mesma, enquanto no tratado a porcentagem de CPF foi superior à de FLG. Em ambos os reatores a porcentagem de AMB foi alta, isso faz com que o lodo tenha uma classificação, segundo o IBL, satisfatória.

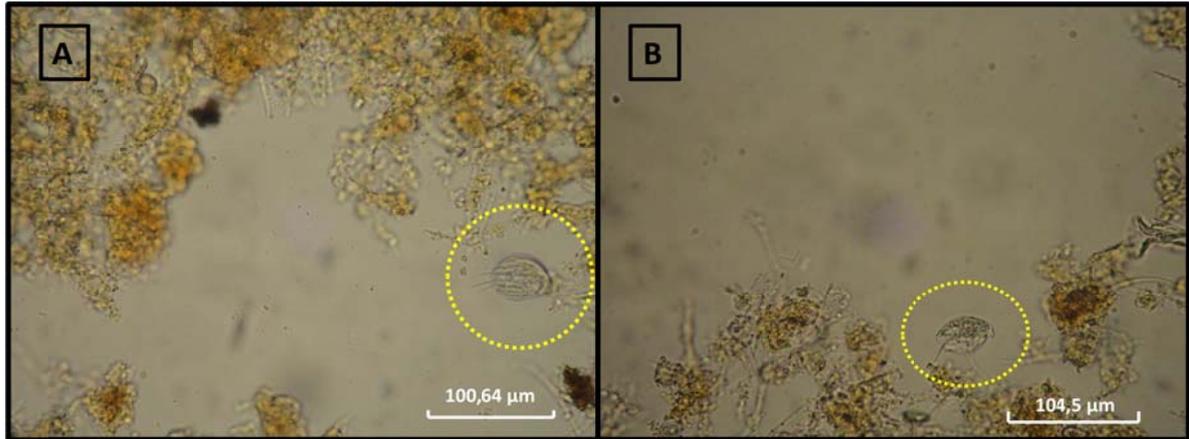


Figura 6.1. As fotomicrografias destacam o protozoário ciliado predador de floco (CPF), do gênero *Aspidisca*, no aumento de 400X.

Apesar do resultado do IBL os reatores apresentaram baixa diversidade taxonômica, em torno de 6 (seis) táxons para cada reator, isso pode ser relacionado à carga tóxica encontrada na indústria farmacêutica. Os microrganismos mantiveram uma atividade normal durante todo o experimento tanto no reator controle quanto no tratado.

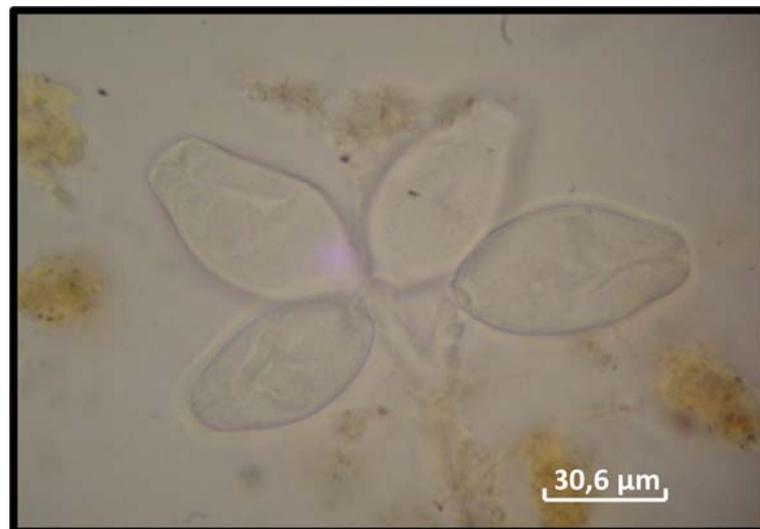


Figura 6.2. Ciliado fixo (CF) do gênero *Vorticella* no aumento de 1000X.

A **Figura 6.2** mostra um ciliado pedunculado do gênero *Vorticella*. Estes ciliados pedunculados foram encontrados em pequeno número nos reatores em determinados momentos ao longo do experimento. A predominância deste microrganismos segundo Madoni (1994) e Bento *et al* (2005) indicam má qualidade de depuração do lodo, porém no

Experimento A não foi encontrado um número significativo desses microrganismos no sistema.

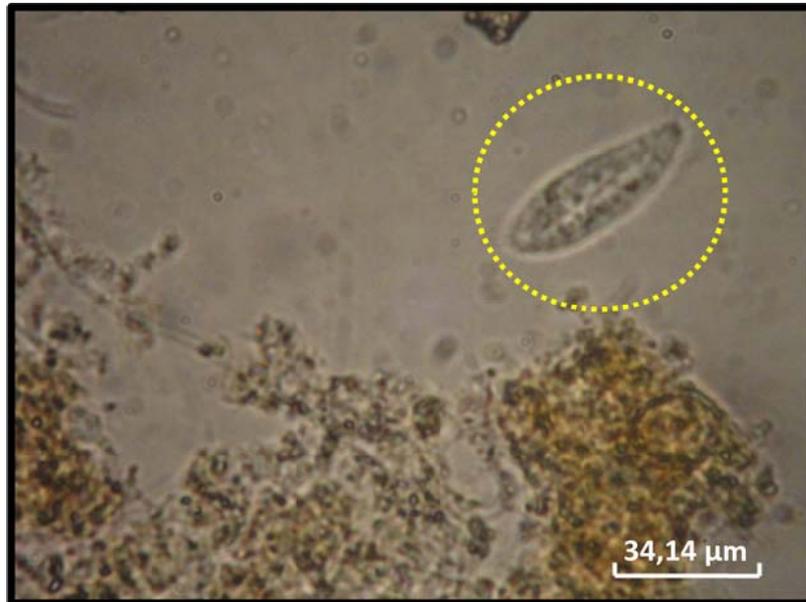


Figura 6.3. Protozoário ciliado livre natante (CLN). Aumento de 1000X.

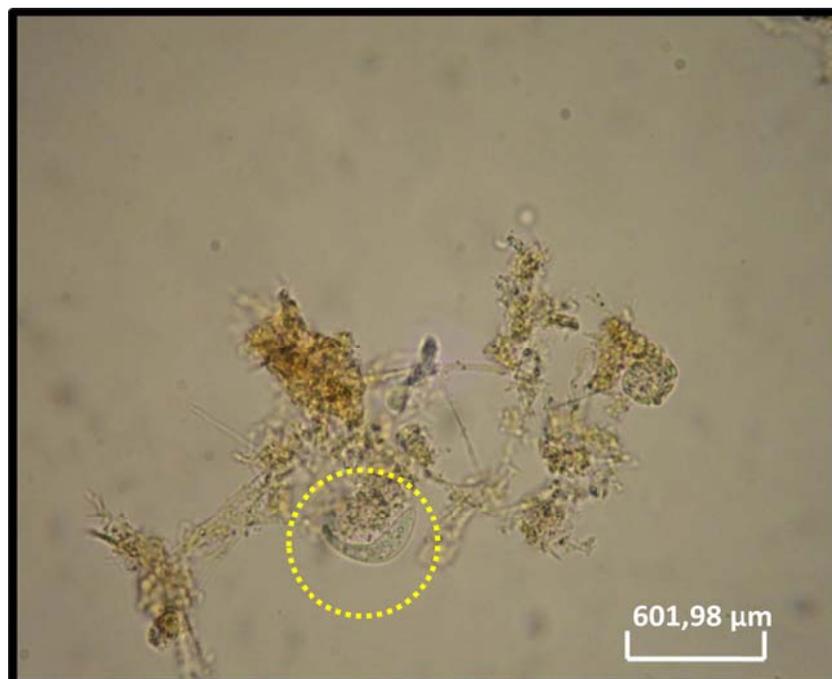


Figura 6.4. Protozoário flagelado (FLG). Aumento de 100X.



Figura 6.5. Fotomicrografia de uma tecameba (AMB), protozoário da classe Sarcodina, gênero *Arcella*. Aumento 400X.



Figura 6.6. Rotífero. Aumento de 1000X.

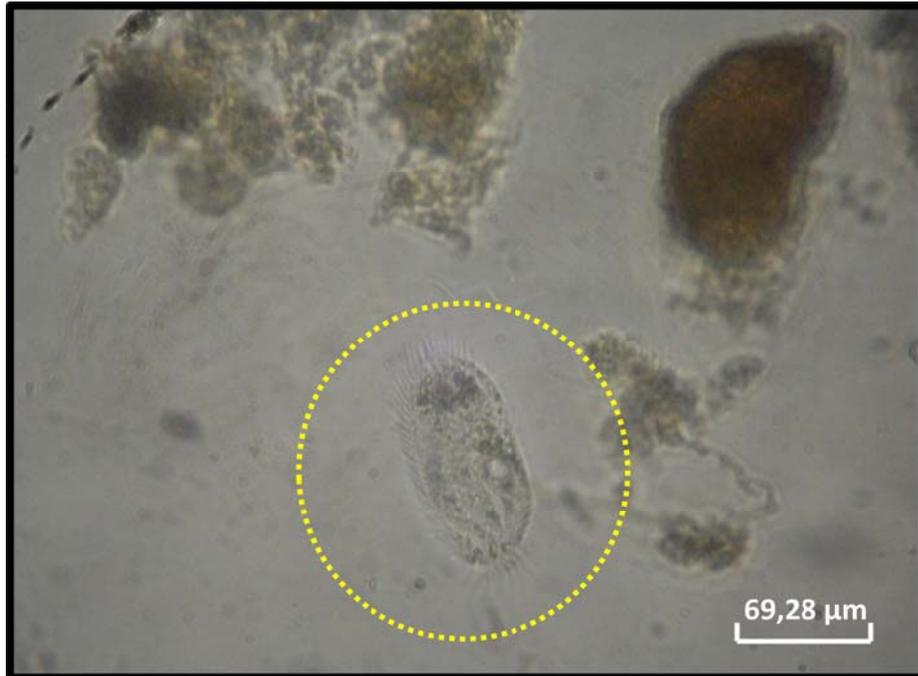


Figura 6.7. Protozoário ciliado livre natante (CLN). Aumento 400X.

A fotomicrografia representada na **Figura 6.8**, mostra a diferença dos flocos encontrados no reator controle, onde é encontrado um grande número de filamentosos e o reator tratado após a utilização da solução de peróxido de hidrogênio. Nota-se que após a utilização da solução de H_2O_2 há uma redução no número de filamentosos e no tamanho dos flocos presentes no reator tratado.

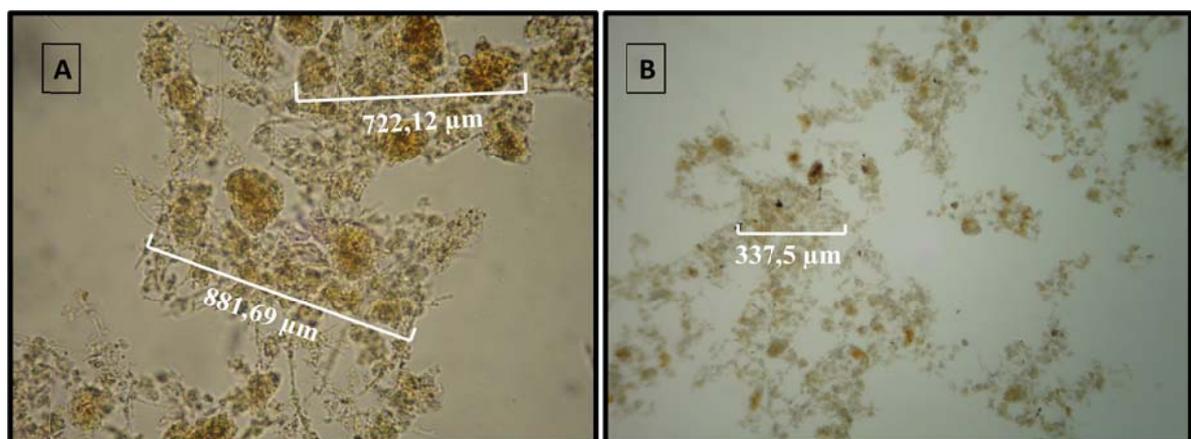


Figura 6.8. Fotomicrografia dos flocos presentes no reator controle (A) e tratado (B) com aumento de 100X.

O **Gráfico 6.8** mostra a média e o desvio padrão da análise da variação do tamanho dos flocos (μm) das amostras obtidas do reator controle e tratado ao longo do experimento. Os valores encontrados mostraram significância entre os dados obtidos $*(P<0,05)$. Os valores de tamanho dos flocos e filamentos (μm) estão apresentados no **Apêndice A – Tabela IV**.

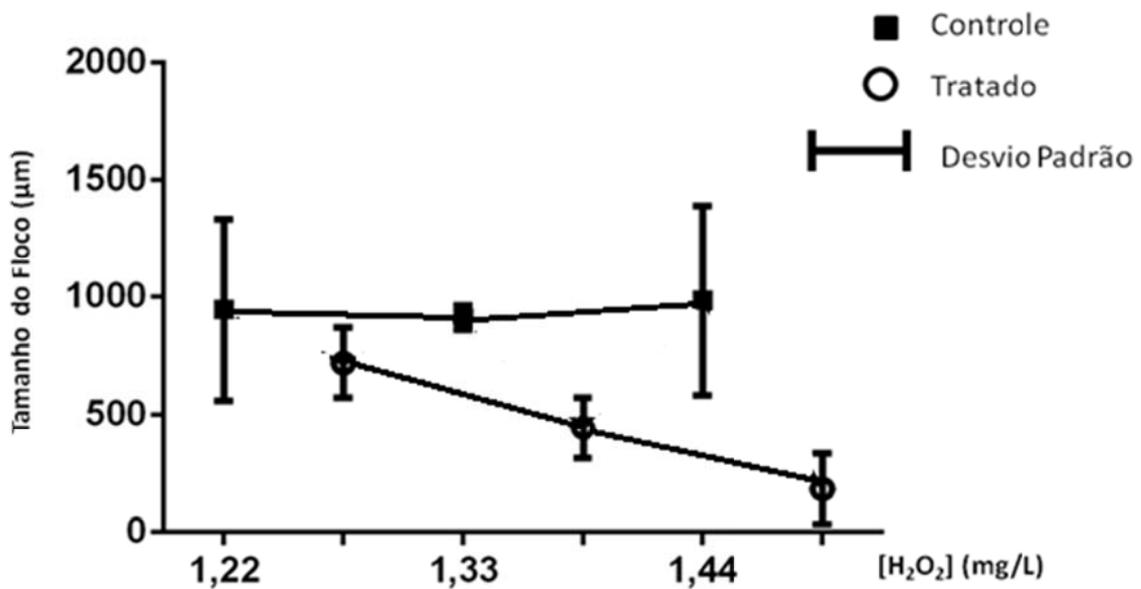


Gráfico 6.8. Variação do tamanho dos flocos no reator controle e tratado. Os valores obtidos foram significativos $*(P<0,05)$.

De acordo com o gráfico, ao longo do experimento houve redução na média do tamanho dos flocos no reator tratado, enquanto no reator controle essa mudança não foi observada. Apesar dos resultados do IVL não serem significativos, demonstrando valores médios semelhantes entre controle e tratado, a análise microscópica e as medidas dos flocos biológicos indicam a diferença no tamanho dessas estruturas mostrando que essas medidas decaem ao longo do aumento na concentração de H₂O₂. Apesar desse aumento da solução de H₂O₂, apenas os flocos biológicos demonstraram ser suscetíveis às concentrações utilizadas no experimento, já que a microfauna presente manteve-se semelhante entre reator controle e tratado e os valores de IBL_{médio} para ambos os reatores foi igual, mostrando um resultado satisfatório quanto à colonização dos reatores. Vazollér *et al* (1989) baseado nas características do flocos propõem uma relação entre tamanho do flocos e qualidade do lodo,

onde flocos com medidas de 100 a 300 μm , considerados flocos médios a grande, representam lodo com boas condições depurativas. Relacionando os valores propostos por Vazollér *et al* (1989) com os resultados obtidos na análise do reator no experimento A, observa-se que os flocos presentes no reator tratado possuem as medidas adequadas para uma boa atuação do sistema. Jenkins *et al* (2003) e Eikelboom (2000) também fazem essa relação, apesar dos valores propostos para o tamanho de floco ideal variarem de um autor para outro. Comparado aos tamanhos de flocos classificados como ideais por Jenkins *et al* (2003) e Eikelboom (2000), os flocos biológicos ao final das aplicações da solução de H_2O_2 apresentaram tamanho médio, sendo eficientes para o processo de depuração realizado dentro do sistema. Apesar dos valores de H_2O_2 serem bem inferiores aos valores propostos por autores como Eckenfelder (1989) e Keller *et al* (1972) a concentração utilizada no presente experimento foi eficiente para o controle do *bulking*.

6.3. Experimento B: Indústria Alimentícia

No experimento B, a temperatura média foi de 27,6 °C e 27,8 °C nos reatores controle e tratado, respectivamente. A temperatura ao longo do experimento está demonstrada no **Apêndice B – Tabela III**. Foram realizados sete ciclos referentes à aplicação da solução do peróxido de hidrogênio, como mostra a **Tabela 6.3**.

Tabela 6.3. Valores referentes a cada ciclo de aplicação do H₂O₂ no experimento B, referente à indústria alimentícia.

Semanas	Aplicação da solução de H ₂ O ₂	Valor da solução de H ₂ O ₂ * aplicada
1 ^a	1º ciclo	1,44
2 ^a	2º ciclo	1,55
3 ^a	3º ciclo	1,66
4 ^a	4º ciclo	1,77
5 ^a	5º ciclo	2,33
6 ^a	6º ciclo	2,88
7 ^a	7º ciclo	3,66

*(mg/L)

Assim como no **Experimento A** o consumo de oxigênio foi calculado através da TCO e TCOe, demonstrado através das **Equações 5.3 e 5.4**. O **Gráfico 6.9** apresenta a média dos valores de TCO no reator controle e tratado para as três semanas do experimento e o **Gráfico 6.10** mostra o comportamento dos reatores ao longo dos sete ciclos de aplicação da solução de

peróxido de hidrogênio. Os valores de TCO e TCOe ao longo das sete semanas do experimento estão presentes no **Apêndice B – Tabela I**.

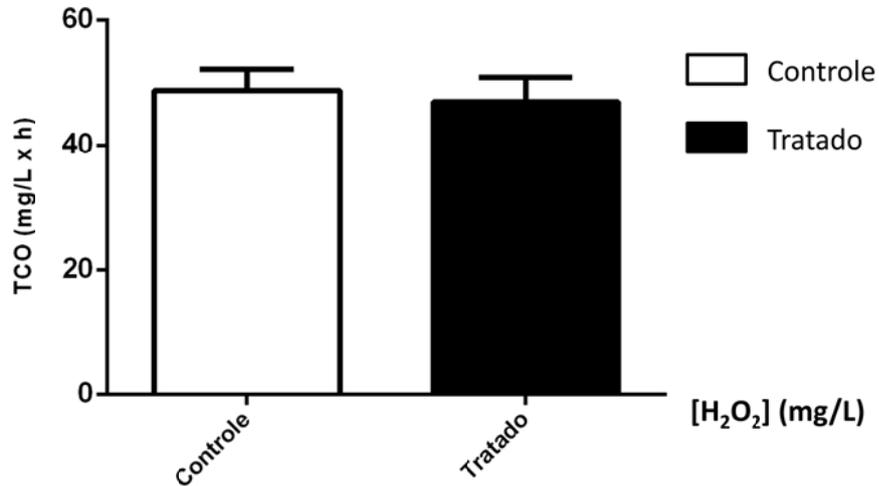


Gráfico 6.9. Média de TCO para os reatores controle e tratado.

Os valores calculados para a média da TCO nos reatores controle e tratado da indústria alimentícia, como demonstra o **Gráfico 6.9**, indica uma atividade metabólica satisfatória, devido ao alto consumo de oxigênio em um determinado intervalo de tempo. A média encontrada para o reator controle foi de 47,26 mg/L x h e 45,73 mg/L x h para o reator com lodo tratado com a solução de peróxido de hidrogênio.

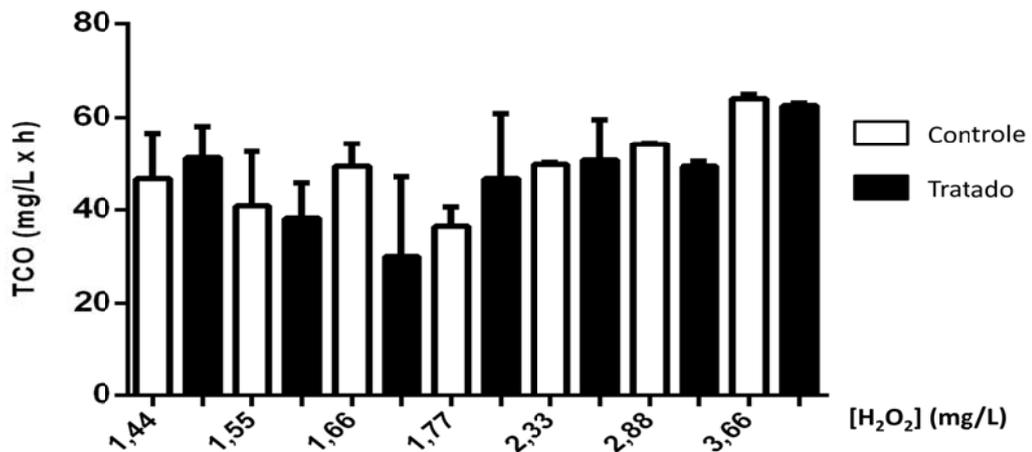


Gráfico 6.10. TCO x [H₂O₂].

Como pode ser observado através do **Gráfico 6.10**, que aponta a TCO ao longo dos sete ciclos de aplicação do H_2O_2 , o consumo de OD foi alto para ambos os reatores.

Por se tratar de uma indústria de natureza alimentícia, o afluente contém uma alta carga de matéria orgânica e comparando essa característica do afluente com o rápido consumo de OD ao longo dos testes respirométricos realizados, como concluíram Andreottola *et al* (2005) e Copp (2002) em seus estudos, os resultados apresentados nos testes respirométricos indicam que os organismos presentes nos reatores controle e tratado apresentavam atividade exógena da taxa de absorção de oxigênio, onde o substrato é rapidamente biodegradado, promovendo um aumento na velocidade de consumo de O_2 e desta forma levando a um aumento na TCO.

Ao longo do experimento a TCO foi aumentando em ambos os reatores, não sendo observadas alterações nos resultados encontrados para o reator tratado, mesmo com um aumento gradual na concentração da solução de H_2O_2 até o valor de 3,66 mg/L. A $TCO_{média}$ do reator tratado, apresentada no **Gráfico 6.9**, mostra que a atividade biológica neste reator manteve-se alta ao longo do experimento e com um valor muito próximo ao encontrado no reator controle. O **Gráfico 6.10** apresenta, separadamente, a TCO encontrada para cada ciclo de H_2O_2 e através deste gráfico pode-se observar que no terceiro ciclo, com aplicação de 1,66 mg/L da solução de H_2O_2 , houve uma redução na TCO para o tratado devido a uma aumento de temperatura no reator, que chegou a $29,1^\circ C$ interferindo desta forma, na atividade da microbiota local. O mesmo comportamento observa-se para o reator controle no quarto ciclo, onde ocorreu uma redução da TCO como consequência do aumento de temperatura no reator.

Os **Gráficos 6.11** e **6.12** estão relacionados com os resultados obtidos nos testes de TCO_e . O **Gráfico 6.11** apresenta os valores médios para o teste realizado, sendo encontrados valores semelhantes quando comparados os dois reatores, controle e tratado. A $TCO_{e,média}$ no reator controle foi de 9,93 mg/g x h e no tratado 9,27 mg/g x h.

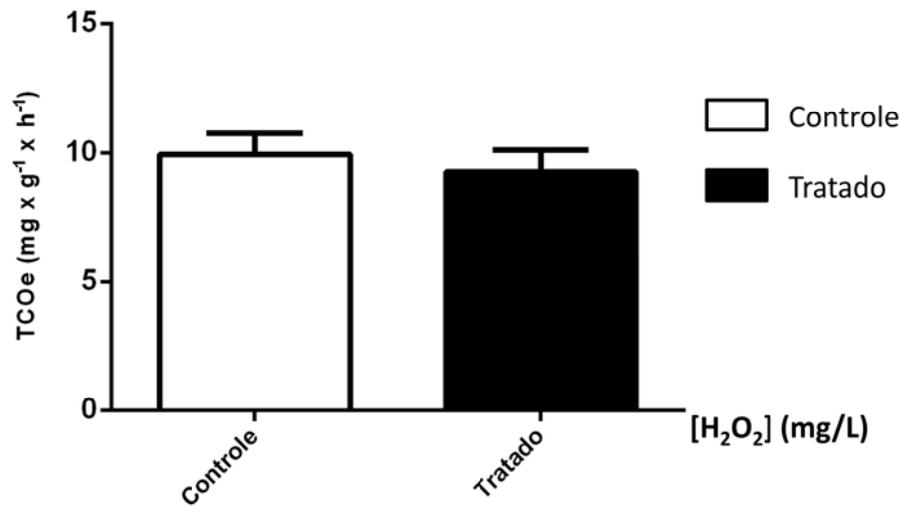


Gráfico 6.11. Média da TCOe para os reatores controle e tratado.

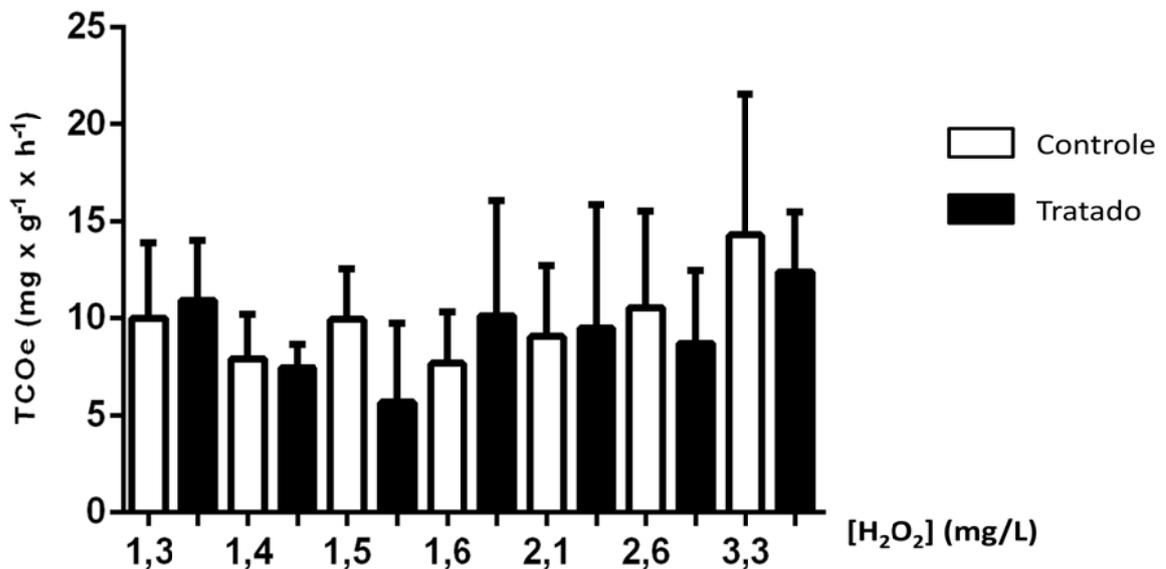


Gráfico 6.12. TCOe x [H₂O₂] ao longo dos ciclos de aplicação do H₂O₂.

Os valores calculados para a TCO e TCOe no **Experimento B** mostram que o reator com lodo proveniente da indústria alimentícia possui resultado satisfatório quanto à biodegradação da biomassa presente nos reatores. Enquanto os mesmos testes aplicados à indústria farmacêutica no **Experimento A**, mostram valores baixos de TCO e TCOe indicando baixa biodegradabilidade da biomassa contida nos reatores controle e tratado.

Como a velocidade de consumo de oxigênio no teste respirométrico do **Experimento A**, foi baixa, segundo Andreottola *et al* (2005) isso sugere uma atividade de respiração endógena do lodo.

A sedimentabilidade do lodo foi observada para avaliar a atividade dos reatores no **Experimento B**, o gráfico abaixo (**Gráfico 6.13**) mostra a média dos valores do IVL. Esses valores foram de 152,75 mL/g para o reator controle e 155,66 mL/g para o reator tratado.

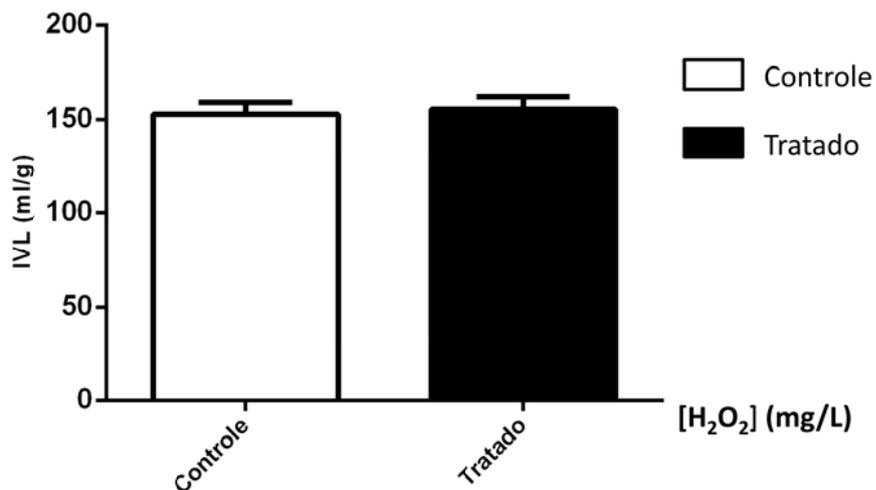


Gráfico 6.13. $IVL_{\text{médio}}$ para os reatores controle e teste do **Experimento B**.

O **Gráfico 6.14** mostra os valores do IVL a cada ciclo de aplicação da solução de H₂O₂ (vide **Apêndice B – Tabela I**). A variação do IVL ao longo de cada ciclo nos reatores controle e tratado não apresentou valores significativos. Durante o experimento o volume de lodo dentro da proveta, utilizada para realizar o teste do IVL apresentou-se alto, apesar do volume de lodo ser alto os altos valores de RNFV na amostra, apresentando uma média de 6,353 mg/L no reator controle e 4,374 mg/L no tratado, tornaram os valores do IVL muito baixos se comparado ao volume apresentado após a sedimentação de 30 minutos dentro da proveta ao longo dos experimentos. Segundo Jordão *et al* (2005) a concentração de lodo no tanque de aeração tem influência no ensaio de sedimentação, à medida que a concentração de lodo cresce o IVL aumenta, quando as concentrações de lodo são muito elevadas o resultado pode não espelhar a realidade do processo.

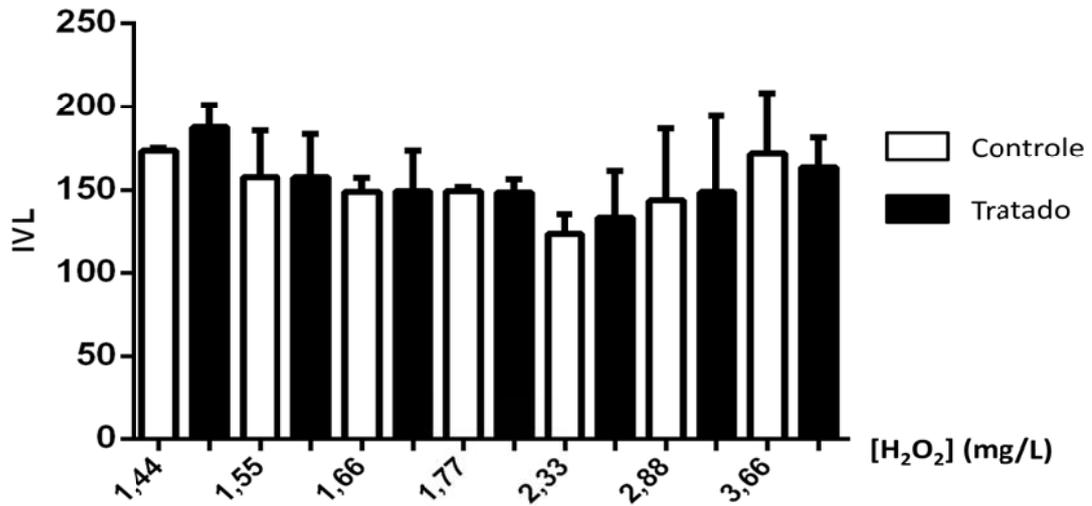


Gráfico 6.14. IVL x [H₂O₂].

A avaliação qualitativa do lodo, calculado através do IBL, teve como resultado do IBL_{médio} 5 (cinco) para o reator controle e 6 (seis) no tratado. O **Gráfico 6.15** mostra os resultados do IBL no experimento B. Os valores do IBL encontram-se no **Apêndice B – Tabela II**.

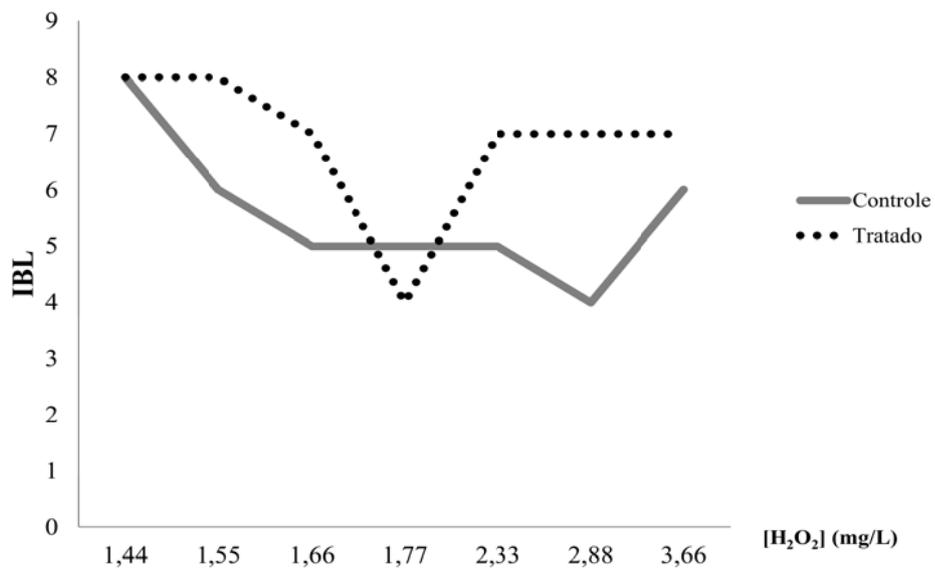


Gráfico 6.15. IBL x [H₂O₂].

O IBL 6 (seis) do tratado mostra que o reator apresenta lodo estável e bem colonizado, atividade biológica em declínio e bom desempenho. Este valor do IBL no tratado mostra que a concentração da solução de H_2O_2 não afetou a atividade da microbiota presente no reator. A **Figura 6.9** destaca um dos gêneros de CPF encontrados nos reatores da indústria alimentícia.

A redução do IBL, na quarta semana do experimento, no reator tratado foi reflexo do aumento de temperatura para $29,1^\circ C$, a medida que a temperatura se estabilizou houve um aumento no IBL. O IBL 5 no reator controle indica uma depuração biológica insuficiente no tanque de aeração e médio desempenho, porém ao final do experimento houve um aumento de IBL mostrando uma melhoria na qualidade do lodo. Esta alteração no IBL do reator controle na sexta semana do experimento pode estar relacionada ao aumento de temperatura no reator, que atingiu o valor de $30,0^\circ C$. Ambos os reatores demonstraram susceptibilidade ao aumento de temperatura, Gerardi (2006) e von Sperling (1997) em seus estudos observaram a influência do aumento de temperatura na atividade biológica, mostrando haver um grande impacto na atividade enzimática microbiana, o que se reflete na alteração de sua taxa metabólica. Segundo os autores os microrganismos presentes no sistema suportam até uma temperatura ótima, que pode variar para cada indivíduo, acima desta temperatura ocorrem processos de desnaturação enzimática, promovendo uma redução na taxa metabólica do meio. Segundo Eckenfelder, Jr *et al* (1989) e von Sperling (1997) o processo de lodos ativados atua em faixas mesofílicas ($4^\circ C$ a $39^\circ C$), sendo a faixa de temperatura um fator seletivo. Acima de $30,0^\circ C$ observa-se uma redução na atividade biológica, a $35,5^\circ C$ há degradação do floco biológico e a $40,0^\circ C$ desaparecimento de protozoários.

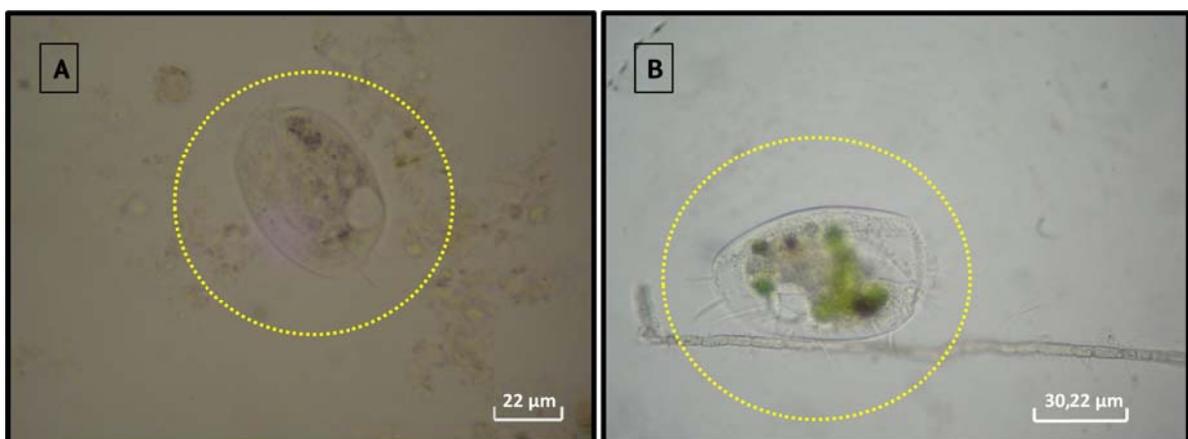


Figura 6.9. Protozoário ciliado predador de floco (CPF) do gênero *Euplotes* destacado em A e B. Aumento 1000X (A) e (B).

As **Figuras 6.10 e 6.11** demonstram táxons de ciliados sésseis encontrados no sistema, já a **Figuras 6.12 a 6.14** mostram organismos ciliados livres.

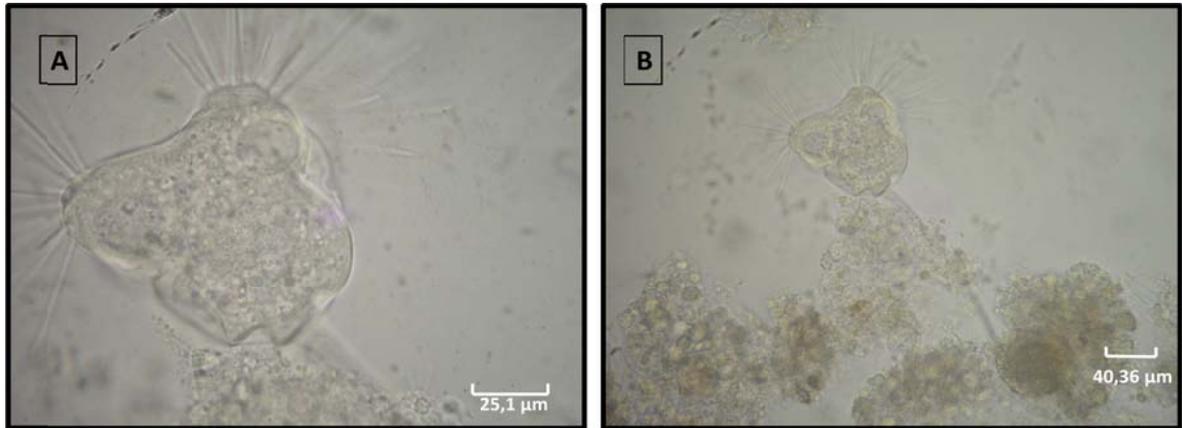


Figura 6.10. Protozoário ciliado sésseil (CF), gênero *Tokophrya*. Aumento de 1000X (A) e 400X (B).

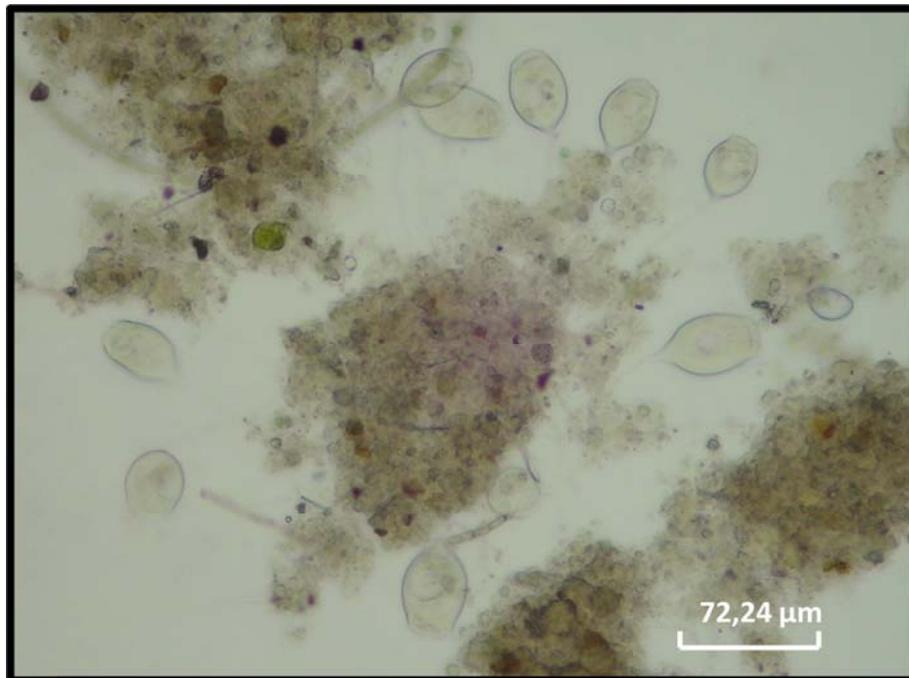


Figura 6.11. Ciliado sésseil, *Vorticella sp.* Aumento 400X.

Segundo Bento *et al* (2005) e Madoni (1994) um aumento na quantidade de organismos do gênero *Vorticella* indicam um efluente de má qualidade, porém essa premissa

só é verdadeira caso haja um reduzido número de ciliados livres. No experimento da indústria alimentícia houve um maior número de ciliados livres comparado ao de *Vorticellas*.

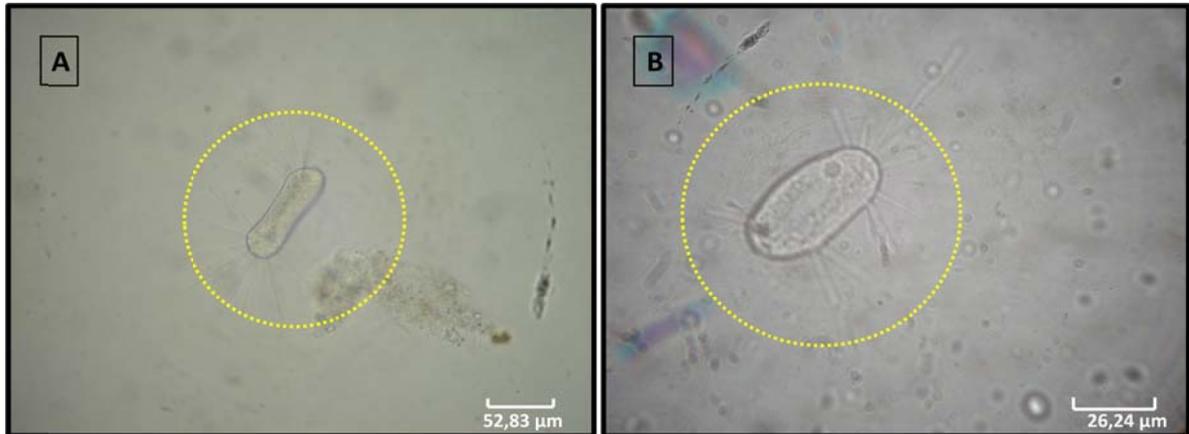


Figura 6.12. Protozoário ciliado. Aumento 400X (A) e 1000X (B).

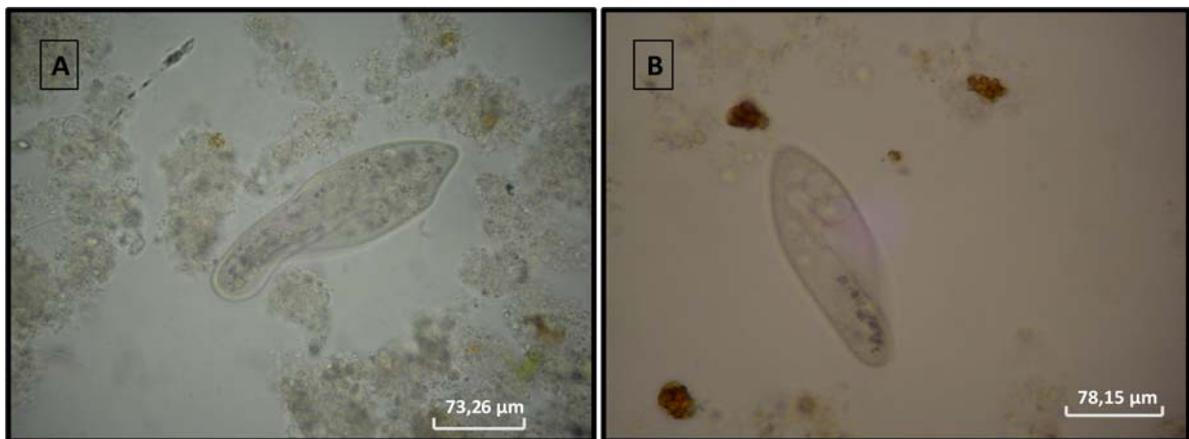


Figura 6.13. *Paramecium sp.* Aumento 400X (A) e (B).



Figura 6.14. Protozoário ciliado livre natante (CLN). Aumento 400X.

Os reatores apresentaram uma boa diversidade taxonômica e uma porcentagem maior de CPF e AMB, no controle 47,3% de CPF e 26,7% AMB e no tratado 57,0% de CPF e 27,2% de AMB. A presença de CPF e AMB indica uma boa qualidade e desempenho satisfatório do lodo biológico, Hoffmann *et al* (2001), Oliveira *et al* (2009) e Hermoso *et al* (2010) concluíram em seus trabalhos que os ciliados atuam como bioindicadores e sua presença indica boa depuração do sistema de tratamento, indicando maior estabilidade e eficiência no tratamento de efluentes. Segundo Bento *et al* (2005), Gerardi (2006) e Madoni (1994) os CPF são responsáveis pela remoção de material particulado não integrado ao floculo biológico. As **Figuras de 6.15 e 6.16** são fotomicrografias de protozoários flagelados encontrados nos reatores ao longo do experimento B. Na **Figura 6.16** a coloração apresentada pelos microrganismos é decorrente da presença de um corante verde no afluente utilizado como alimentação para o reator aeróbio.

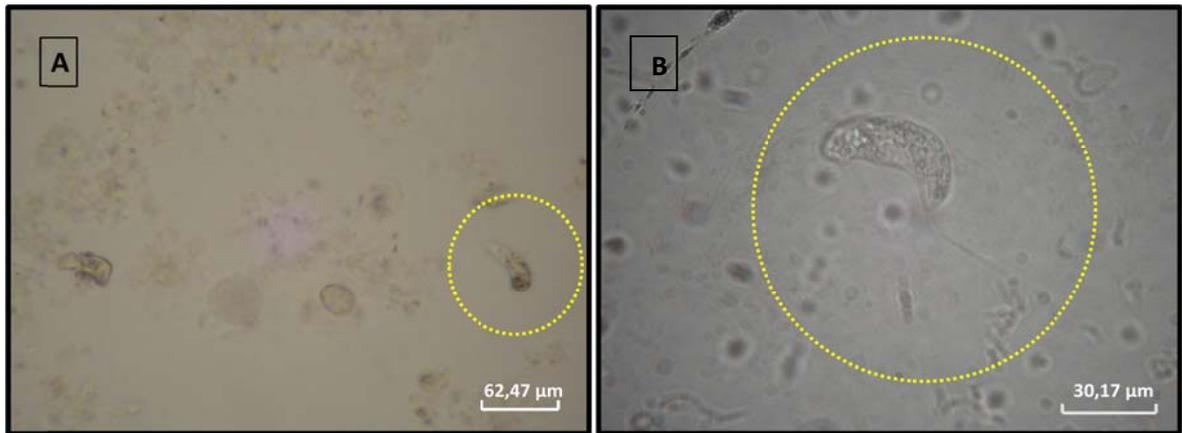


Figura 6.15. Protozoários flagelados. Aumento 400x (A) e 1000X (B).

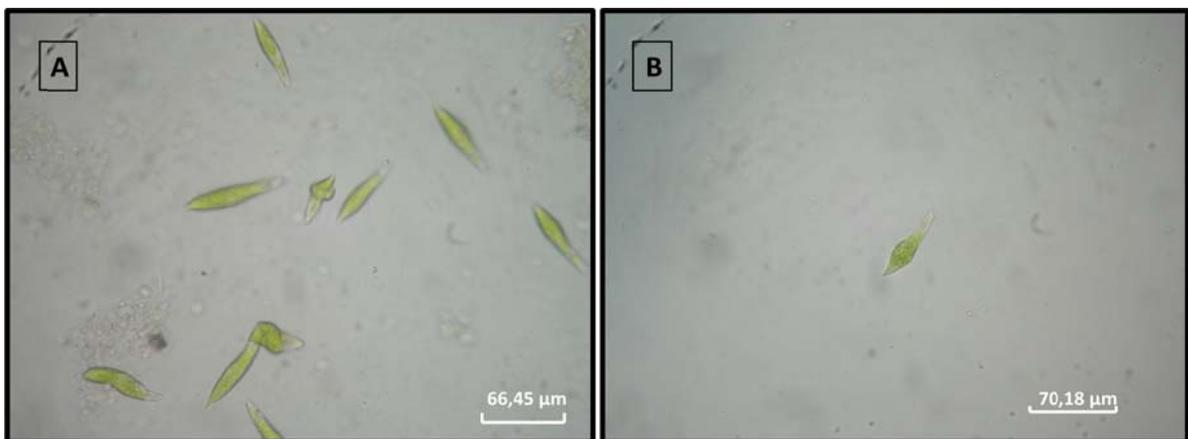


Figura 6.16. Protozoário flagelado. Aumento de 400X (A) e (B).

A presença de protozoários flagelados (FLG) foi maior no reator controle, enquanto no reator tratado esse número foi reduzido. A presença deste táxon demonstra um fraco desempenho do sistema, segundo Madoni (1994), devido a esse fator houve uma redução no valor do IBL ao longo do experimento no reator controle, mostrando um $IBL_{\text{médio}}$ 5 (cinco) para esse reator.

As **Figuras 6.17 e 6.18** mostram micrometazoários (MTZ) presentes em ambos os reatores. A presença desses microrganismos no sistema, segundo Hoffmann *et al* (2001), Bento *et al* (2010), Bento *et al* (2005), Cutollo *et al* (2000), indica uma elevada idade do lodo, já que esses microrganismos apresentam uma taxa de crescimento lenta. Jenkins *et al* (2003), Oliveira *et al* (2009) e Bento *et al* (2005) citam que a presença de rotíferos atuam como microrganismos predadores de flocos e bactérias livres, atuando em conjunto com ciliados

livre natantes e ciliados predadores de flocos garantem a qualidade do lodo, aumentando a eficiência do processo de lodos ativados.

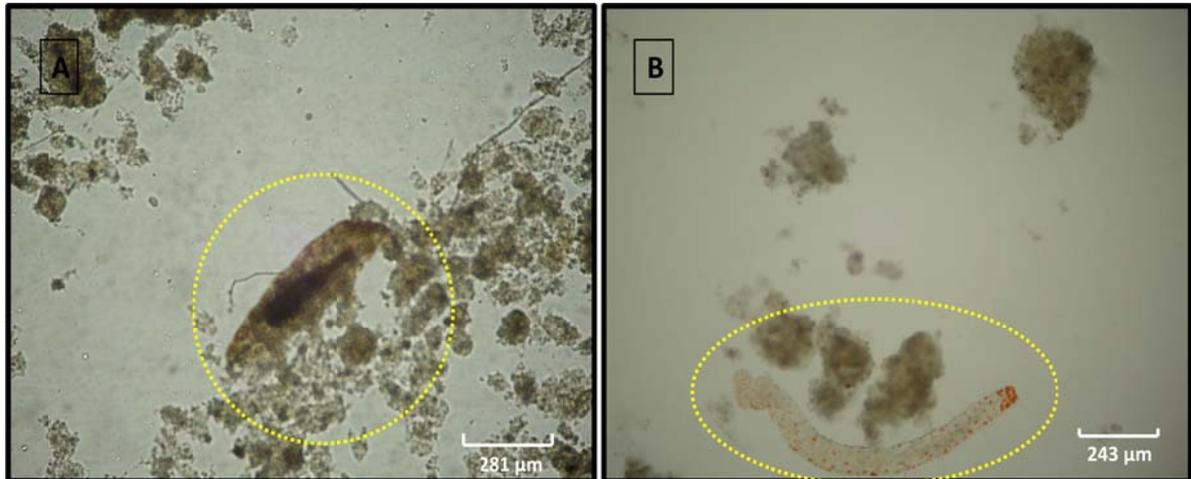


Figura 6.17. (A) Tardígrada; (B) Anelídeo, gênero *Aesoloma*. Aumento 100X (A) e (B).

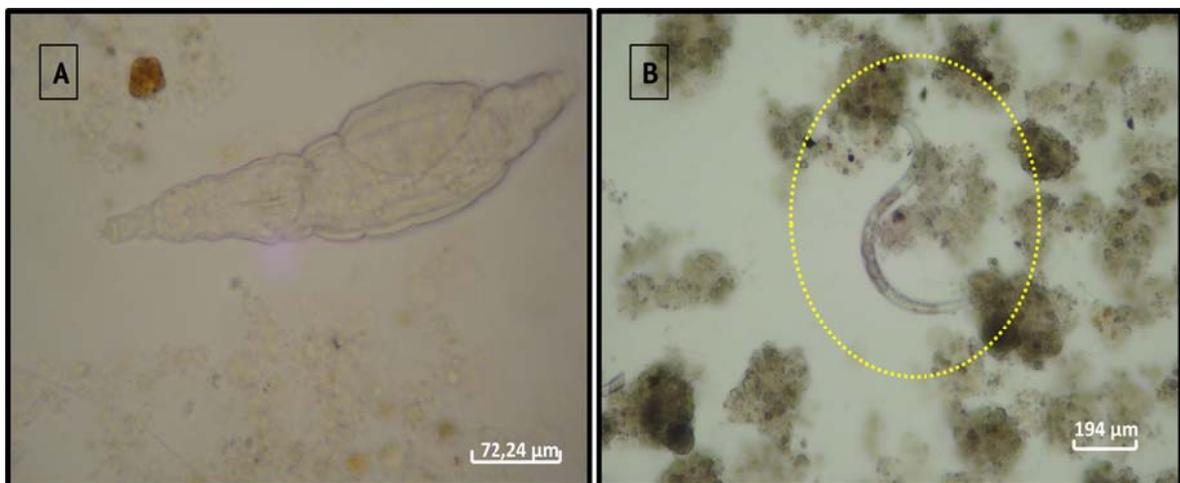


Figura 6.18. (A) Rotífero; (B) Nematelmintho. Aumento 400X (A) e 100X (B).

A **Figura 6.19** mostra microrganismos encontrados no decorrer do experimento, porém não foi possível sua identificação.

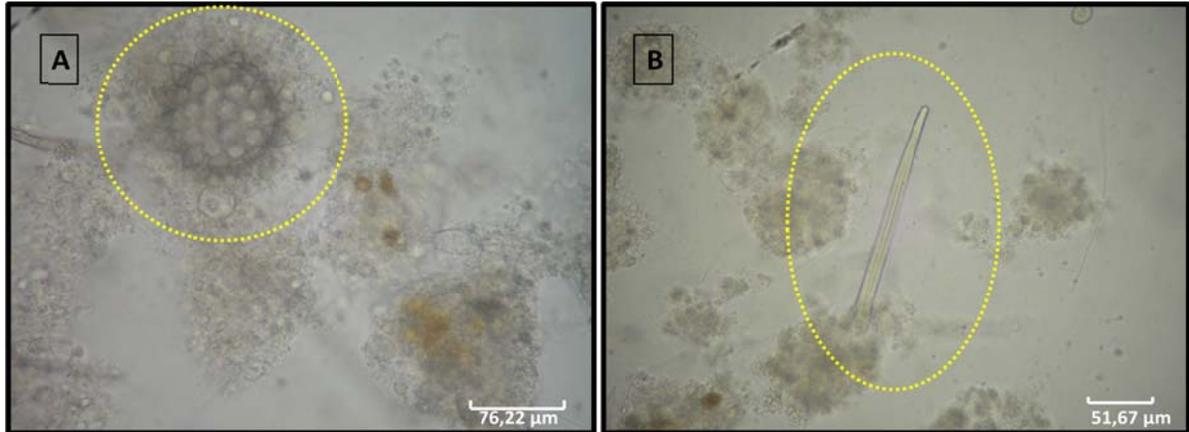


Figura 6.19. Microrganismos não identificados. Aumento 400X (A) e (B).

A fotomicrografia apresentada na **Figura 6.20**. demonstra a diferença dos flocos encontrados no reator controle e tratado. Observa-se um elevado número de microrganismos filamentosos no reator controle, onde não houve a adição da solução de peróxido de hidrogênio e um número reduzido no tratado, onde ocorreu essa aplicação. O valor do tamanho dos filamentos e flocos presentes avaliados microscopicamente ao longo do experimento foram tabelados no **Apêndice B – Tabela IV**.

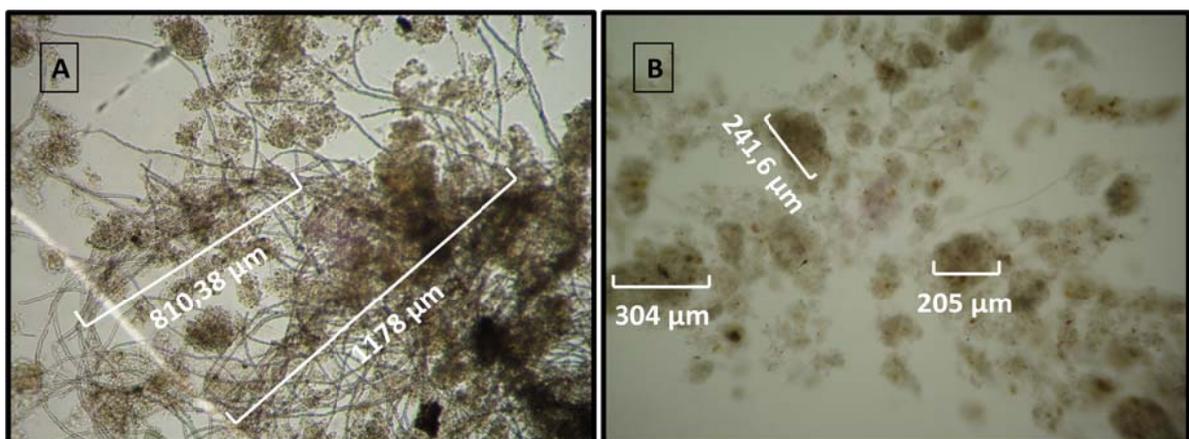


Figura 6.20. Fotomicrografia dos flocos presentes no reator controle (A), apresentando um grande número de filamentosos e reator tratado (B) com poucos filamentos e flocos em tamanho ideal. Aumento 100X (A) e (B).

O **Gráfico 6.16** mostra a média e o desvio padrão da análise realizada sobre a variação do tamanho dos flocos (μm) das amostras obtidas do reator controle e tratado ao longo do experimento B. Os valores encontrados mostraram significância entre os dados obtidos $*(P<0,05)$.

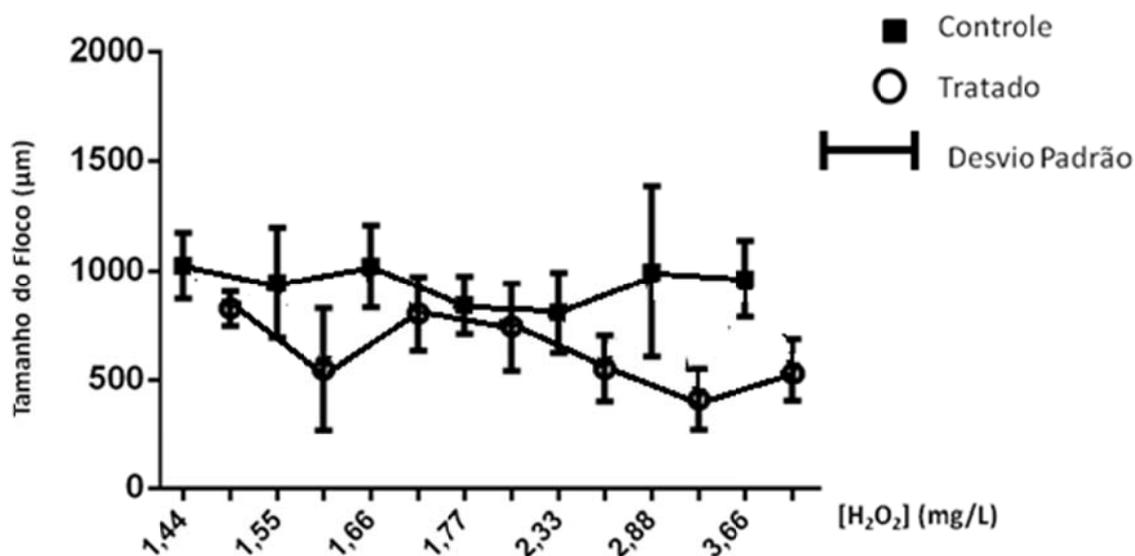


Gráfico 6.16. Tamanho dos flocos no reator controle e tratado, no experimento B. Os valores obtidos foram significativos $*(P<0,05)$.

A partir da análise do gráfico observa-se uma redução no tamanho de flocos e filamentos do reator tratado ao longo do experimento. O tamanho dos flocos encontrados no reator controle possuem diâmetro $>500 \mu\text{m}$, segundo Jenkins *et al* (2003) reatores com predominância de flocos de grande diâmetro são acometidos pelo fenômeno de intumescimento do lodo. No reator tratado a média de diâmetro dos flocos, assim como no controle, foi acima de $500 \mu\text{m}$, porém comparando o tamanho dos flocos do tratado com o controle, o primeiro obteve flocos menores e uma redução no tamanho dos filamentos. Observa-se que nas últimas duas semanas do experimento a diferença no tamanho dos flocos entre controle e tratado foi grande, na sexta semana o tamanho do floco era de $411 \mu\text{m}$, sendo desta forma considerado um floco médio, esse diâmetro aumentou na sétima semana para $545 \mu\text{m}$ e, portanto, classificado como um floco grande. Apesar do diâmetro do floco no reator tratado não ter se enquadrado na faixa de diâmetro proposta por Jenkins *et al* (2003) na última

semana do experimento, houve uma significativa redução no número e tamanho dos filamentos ao longo das aplicações da solução de H_2O_2 , sem que as concentrações aplicadas desestabilizassem o sistema, mantendo íntegra a microbiota presente no reator.

Pode-se notar a diferença nas concentrações da solução de H_2O_2 utilizadas nos **Experimento A** e **B**. Essa diferença pode ser relacionada com a natureza dos filamentos presentes em cada indústria, o **Experimento A** apresentou microrganismos do Reino Monera, enquanto em **B** os filamentosos pertenciam ao Reino Funghi. Essa diferença é importante para entender a quantidade da solução de H_2O_2 aplicada em cada experimento. Nelson *et al* (2011) e Ricklefs (2011) classificam os organismos em dois grandes grupos, o dos procariontes observados no **Experimento A** e eucariontes, presentes no **Experimento B**. Segundo Raff *et al* (2010) nos eucariontes há a presença de uma organela citoplasmática denominada peroxissomo, capaz de decompor H_2O_2 com o auxílio de enzimas oxidativas, como a catalase, em H_2O e O_2 . Essa característica dos organismos eucariotos torna difícil a ação desse composto.

Devido a essas características dos organismos do **Experimento B**, foi necessária uma maior concentração da solução de H_2O_2 para causar a redução dos filamentos presentes no sistema, porém essa concentração não alterou a microbiota presente como demonstra o resultado do IBL para o reator tratado.

7. CONCLUSÕES E ORIENTAÇÕES

- A solução de H₂O₂ apresentou grande eficiência no controle de filamentosos, assim como, a utilização de H₂O₂ sem diluição. A concentração da solução de H₂O₂ utilizada no presente experimento foi significativamente inferior às concentrações citadas por Keller *et al* (1972), que variaram de 20 a 40 mg/L e Jenkins *et al* (1993), que cita dosagens de 40 a 200 mg/L.
- A solução de H₂O₂ apresenta vantagens em relação à utilização de H₂O₂ puro, já que reduz o risco de queimaduras e/ou irritações em seu manuseio e por liberar uma pequena quantidade de oxigênio em sua decomposição, reduzindo assim, o risco de acidentes devido a combustão de produtos inflamáveis.
- Através dos testes de TCO e TCOe, realizados nos **Experimentos A e B**, pode-se observar que a aplicação da solução de H₂O₂ não alterou o metabolismo microbiano, sendo os valores para estes testes semelhante entre os reatores controle e tratado. Mesmo no **Experimento B**, no qual a quantidade da solução de H₂O₂ utilizada foi maior, não foi observada alteração no metabolismo da microfauna.
- No **Experimento A**, referente à indústria farmacêutica, observou-se ao longo dos teste respirométricos um lento decaimento na taxa de OD. Isso pode ser relacionado à natureza do afluente utilizado na alimentação dos reatores, indicando assim, a presença de substâncias tóxicas que afetaram o metabolismo dos microrganismos. No experimento B, o consumo de OD teve um rápido decaimento, mostrando uma alta eficiência na degradação de matéria orgânica nestes reatores, como demonstrado nas análises de TCO e TCOe.
- A presença de substâncias que apresentavam grau de toxicidade também foi observada quando comparada a biodiversidade nos **Experimentos A e B**. O **Experimento A** apresentou menor biodiversidade comparado ao **Experimento B**, demonstrando a importância do controle de substâncias tóxicas que possam afetar o sistema.

- Os resultados obtidos pelo IVL não foram satisfatórios para avaliar a qualidade do lodo, apesar dos reatores apresentarem um grande volume de lodo ao longo do experimento dentro das provetas, o resultado final foi baixo. Na maioria dos casos esse valor pode ser relacionado com um alto valor de RNFV. Sendo assim, os resultados do IVL não espelharam a realidade dos reatores.
- Os resultados do IVL foram confrontados através das análises microscópicas, que mostraram um excesso de filamentosos ao longo de todo experimento nos reatores controle de ambos os experimentos e os mesmos microrganismos tendo uma redução de seus filamentos através da progressiva utilização da solução de H₂O₂. Este fato mostra a importância da análise microscópica como método para monitoramento e avaliação quantitativa e qualitativa das ETE's, garantindo uma maior eficiência no processo de depuração no sistema.
- Através das análises microscópicas foi possível observar a sazonalidade da microfauna de acordo com a idade do lodo e a temperatura dos reatores. Ciliados predadores de flocos mostraram-se sensíveis a temperaturas maiores que 30,0°C. A partir desta temperatura houve uma redução de táxons no sistema, porém os metazoários suportaram esse aumento de temperatura mantendo seu metabolismo normal. O aumento de temperatura pode ser relacionado com algumas variações nos valores obtidos no IBL.
- O IBL, proposto por Madoni (1994), mostrou uma avaliação parcial. Os valores obtidos através do Índice de Madoni (1994) pode apresentar falhas para representar as condições de sistemas biológicos, já que sua avaliação se baseia principalmente na presença de protozoários. Com isso é necessária uma avaliação do sistema como um todo, comparando relação entre microrganismos mais incidentes no meio, parâmetros físico-químicos, para uma avaliação das condições do sistema biológico.
- O experimento A, apresentou uma porcentagem de tecamebas no reator controle e 48,1% no tratado. No reator controle além das tecamebas (AMB) foram encontrados 17,3% de flagelados, 18,5% de ciliados predadores de flocos (CPF). O

reator tratado apresentou 5,1% de flagelados, 20,6% de ciliados predadores de flocos. No experimento B, os reatores também apresentaram uma alta porcentagem de tecamebas e ciliados predadores de flocos, no controle 47,3% de CPF e 26,7% AMB e no tratado 57,0% de CPF e 27,2% de AMB. A alta porcentagem de tecamebas e CPF nos reatores indicam boa depuração do sistema, como demonstrado pelas análises do IBL. Tanto no experimento A, quanto no experimento B, não houve diferença entre a porcentagem de microrganismos encontrados nos reatores controle e tratado.

- A presença de micrometazoários indica uma alta idade do lodo, na presença de rotíferos observou-se uma boa depuração no sistema, mesmo quando número de ciliados predadores de flocos não era alto, a associação desses dois microrganismos garantiu a predação dos flocos e controle dos filamentosos.
- A comparação entre o tamanho dos flocos e filamentos encontrados nos reatores controle e tratado nos experimentos A e B demonstram a eficiência da solução de H_2O_2 no controle de filamentosos sem alterar a atividade da microfauna e a qualidade do lodo, como demonstrado através do IBL.
- Apesar do tamanho dos flocos não ter alcançado um tamanho ideal no experimento B, apresentando no reator tratado uma média de 545 μm , através de análises estatísticas foi demonstrado a eficiência da solução de H_2O_2 no controle dos filamentosos quando comparado o reator controle com o tratado, tendo o reator controle filamentos muito longos com tamanho muito superior a 500 μm .
- A diferença nas concentrações da solução de H_2O_2 utilizada entre os experimentos pode ser associada à natureza dos filamentos. Os filamentos encontrados na indústria alimentícia eram referentes a fungos filamentosos, como estes são eucariotos possuem uma organela citoplasmática, o peroxissomo, que facilita a decomposição do H_2O_2 dificultando a ação desta solução. Na indústria farmacêutica os filamentos eram formados por bactérias filamentosas, esses microrganismos são seres procariontes e não possuem organela citoplasmática capaz de decompor H_2O_2 , facilitando a ação da solução de H_2O_2 .

- Com o objetivo de contribuir no conhecimento sobre a ação da solução de H_2O_2 , utilizada no presente estudo, podem-se realizar novos testes com lodos de origem diferente aos testados ao longo deste trabalho, sendo realizados monitoramentos das atividades do lodo através:
 1. Testes de respiração e sedimentabilidade;
 2. A variação das concentrações dos lodos dos reatores de bancada, através dos parâmetros de RNFT e RNFV;
 3. Avaliação microscópica para avaliação qualitativa do sistema, além da detecção dos microrganismos com maior ou menor resistência à ação da solução de H_2O_2 testada.
 4. Monitoramento de microrganismos filamentosos a partir de análises microscópicas e realização de análises sobre tamanho de flocos e filamentos, além de determinação dos microrganismos presentes em sua composição.

REFERÊNCIAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION (APHA), AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION, WATER ENVIRONMENT FEDERATION. Standart Methods for Examination of the Water and Wastewater. 21^a ed., Washington – D.C.: APHA, 2005. 1108 p.
- ANDREOTTOLA, G.; FOLADORI, P.; FERRAI, M.; ZIGLIO, G. *Respirometria applicata alla depurazione delle acque: principi e metodi*. Collana scientifico-divulgativa Monographia, n. 3. Dipartimento di Ingegneria Civile ed Ambientale, Università degli Studi di Trento. 156p. 2002.
- ANDREOTTOLA, G.; OLIVEIRA, E.L.; FOLADORI, P.; DALLAGO, L.; PETERLINI, R.; CADONNA, M. Método respirométrico para o monitoramento de processos biológicos. In.: *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 10, n. 1, 2005.
- ARAÚJO, L. G. R. *Avaliação dos nutrientes Metálicos nos Processos de Lodos Ativados*. Dissertação de mestrado – Pós-graduação em Engenharia Ambiental, UERJ, 2010.
- BAIRD, C.; CANN, M. *Química Ambiental*. 4^a ed., Bookman, Porto Alegre, 2011. 844 p.
- BARNERS, R. D. *Zoologia dos invertebrados*. 4^a ed. Editora Roca, Pennsylvania, 1984.
- BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; PHILIPPI, L. S.; REGINATTO, V.; LAPOLLI, F.R. Caracterização da microfauna em Estação de Tratamento de Esgotos do Tipo Lodos Ativados: Um Instrumento de Avaliação e Controle do Processo. In: *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol. 10, n. 4, 2005.
- BENTO, A. P.; SEZERINO, P. H.; BARBOSA, T. C.; PHILIPPI, L. S. Comparação entre modelos aplicados ao diagnóstico do tratamento de esgotos por sistema de lodos ativados, baseado em parâmetros biológicos. In: VI Simpósio Ítalo Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2010.

- BERANGER, M. A. Avaliação da Influência do pH na respiração de Lodos Ativados. Dissertação de Mestrado – Pós-graduação em Engenharia Ambiental, UERJ, 2009.
- BITTON, G. Wastewater microbiology. 4th ed., Wiley-Blackwell. Department of Environment Engineering Sciences, University of Florida, Gainesville - FL. 2010.
- BRITTO, J. M.; RANGEL, M. C. Processos avançados de oxidação de compostos fenólicos em efluentes industriais. Química Nova, vol. 31, nº 01, p. 114-122, 2008.
- CAMPOS, J.R. Alternativa para tratamento de esgotos – pré-tratamento de águas para abastecimento. Publicação nº 09, Consórcio Intermunicipal das Bacias dos Rios Piracicaba e Capivari, Americana, SP, [s.n.], 1994.
- CAROPRESO, F. E.; RALEIGH, C.W.; BROWN, J. C. Attack bulking sludge with H₂O₂ and a microscope, Bull. Calif. Water Pollut.1974.
- COSTA, VICTOR SURERUS LEAL. Avaliação de efeito tóxico utilizando o método respirométrico em processos de lodos ativados. Dissertação de mestrado – pontificia Universidade Católica do Rio de Janeiro, PUC-RJ. 2009.
- COPP, J. B. Respirometry in Control of the Activated Sludge Process: Benchmarking Control Strategies. IWA Publishing, London. 2002.
- CUTOLLO, S.A.; ROCHA, A. A. Correlação entre microfauna e as condições operacionais de um processo de lodos ativados. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2000.
- DEZZOTI, M; SANT'ANNA Jr, G. L.; BASSIN, J. P. Processos Biológicos Avançados para Tratamento de Efluentes e Técnicas de Biologia Molecular para o Estudo da Diversidade Microbiana. Rio de Janeiro: Interciência, 2011. 368 p.
- ECKENFELDER, W. W. Jr. Industrial Water Pollution Control, 2. ed. New York: McGraw-Hill, 1989. 400p.
- ECKENFELDER, W. W.; MUSTERMAN, J. L. Activated Sludge Treatment of Industrial Wastewater. USA: Technomic Publishing Company, 1995. 281p.

- EIKELBOOM D. H. Sulfur storing bacteria and bulking of activated sludge. In Environmental Technologies to Treat Sulfur Pollution - Principles and Engineering, eds P. N. L. Lens and L. Hulshoff Pol. IWA. Publishing, London, 2000. 449–466p.
- FERNANDES, J. G. S.; VAN HANDELL, A.; CAVALCANTI, P. F. F.; COURA, L. R. Utilização da respirometria no controle operacional de sistemas aeróbios de tratamento de águas residuárias- A experiência da Cetrel. Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental. Vol. 6, n. 3. 2001.
- FERREIRA, E. D. S., SOARES, S. R., A.; BERNARDES, R. S. Uso da respirometria para a caracterização de esgotos domésticos: aplicação, limites e apresentação de método simplificado. XXVIII Congresso Interamericano de Ingeniería Sanitaria y Ambiental, Cancún – México. 2002.
- FIA, F. R. L.; MATOS, A. T.; BORGES, A. C.; MOREIRA, D. A.; FIA R.; EUSTÁQUIO JÚNIOR, V. Remoção de compostos fenólicos em reatores anaeróbios de leito fixo com diferentes materiais suporte. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental, v.14, n. 10, Campina Grande, PB, 2010. p.1079-1086.
- FREIRE, R. S.; PELEGRINI, R.; L. T.; KUBOTA, L. T.; DURÁN, N. Novas tendências para o tratamento de resíduos industriais contendo espécies organocloradas. Química Nova, vol. 23, nº 4. 2000.
- GERARDI, M. H. Wastewater bactéria. New Jersey, 2006. 272 p.
- GIORDANO, G. Tratamento e Controle de Efluentes Industriais. *Apostila do Curso de Especialização em Engenharia Sanitária e do Meio Ambiente*, [S.l.: s.n.], 2011.
- HASSEMER, M. E. N.; LAPOLLI, F. R.; AMORIM, M. T. S. P. Oxidação por via úmica ativada - UV/H₂O₂ – para degradação da cor de efluentes têxteis. 23º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. 2005.
- HERMOSO, A. R.; FERRERIA, S.; SILVA, E. R.; MORAIS, J. L. Correlação entre a microfauna e parâmetros físico-químicos de um sistema de lodos ativados de uma indústria de refrigerantes. In: Revista Brasileira de Ciências Ambientais, Vol 4, 2010.

- HOFFMANN, H.; BENTO, A.P.; PHILIPPI, L. S.; FILHO, P. B. Utilização da imagem microscópica na avaliação das condições de operação – uma aplicação da experiência da Alemanha em estações de tratamento de esgotos no Brasil. In: 21º Congresso de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2001.
- JARDIM, F. A.; BRAGA, J. M. S.; MESQUITA, M. M. F. Avaliação da eficiência do tratamento biológico de esgotos através da caracterização da microbiota da ETE Fonte Grande – Contagem - MG. In.: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1997.
- JENKINS, D.; RICHARD, M.G. & DAIGGER, G.T. Manual on the causes and control of activated sludge bulking and foaming. 3ª ed., Lewis Publishers, Inc., Estados Unidos, 2003. 193 p.
- JORDÃO, E. P.; PESSÔA, C. A. Tratamento de esgotos domésticos. 4ª edição. Rio de Janeiro- ABES, 2005. 932p.
- JORDÃO, E. P.; VILLAS BÔAS, D.; CONCEIÇÃO, J. R.; SILVA, T. C. R. Controle microbiológico na operação de um sistema de lodos ativados – Estudo em escala piloto. In: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1997.
- JORDÃO, E. P.; SANTOS, V. M. M.; CONCEIÇÃO, J. R.; SOBRINHO, P. A. Determinação do Índice Volumétrico do Lodo numa concentração padrão. In.: 19º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 1997.
- KELLER, P.J; COLE, C. A. Treatment of filamentous bulking with hydrogen peroxide. Engineering Technical Reports Collection, Purdue University. 1972. 756-762 p.
- KELLER, P.J; COLE, C. A. Hydrogen peroxide cures bulking. Water Wastes Eng., 10 E4. 1973.
- LEE, H. H. B.; PARK, AH-HYUNG; OLAMAN, C. Stability of hydrogen peroxide in sodium carbonate solutions. Tappi Journal Peer Reviewed Paper. 2000.

- MADONI, P. A Sludge Biotic Index (SBI) for the Evaluation of the Biological Performances of Activated Sludge Plants Bases on the Microfauna Analysis. *Water Research*, Grã-Bretanha, v. 28, n. 1, p. 67-75, 1994.
- MATTOS, I. L.; SHIRAIISHI, K. A.; BRAZ, A. D.; FERNANDES, J. R. Peróxido de hidrogênio: Importância e determinação. *Química Nova*, vol. 26, nº 3, p. 373-380, 2003.
- MELO, S. A. S.; TROVÓ, A. G.; BAUTITZ, I. R.; NOGUEIRA, R. F. P. Degradação de fármacos residuais por processos oxidativos avançados. *Química Nova*, vol. 32, nº 1, p. 188-197, 2009.
- MÉNDEZ, C. M; ÁREA, M. C. Influência das variáveis de processo na etapa Ep do branqueamento ECF. *O Papel*, vol. 70, nº 6, 39-47 p., 2009.
- NELSON, D. L.; COX, M. M. Princípios de bioquímica de Lehninger. 5ª ed. Porto Alegre: Artmed, 2011.
- NOGUEIRA, R. F. P., JARDIM, W. F. A fotocatalise heterogênea e sua aplicação ambiental. *Química Nova*, 1998.
- OLIVEIRA, G. S. S.; ARAÚJO, C. V. M.; FERNANDES, J. G. S. Microbiologia de sistema de lodos ativados e sua realção com o tratamento de efluentes industriais: a experiência da Cetrel. In: *Engenharia Sanitária e Ambiental*, Vol. 14 n. 2, 2009. 183-192 p.
- PATTERSON, D. J.; HEDLEY, S. Free-living freshwater protozoa – A colour guide. Wolfe Publishing Ltd – England, 1992.
- PEREIRA, W. S.; FREIRE, R. S. Ferro zero: uma nova abordagem para o tratamento de águas contaminadas com compostos orgânicos poluentes. *Química Nova*, vol. 28, nº 1, 130-136 p., 2005.
- RAFF, A.; ROBERTS, J.; WALTER, L. *Biologia molecular da célula*. 5ª ed., Ed. Artmed, 2010. 1268 p.
- RICKLEFS, R. E. *A economia da natureza*. 6ª ed., Ed. Guanabara Koogan, 2011. 546 p.
- SANT'ANNA Jr, G. L. *Tratamento Biológico de Efluentes: Fundamentos e Aplicações*. 1ª ed. Editora Interciência, 2010. 418 p.

- SANTOS, R. C. O.; BARBOSA FILHO, O.; GIORDANO, G. Proposta de um método racional para o dimensionamento de reatores de tratamento de esgotos por lodos ativados em bateladas para remoção de carga orgânica. *Engenharia Sanitária Ambiental*, Vol. 11 – Nº 2, 2006. 153 – 161 p.
- SILVA, T. C. R.; DA-RIN, B.P. Caracterização da biota de uma estação experimental de tratamento de esgotos em diferentes idades do lodo. In: XXVII Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental – ABES, 2000.
- SPANJERS, H., VANROLLEGHEM, P., OLSSON, G.; DOLD, P.L. *Respirometry in Control of the Activated Sludge Process: Principles, Scientific and Technical Reports No. 7*, IAWQ, London. 1998.
- US PEROXIDE [homepage]. Atlanta : Technologies for a clean environment. [Acessado em dezembro de 2012]. Disponível em: <http://www.h2o2.com> .
- VAN HAANDEL, A.; MARAIS, G. O comportamento do sistema de lodo ativado – Teoria e aplicações para projetos e operação. Campina Grande, egraf, 1999. 488 p.
- VAZOLLÉR, R.F.; GARCIA, M.A.R.; GARCIA Jr.A.D.; CONCEIÇÃO NETO; J. *Microbiologia dos lodos ativados*. São Paulo: CETESB, 1989. 22 p.
- VON SPERLING, M. *Lodos Ativados*. Belo Horizonte: Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental – UFMG, Vol. 4, 1997. 416 p.
- VON SPERLING, M. Dimensionamento de Lodos Ativados por Batelada Utilizando os Princípios da teoria do Fluxo de Sólidos. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental*. Vol.6, n. 3 e n. 4, 2001.
- VON SPELING, M; CHERNICHARO, C. A. L. *Biological wastewater treatment in warm climate regions*. Vol. 2, IWA Publishing, London, 2005.
- WANG, L. K.; PEREIRA, N.C.; HUNG, Y. *Biological treatment process*. Handbook of Environmental Engineering – Humana Press, 1 edition, vol. 8, 2008. 840p.

Apêndice A – Indústria Farmacêutica (Experimento A)

I. Valores de TCO, TCOe e IVL

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	Controle		
		TCO (mg/L.h)	TCOe (mg/g.h)	IVL (mL/g)
1 ^a	1,22	8,32	2,71	87,65
2 ^a	1,33	13,85	4,51	82,62
3 ^a	1,44	18,17	5,80	192,96

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	Tratado		
		TCO (mg/L.h)	TCOe (mg/g.h)	IVL (mL/g)
1 ^a	1,22	9,56	3,08	85,92
2 ^a	1,33	13,94	4,55	77,55
3 ^a	1,44	15,90	5,16	158,80

II. Valores do IBL

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	IBL	
		Controle	Tratado
1 ^a	1,22	6	6
2 ^a	1,33	6	6
3 ^a	1,44	6	5

III. Temperatura

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	Temperatura (°C)	
		Controle	Tratado
1 ^a	1,22	23,1	22,3
2 ^a	1,33	24,85	24,65
3 ^a	1,44	28,15	27,95

IV. Tamanho dos Flocos e Filamentos

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	Tamanho de flocos e filamento (µm)	
		Controle	Tratado
1 ^a	1,22	946,24	720,98
2 ^a	1,33	912,17	443,48
3 ^a	1,44	987,75	182,69

Apêndice B - Indústria Alimentícia (Experimento B)

I. Valores de TCO, TCOe e IVL

Semanas	[] (mg/L)	<i>Controle</i>		
		TCO (mg/L.h)	TCOe (mg/g.h)	IVL (mL/g)
1 ^a	1,44	46,53	9,98	170,43
2 ^a	1,55	32,95	6,78	180,34
3 ^a	1,66	53,47	10,68	143,63
4 ^a	1,77	42,56	8,83	146,36
5 ^a	2,33	40,85	8,76	141,30
6 ^a	2,88	55,21	11,94	161,76
7 ^a	3,66	59,22	14,38	182,74

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	<i>Tratado</i>		
		TCO (mg/L.h)	TCOe (mg/g.h)	IVL (mL/g)
1 ^a	1,44	51,13	10,91	179,21
2 ^a	1,55	37,44	7,68	178,76
3 ^a	1,66	29,46	5,58	152,67
4 ^a	1,77	53,98	11,44	141,00
5 ^a	2,33	46,07	9,97	151,07
6 ^a	2,88	49,34	10,07	176,30
7 ^a	3,66	52,70	11,07	165,91

II. Valores de IBL

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	IBL	
		Controle	Tratado
1 ^a	1,44	8	8
2 ^a	1,55	6	8
3 ^a	1,66	5	7
4 ^a	1,77	5	4
5 ^a	2,33	5	7
6 ^a	2,88	4	7
7 ^a	3,66	6	7

III. Temperatura

Semanas	[H ₂ O ₂] (mg/L)	Temperatura (°C)	
		Controle	Tratado
1 ^a	1,44	28,7	28,2
2 ^a	1,55	25,7	25,4
3 ^a	1,66	27,5	27,7
4 ^a	1,77	27,6	27,4
5 ^a	2,33	27,4	27,1
6 ^a	2,88	29,8	30,1
7 ^a	3,66	29,3	29,7

IV. Tamanho dos Flocos e Filamentos

Semana	[H ₂ O ₂] (mg/L)	Tamanho de flocos e filamento (µm)	
		Controle	Tratado
1 ^a	1,44	1023,34	826,04
2 ^a	1,55	944,38	547,77
3 ^a	1,66	1020,27	803,03
4 ^a	1,77	841,99	742,75
5 ^a	2,33	807,01	550,93
6 ^a	2,88	994,75	411,00
7 ^a	3,66	962,14	545,20