

ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS COM
REATOR DE LEITO MÓVEL (MBBR)

Bibiana Karina Hernández Izquierdo

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DA COORDENAÇÃO DOS
PROGRAMAS DE PÓS-GRADUAÇÃO DE ENGENHARIA DA UNIVERSIDADE
FEDERAL DO RIO DE JANEIRO COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS
PARA A OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS EM ENGENHARIA
CIVIL.

Aprovada por:

Prof. José Paulo Soares de Azevedo, Ph.D.

Prof. Eduardo Pacheco Jordão, Dr.Eng

Prof. Isaac Volschan Junior, D.Sc.

Prof. Geraldo Lippel Sant'Anna Junior, Dr.Eng.

Prof. Pedro Alem Sobrinho, D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ - BRASIL
DEZEMBRO DE 2006

IZQUIERDO, BIBIANA KARINA HERNÁNDEZ

Estudo do Comportamento de um Sistema de Lodos Ativados com Reator de Leito Móvel [Rio de Janeiro] 2006.

XV, 116 p. 29,7 cm
(COPPE/UFRJ, M.Sc., Engenharia Civil, 2006)

Dissertação - Universidade Federal do Rio de Janeiro, COPPE

1. Reator de Leito Móvel (MBBR)
2. Qualidade da água
3. Lodos Ativados

I. COPPE/UFRJ II. Título (série)

Este trabalho é dedicado aos meus pais, Hugo Alberto Hernández Herdenes e Guadalupe Izquierdo de Hernández, à meu esposo, Fabio Orlando Suárez Castrillón e a meu filho, Gabriel David Suárez Hernández.

Agradecimentos

Muitos foram aqueles que contribuíram de algum modo para a conclusão deste trabalho. No entanto, algumas pessoas tiveram participação mais significativa nesta etapa de minha vida, sendo este o momento oportuno para registrar a minha enorme gratidão a elas.

Meu primeiro agradecimento é dedicado ao Prof. Eduardo Pacheco Jordão, meu orientador, pelos conhecimentos transmitidos e pelo acompanhamento na produção da dissertação. Registro assim minha admiração por seu talento, seu conhecimento e sua inteligência. Agradeço também ao meu orientador Prof. José Paulo Soares de Azevedo por todas as oportunidades oferecidas ao longo deste período de pesquisa.

Gostaria também de agradecer de maneira muito especial o Eng. Ângelo, diretor da empresa Ambio Engenharia, que foi um colaborador sempre presente nesta pesquisa.

À equipe do LEMA (Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ) registro minha gratidão por toda a dedicação e empenho durante o desenvolvimento do trabalho experimental.

Ao Laboratório da FIOCRUZ, em especial ao Wagner, ao Dr. Ernesto Hofer e à Dr^a Ana Lucía Lauria, agradeço pelo comprometimento durante o desenvolvimento do estudo bacteriológico. Destaco também a Eng^a Simone Vendramel (Laboratório de Poluição das Águas – PEQ/COPPE), pessoa que me orientou durante o estudo de protozoários. Ao PROSAB e ao CT-Hidro que colaboraram diretamente para a realização da Estação de Tratamento (CETE/EFJRJ) e as análises nesta pesquisa.

Meu reconhecimento aos operadores do Centro Experimental, Paulo Cesar e Marcelo, que com tanta responsabilidade e dedicação me ajudaram a encarar todos os problemas apresentados nesta pesquisa. Esses, além de colegas de trabalho, se tornaram amigos.

Agradeço aos colegas e funcionários do LHC e DRHIMA e, em especial, a Iene por sua colaboração direta neste trabalho e por sua amizade. Deixo por fim minha sincera gratidão a todas as pessoas que convivi durante o mestrado, por colaborarem tão ricamente para minha aprendizagem aqui no Brasil.

Resumo da Dissertação apresentada à COPPE/UFRJ como parte dos requisitos necessários para a obtenção do grau de Mestre em Ciências (M.Sc.)

“ESTUDO DO COMPORTAMENTO DE UM SISTEMA DE LODOS ATIVADOS COM REATOR DE LEITO MÓVEL (MBBR)”

Bibiana Karina Hernández Izquierdo

Dezembro/2006

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo

Eduardo Pacheco Jordão

Programa: Engenharia Civil

O presente documento busca comparar a performance de um tratamento de Lodos Ativados convencional, operando sob condições típicas, com um Sistema de Lodos utilizando Leito Móvel, incrementando sua vazão 2.5 vezes a mais da utilizada no tratamento de Lodos Ativados convencional, no qual se obteve eficiência de remoção para DQO entre 88–93%, para DBO entre 88-94% e para SST entre 88-98%. O meio suporte usado nesta pesquisa é de forma cilíndrica, lisa na superfície e com divisões em sua parte interna. Suas dimensões são 23 mm de diâmetro e 25 mm de altura. A massa específica de cada meio suporte encontra-se entre 0,99 e 1,00 g/cm³, sua área é de 0,0222 m² e área superficial ou de contacto equivalente a 443,50 m²/m³. O sistema foi instalado na unidade de lodos ativados do CETE/UFRJ, com vazão variável de 0,39 a 0,95 L/s, tendo operado por 13 meses. Com o uso desta tecnologia (MBBR) foi possível manter a mesma eficiência com aumento das vazões e com relações A/M crescentes desde 0,20 a 1,00 d⁻¹. Pode-se concluir nesta pesquisa que mesmo com o crescimento da relação A/M aproximadamente de 5 vezes, e da vazão de 2,5 vezes, manteve-se a mesma eficiência, o que significa grande economia no dimensionamento do tanque de aeração.

Abstract of Dissertation presented to COPPE/UFRJ as a partial fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science (M.Sc.)

“Study of the performance of the activated sludge system with a moving bed biofilm reactor (MBBR).”

Bibiana Karina Hernández Izquierdo

Dezember/2006

Advisors: José Paulo Soares de Azevedo

Eduardo Pacheco Jordão

Department: Civil Engineering

The present dissertation seeks to compare the performance of a standard Activated Sludge treatment, operating under typical conditions, with that of a Sludge System using Moving Bed, increasing the original flow rate up to 2.5 times that employed in the standard activated sludge treatment. The resulting removal efficiencies for COD ranged from 88 to 93%, that of BOD removal from 88 to 94%, and that of TSS from 88 to 98%. The engineered plastic media (carriers) adopted in this research are cylindrical, have smooth surfaces and are baffled inside. They are 23 mm long and 25 mm high. The density of each carrier lies between 0.99 and 1.00 g/cm³, its area is 0.0222 m² and its surface area or equivalent contact area is 443.50 m²/m³. The system was set up in the activated sludge unity of CETE/UFRJ, with variable flow rate ranging from 0.39 to 0.95 L/s, and was in operation over 13 months. By using this technology (MBBR), it was possible to keep the same efficiency with increasing flow rates and increasing food-microorganism rates ranging from 0.20 to 1.00 day⁻¹. It can be concluded, from the experimental results, that despite the approximately 5 times increase in the food-microorganism rate and the 2.5 increase in the flow rate, the same efficiency was kept, which means a substantial saving in the dimensioning of the aeration tank.

ÍNDICE

1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	02
2.1. Objetivo Geral	02
2.2. Objetivos Específicos	02
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	03
3.1. Legislação Ambiental	03
3.2. Legislações Ambientais Estaduais	04
3.3. Reator de Leito Móvel	06
3.3.1. Breve histórico da tecnologia MBBR	06
3.3.2. Princípios de funcionamento da tecnologia MBBR	07
3.3.3. Parâmetros clássicos operacionais	10
3.3.3.1. Tempo de detenção hidráulica	10
3.3.3.2. Sólidos em suspensão no tanque de aeração	11
3.3.3.3. Matéria Orgânica	14
3.3.3.4. Carga Orgânica	15
3.4. Desempenho do Processo MBBR	15
4. METODOLOGIA	18
4.1. Descrição da unidade experimental	18
4.2. Caracterização da unidade experimental	19
4.2.1. Tratamento preliminar	19
4.2.2. Reator ou tanque de aeração	21
4.2.3. Decantadores secundários	21
4.2.4. Sistema de recirculação	23
4.3. Condições operacionais	25
4.3.1. Fase preliminar	25
4.3.2. Fase Experimental	25
4.3.2.1. Fase A	26
4.3.2.2. Fase B	26
4.4. Caracterização do meio suporte móvel (MBBR)	28
4.5. Monitoramento da unidade	32
4.5.1. Período de monitoramento	32
4.5.2. Sistema de amostragem	32
4.5.3. Parâmetros Físico-Químicos	33
4.5.4. Cálculo do Índice Volumétrico do Lodo (IVL)	33
4.5.5. Cálculo de sólidos em suspensão no descarte do lodo em excesso	33
4.5.6. Caracterização da Vazão de Recirculação	34
4.5.7. Parâmetros microbiológicos	34
4.5.8. Análises Estatísticas	38
4.6. Padrões de Lançamento de Efluentes	39

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	40
5.1. Estatística descritiva	47
5.1.1. Apresentação dos resultados	47
5.1.2. Discussão dos resultados	70
5.2. Sólidos em Suspensão Totais e Voláteis no Tanque de Aeração	71
5.2.1. Apresentação dos resultados	71
5.2.2. Discussão dos resultados	73
5.3. Determinação de parâmetros no tanque de aeração (A/M, Td, IVL, IL e OD)	74
5.3.1. Apresentação dos resultados	74
5.3.2. Discussão dos resultados	77
5.4. Análise microbiológica	78
5.4.1. Apresentação dos resultados	78
5.4.1.1. Protozoários e rotíferos	78
5.4.1.2. Bactérias	81
5.4.2. Discussão dos resultados	82
5.4.2.1. Protozoários e rotíferos	82
5.4.2.2. Bactérias	82
5.4.2.3. Organismos filamentosos	82
5.5. Análise de nutrientes	82
5.6. Caracterização do lodo de descarte	82
5.6.1. Apresentação dos resultados	82
5.6.2. Discussão dos resultados	83
5.7. Recirculação de Lodo	83
5.7.1. Apresentação dos resultados	83
5.7.2. Discussão dos resultados	83
5.8. Relação ao atendimento aos padrões de lançamento do efluente	84
5.8.1. Apresentação dos resultados	84
5.8.2. Discussão dos resultados	85
6. CONCLUSÕES	86
7. RECOMENDAÇÕES	88
8. REFÊRENCIAS BIBLIOGRÁFICAS	89
ANEXO A	94
ANEXO B	103

LISTA DE ABREVIATURAS

A/M	Relação Alimento – Microrganismo
CETE-Poli/UFRJ	Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da Escola Politécnica da UFRJ
COT	Carbono Orgânico Total (mg/l)
DBO	Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/l)
DQO	Demanda Química de Oxigênio (mg/l)
DQO a	Demanda Química de Oxigênio do afluente (mg/l)
DBO e	Demanda Bioquímica de Oxigênio de efluente (mg/l)
DBO sol	Demanda Bioquímica de Oxigênio Solúvel (mg/l)
DP	Desvio Padrão
Ho	Hipóteses Nula
H1	Hipóteses Alternativa
IL	Idade do Lodo (dia)
IVL	Índice Volumétrico do Lodo
MBBR	Reator de Leito Móvel (Moving Bed Biofilm Reactor)
OD	Oxigênio Dissolvido (mg/l)
Q	Vazão (m^3/s ou L/d)
Qa	Vazão do afluente (m^3/s ou L/d)
Q''	Vazão de descarte (m^3/s ou L/d)
SD₃₀	Volume do lodo (ml) que se sedimenta num cone graduado de 1 L, após media hora em repouso
So	Concentração de DBO ₅ afluente (mg/l)
SS	Concentração dos Sólidos em Suspensão (mg/l)
SST	Concentração dos Sólidos em Suspensão Totais (mg/l)
SSTA	Concentração dos Sólidos em Suspensão Totais no Tanque de Aeração(mg/l)

SSTa	Concentração dos Sólidos em Suspensão Totais do afluente (mg/l)
SSTe	Concentração dos Sólidos em Suspensão Totais do efluente (mg/l)
SSV	Concentração dos Sólidos em Suspensão Voláteis (mg/l)
TA	Tanque de Aeração
TAmb	Temperatura Ambiente
TAS	Taxa de Aplicação Superficial
Td	Tempo de Detenção Hidráulica (s)
TL	Teor de Sólidos (mg/l)
V	Volume (m ³)
Xav	Concentração de Sólidos em Suspensão Voláteis no Tanque de Aeração (mg/l)
Xuv	Concentração de Sólidos em Suspensão Voláteis no Descarte (mg/l)

LISTA DE TABELAS

- Tabela 3.1** Vantagens e desvantagens do processo de Lodos Ativados.
- Tabela 3.2** Condições de sedimentação de lodo segundo valores de IVL.
- Tabela 3.3** Eficiência de remoção mínima ou concentração máxima de matéria orgânica exigida.
- Tabela 3.4** Concentrações máximas permitidas para DQO, DBO e SST para diferentes estados Brasileiros.
- Tabela 4.1** Resumo das características das unidades do CETE Poli/UFRJ.
- Tabela 4.2** Características das Fases A e B
- Tabela 4.3** Nomenclatura das fases com relação as diferentes vazões.
- Tabela 4.4** Pontos de coleta.
- Tabela 4.5** Parâmetros analisados nos diferentes pontos de coleta.
- Tabela 5.1** Resultados Médios de concentrações (DQO, DBO e SST) da Fase Preliminar.
- Tabela 5.2** Resultados Médios de concentrações (DQO, DBO e SST) da Fase A
- Tabela 5.3** Resultados Médios de concentrações (DQO, DBO e SST) da Fase B
- Tabela 5.4** Valores médios, máximos e mínimos de resultados complementares dentro do Tanque de Aeração.
- Tabela 5.5** Estatísticas descritivas das concentrações afluentes de DQO
- Tabela 5.6** Estatísticas descritivas das concentrações efluentes de DQO
- Tabela 5.7** Estatísticas descritivas das eficiências de DQO
- Tabela 5.8** Estatísticas descritivas das concentrações afluentes de DBO
- Tabela 5.9** Estatísticas descritivas das concentrações efluentes de DBO
- Tabela 5.10** Estatísticas descritivas das eficiências de DBO
- Tabela 5.11** Estatísticas descritivas das concentrações afluentes de DBO solúvel Fase II
- Tabela 5.12** Estatísticas descritivas das concentrações afluentes de SST
- Tabela 5.13** Estatísticas descritivas das concentrações efluentes de SST

- Tabela 5.14** Estatísticas descritivas das eficiências de SST
- Tabela 5.15** Resumo das concentrações de DQO e DBO afluentes e efluentes com MBBR (mg/l)
- Tabela 5.16** Cálculo da média do coeficiente X para cada vazão da Fase B
- Tabela 5.17a** Resultados Médios de SS no tanque de aeração na Fase A
- Tabela 5.17b** Resultados Médios de SS no tanque de aeração na Fase B
- Tabela 5.18** Cálculo da massa de SSTA
- Tabela 5.19** Valores médios de A/M, A/M equivalente e IVL na Fase A e B
- Tabela 5.20** Resultados estatísticos do parâmetro A/M e A/M equivalente
- Tabela 5.21** Resultados Td
- Tabela 5.22** Resumo valores médios de OD
- Tabela 5.23** Resumo da classe predominante de protozoários e rotífero
- Tabela 5.24** Resumo Bactérias detectadas nas análises microbiológicas
- Tabela 5.25** Análises típicas do lodo descartado
- Tabela 5.26** Médias das concentrações (DQO, DBO e SST) e carga orgânica em cada nas Fases A e B
- Tabela 5.27** Desempenho das unidades segundo diferentes vazões comparadas às legislações estaduais.

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1** Diferentes modelos de meios suportes para uso da tecnologia MBBR
- Figura 4.1** Fluxograma da CETE Poli/UFRJ.
- Figura 4.2** Fluxograma do processo de Lodos Ativados da CETE Poli/UFRJ.
- Figura 4.3a** Entrada de esgoto e grade
- Figura 4.3b** Caixa de areia ou desarenador
- Figura 4.4a** Tanque de aeração
- Figura 4.4b** Entrada do esgoto afluyente e recirculação no tanque de aeração
- Figura 4.5a** Decantador vazio
- Figura 4.5b** Vista geral dos decantadores secundários
- Figura 4.6** Defletor concêntrico ou baffle
- Figura 4.7a** Saída do efluente do decantador
- Figura 4.7b** Medidor Parshall no decantador secundário
- Figura 4.8a** Vista geral do sistema de recirculação
- Figura 4.8b** Saída da tubulação dos decantadores secundários
- Figura 4.8c** Chegada da tubulação a calha de concreto
- Figura 4.8d** Entrada do lodo a calha de concreto
- Figura 4.8e** Passagem do lodo pela calha parshall
- Figura 4.9a** Meio suporte
- Figura 4.9b** Tanque de 1 m³ preenchido com meio suporte
- Figura 4.10a** Pesagem do meio suporte com biofilme aderido
- Figura 4.10b** Meio Suporte na cápsula de porcelana
- Figura 4.10c** Meio suporte dentro da estufa
- Figura 4.10d** Meio suporte com biofilme seco
- Figura 4.10e** Pesagem do meio suporte com biofilme aderido
- Figura 4.10f** Pesagem do meio suporte sem biofilme
- Figura 4.11a** Placa de Petri com amostra

- Figura 4.11b** Microscópio Hund Wetzlar
- Figura 4.11c** Lentes de aumento
- Figura 4.12a** Câmara de proteção biológica (Veco/Bio-protector 09)
- Figura 4.12b** Placas de petri se semeadura
- Figura 4.12c** Placas de petri com crescimento de bactérias
- Figura 4.12d** Centrífuga (Eppendorf/Centrifuge 5810R)
- Figura 5.1** Series Temporais - concentração afluyente-efluente DQO
- Figura 5.2** Series Temporais - concentração efluente DQO
- Figura 5.3** Series Temporais - concentração afluyente-efluente DBO
- Figura 5.4** Series Temporais - concentração efluente DBO
- Figura 5.5** Series Temporais - concentração efluente DBO solúvel
- Figura 5.6** Series Temporais - concentração afluyente-efluente SST
- Figura 5.7** Series Temporais - concentração efluente SST
- Figura 5.8** Series Temporais das eficiências DQO
- Figura 5.9** Series Temporais das eficiências DBO
- Figura 5.10** Series Temporais das eficiências SST
- Figura 5.11** Gráfico *Box-Whiskers* da DQO afluyente
- Figura 5.12** Gráfico *Box-Whiskers* da DQO efluente
- Figura 5.13** Gráfico *Box-Whiskers* das eficiências de DQO
- Figura 5.14** Gráfico *Box-Whiskers* da DBO afluyente
- Figura 5.15** Gráfico *Box-Whiskers* da DBO efluente
- Figura 5.16** Gráfico *Box-Whiskers* das eficiências de DBO
- Figura 5.17** Gráfico *Box-Whiskers* da DBO solúvel Fase B efluente
- Figura 5.18** Gráfico *Box-Whiskers* da SST afluyente
- Figura 5.19** Gráfico *Box-Whiskers* da SST efluente
- Figura 5.20** Gráfico *Box-Whiskers* das eficiências de SST
- Figura 5.21** Porcentagem de remoção média, 75% e 90% em relação as fases para DQO

- Figura 5.22** Porcentagem de remoção média, 75% e 90% em relação às fases para DBO
- Figura 5.23** Porcentagem de remoção média, 75% e 90% em relação às fases para SST
- Figura 5.24** Serie Temporal do coeficiente X na Fase B
- Figura 5.25** Concentração afluente, mg DBO/l Vs Taxa de Aplicação Orgânica utilizando o MBBR, g DBO_a/m²d
- Figura 5.26** Remoção de DQO (%) Vs Taxa de Aplicação Orgânica com MBBR, g DBO_a/m²d
- Figura 5.27** Concentração efluente, mg DBO/l Vs Taxa de Aplicação Orgânica com MBBR, g DBO_a/m²d
- Figura 5.28** Remoção de DBO (%) Vs Taxa de Aplicação Orgânica com MBBR, g DBO_a/m²d
- Figura 5.29** A/M Vs Taxa de Aplicação Orgânica com MBBR, g DQO_a/m²d
- Figura 5.30** A/M Vs Taxa de Aplicação Orgânica com MBBR, g DBO_a/m²d
- Figura 5.31** A/M Vs Remoção de DQO
- Figura 5.32** A/M Vs Remoção de DBO
- Figura 5.33** Comparação entre SST e SST equivalentes no Tanque de Aeração com MBBR
- Figura 5.34** Comparação entre SSV e SSV equivalentes no Tanque de Aeração com MBBR
- Figura 5.35** Séries Temporais de IVL nas fases
- Figura 5.36** Séries Temporais de A/M (Fase A e B) e A/M equivalente (Fase B)
- Figura 5.37** Gráfico *Box-Whiskers* de A/M para as Fases
- Figura 5.38** Metazoário: Classe Rotífera
- Figura 5.39** Protozoário: Classe Ciliado Penduculado (*Epistylis*)
- Figura 5.40** Protozoário Ameba
- Figura 5.41** Protozoário: Ciliados livres Natantes
- Figura 5.42** Protozoário: Classe Mastigophora
- Figura 5.43** Metazoário: Classe Nematoda

1. INTRODUÇÃO

Ao fim do século XIX e início do século XX, o estudo do tratamento biológico de esgotos estava apenas iniciando, dando-se maior ênfase aos processos de filtração biológica. Então, entre 1913 e 1914, surgiu um novo processo de tratamento biológico que utilizava biomassa suspensa, chamado Lodos Ativados. Tal tecnologia era capaz de produzir efluentes claros, límpidos, sem odor e de alta qualidade.

Esse processo, atualmente adotado em praticamente todo o mundo, evoluiu e estimulou novas pesquisas que buscavam otimizá-lo com vistas a aumentar sua capacidade de tratamento e mantendo as eficiências de remoção de matéria orgânica e nutrientes, sem necessidade de se realizarem obras civis nas estações já implantadas. Surgiu, então, na Noruega, a tecnologia denominada *Moving Bed Biofilm Reactor*, mais conhecida como MBBR ou Reator de Leito Móvel, empregada há mais de dez anos nos países europeus.

Apesar de pesquisas comprovarem o excelente desempenho do MBBR na remoção de matéria orgânica, observa-se que a aplicação do processo ainda é incipiente no Brasil.

O presente trabalho tem como principal objetivo estudar o desempenho dessa tecnologia, utilizando meios suporte de maiores dimensões que àquelas conhecidas no comércio internacional, sob condições climáticas típicas e elevada vazão de esgoto aplicada a uma unidade de lodos ativados existente. A pesquisa desenvolveu-se segundo duas diferentes fases: (i) caracterização do processo de Lodos Ativados de Aeração Prolongada em funcionamento no Centro Experimental de Tratamento de Esgoto CETE-Poli/UFRJ (Fase I); (ii) implementação da tecnologia MBBR, com a inserção de 10% e 20% de recheio no tanque de aeração do processo de Lodos Ativados existente e aumento de vazão em até 2,5 vezes àquela aplicada na Fase A (Fase B).

No presente trabalho as denominações de Reator de Leito Móvel ou MBBR serão utilizadas como sinônimos para referência da tecnologia. A utilização dessa última é mais comum, sendo essa sigla reconhecida por estudiosos do mundo inteiro.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Avaliar o desempenho de uma unidade de tratamento de Lodos Ativados utilizando a tecnologia MBBR quando comparada ao processo de Lodos Ativados de Aeração Contínua.

2.2. Objetivos Específicos

- ◆ Avaliar o comportamento de um Sistema de Lodos Ativados de Aeração Contínua sob uma determinada relação de A/M.
- Nas mesmas condições anteriores, avaliar o comportamento do Sistema de Lodos Ativados após preenchimento parcial com meio suporte, transformando-o em Sistema de Leito Móvel (MBBR).
- Avaliar o comportamento do Sistema MBBR quando são aplicadas diferentes vazões, cargas no reator biológico, crescentes taxas de escoamento superficial no decantador e diferentes relações A/M.
- Para as condições anteriores, verificar o crescimento microbiológico, através de observações preliminares dos principais microrganismos presentes e eventual intumescimento do lodo (*bulking*).
- Verificar a formação do biofilme no meio suporte e sua influência no processo de tratamento.
- Comparar os resultados obtidos com os principais parâmetros legais de lançamento nos estados de Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 Legislação Ambiental

Por causa da escassez de água a lei federal nº 6938/81 define a POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE, que discorre sobre o uso racional dos recursos ambientais.

A POLÍTICA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE está constituída da seguinte maneira:

SISNAMA (SISTEMA NACIONAL DO MEIO AMBIENTE): encarregado de coordenar, por meio do Sistema Nacional de Informações sobre o Meio Ambiente (SISNAMA), o intercâmbio de informações entre os órgãos a ele integrados, permitindo a obtenção de subsídios necessários à tomada de decisões na área.

CONAMA (Conselho Nacional do Meio Ambiente): órgão consultivo e deliberativo do SISNAMA.

SEMA (Secretaria do Meio Ambiente): órgão de poder executivo que tem como finalidade planejar, coordenar, supervisionar e executar ações governamentais relacionadas aos recursos do meio ambiente, visando o fortalecimento da economia do Estado e a melhoria da qualidade de vida de sua população.

IBAMA (Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis): órgão executor das leis ambientais no Brasil.

A fiscalização e o controle dos critérios, normas e padrões de qualidade ambiental cabem aos estados e municípios, através dos órgãos estaduais ou municipais, encarregados de aplicar as normas tanto federais como estaduais e municipais; tal é o caso da FEEMA (Fundação Estadual de Engenharia do Meio Ambiente no Rio de Janeiro), da FEAM (Fundação Estadual do Meio Ambiente em Minas Gerais) e outros organismos.

Os critérios e padrões de qualidade da água são desenvolvidos em função do uso das águas. No Brasil, a resolução CONAMA nº 357 de 17/03/05 dispõe sobre a classificação dos corpos d'água e fornece diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e os padrões de lançamento de efluentes aos corpos receptores.

3.2 Legislações Ambientais Estaduais

As legislações ambientais de cada estado permitem estabelecer, em complementação à legislação federal, limites aos parâmetros principais que controlam os lançamentos de efluentes nos diversos corpos d'água. Entre os principais parâmetros considerados, tem-se: DBO, DQO e SST.

Na presente dissertação, além da legislação do estado do Rio de Janeiro (onde foi desenvolvido o trabalho) serão mencionadas outras legislações, como as de Minas Gerais e São Paulo, estados vizinhos ao Rio de Janeiro e de grande importância na área ambiental.

No estado do Rio de Janeiro encontra-se em vigor a Diretriz DZ-215R-3, que controla as cargas orgânicas biodegradáveis em efluentes líquidos de origem não industrial; essa diretriz estabelece exigências de controle de poluição das águas enfocadas para os níveis mínimos de remoção de carga orgânica, baseados em níveis de tecnologia existentes, independente da capacidade assimilativa dos corpos receptores. Além dessas, prevê exigências adicionais sempre que for necessária a compatibilização dos lançamentos com os critérios e padrões de qualidade de água, estabelecidos para o corpo receptor, segundo seus usos benéficos e classes que agrupam determinados usos preponderantes (CONAMA nº 357).

A DZ-215R-3 estabelece uma relação para eficiência de remoção mínima ou concentração máxima permitida de DBO e SST (RNFT) com a carga orgânica bruta, como parâmetro de lançamento, conforme tabela abaixo.

Tabela 3.1 Eficiência de remoção mínima ou concentração máxima de matéria orgânica exigida

Carga Orgânica Bruta (C) (Kg DBO/dia)	Eficiência Mínima de Remoção (%)	Concentrações Máximas Permitidas (mg/l)	
		DBO	RNFT
$C \leq 5$	30	180	180
$5 < C \leq 25$	60	100	100
$25 < C \leq 80$	80	60	60
$C > 80$	85	40	40

Fonte: DZ-215.R-3 – FEEMA/RJ

O estado de Minas Gerais encontra-se amparado pela Deliberação Normativa COPAM nº 10, de 16 de dezembro de 1986, cujo órgão estadual de gestão do meio ambiente -

FEAM, estabelece normas e padrões para qualidade das águas e lançamento de efluentes nos corpos receptores.

Para os parâmetros de maior importância (DBO, DQO, SST) no presente estudo, a COPAM N° 10 define como valores máximos:

DBO	60 mg/l (Com tolerância de 80%)
DQO	90 mg/l
SST	100 mg/l (diária) ou 60 mg/l (média aritmética mensal)

No estado de São Paulo, encontra-se em vigor o Decreto n° 8468 que aprova o regulamento da Lei n° 997, de 31 de maio de 1976, supervisionado pela Companhia Estadual de Tecnologia de Saneamento Básico e de Defesa do Meio Ambiente – CETESB. Essa lei dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente.

O Decreto N° 8468 prevê concentração máxima permitida para lançamento de efluentes em corpos d'água receptores, somente de DBO, cuja concentração pode ser, no máximo, de 60mg/l, podendo esse valor ser ultrapassado somente no caso de efluentes de sistema de tratamento de águas residuárias que reduzam a DBO em no mínimo 80%.

Apresenta-se um quadro resumo das concentrações máximas permitidas para diferentes parâmetros, para os estados citados.

Tabela 3.2 – Concentrações máximas permitidas para DQO, DBO e SST, para diferentes estados brasileiros

Estado	Legislação	Concentrações Máximas Permitidas		
		DQO (mg/l)	DBO (mg/l)	SST (mg/l)
RJ	DZ-215	-	40 – 180 (a)	40 – 180 (a)
MG	COPAM n° 10	90 (b)	60 (c)	60/100 (d)
SP	Decreto 8468	-	60 (e)	-

(a) Valor variável de acordo com a carga orgânica afluyente ao sistema de tratamento

(b) Concentração máxima permitida ou eficiência mínima de 90%

(c) Concentração máxima permitida ou eficiência mínima de 85%

(d) 60 mg/l de concentração média aritmética mensal ou 100 mg/l de concentração máxima diária

(e) Concentração máxima permitida ou eficiência mínima de 80%

Existem restrições para casos especiais em alguns estados mencionados, a saber:

- No Rio de Janeiro para cargas poluidoras de 80 kg DBO/d e uma população em torno de 1500 habitantes, a concentração máxima permitida de DBO é de 40 mg/l.
- O estado de Minas Gerais prevê um limite para DQO fixado em 90 mg/l e, de acordo com a Deliberação Normativa COPAM nº32, de 18 de dezembro de 1998, Artigo 15, alínea “h”, esse limite para DQO só poderá ser ultrapassado no caso do sistema de tratamento de águas residuárias reduzir a carga poluidora de efluente em, no mínimo, 90%.

Vale mencionar que o Rio de Janeiro é o único estado entre os pesquisados que fixa os valores de acordo com a carga orgânica bruta, fornecendo dessa forma maior flexibilidade às empresas envolvidas no tratamento de águas residuais.

3.3 Reator de Leito Móvel (*Moving Bed Biofilm Reactor* - MBBR)

3.3.1 Breve Histórico da tecnologia MBBR

Em 1988 as autoridades de Controle de Poluição da Noruega recomendaram o desenvolvimento de um projeto de estações pequenas de tratamento de esgoto com grande capacidade de tratamento, baseando-se em processos biológicos e químicos. Esse interesse visava aproveitar a maioria das estações existentes (aproximadamente 70% do total existente), já que elas eram de pequeno porte (leia-se estações que tratavam o esgoto para uma população de 50 a 2000 pessoas).

Tomando o mencionado anteriormente como referência começa-se a trabalhar com diferentes cenários de biofilmes aderidos a um meio suporte no interior do reator. Esses tratamentos eram combinados com pré-tratamentos de grandes tanques sépticos e pós-tratamento com uso de reagentes químicos que faziam o papel de coagulantes. Então, uma companhia da Noruega (*Kaldnes Miljøteknologi*) desenvolveu uma tecnologia chamada Reator de Leito Móvel, também conhecida como MBBR (*Moving Bed Biofilm Reactor*). Esse trabalho contou com a ajuda da Fundação de Pesquisa Científica e Industrial para Ciência e Tecnologia, da Universidade da Noruega (SINTEF) (RUSTEN *et al*, 1998); a qual leva em conta a recomendação feita pela autoridade do estado. Sua experiência foi realizada em 1992, durante o outono, em duas estações existentes (ODEGAARD *et al*, 1993). Os resultados desse trabalho demonstraram bom desempenho do MBBR, devido principalmente à otimização da capacidade do reator, aproveitando-se o volume já construído da unidade. Em relação

aos nutrientes (N e P) requeria-se maior quantidade de recheio como meio suporte no reator ou a execução de outros processos para facilitar a remoção de nutrientes, como, por exemplo, a floculação. (OBEGAARD *et al*, 1993; ODEGAARD, 2006).

3.3.2 Princípio de Funcionamento da Tecnologia MBBR

A Tecnologia MBBR pode ser caracterizada como uma variante do processo de Lodos Ativados. Trata-se, portanto, de um processo biológico de tratamento de esgoto, aplicável para despejos domésticos e industriais. As unidades que fazem parte desse processo são:

- Tanque de aeração ou reator
- Tanque de decantação ou decantador
- Sistema de recirculação e de descarte do lodo

O Processo de Lodos Ativados consiste em, primeiramente, fazer passar o esgoto afluente por um tratamento primário (gradeamento, caixa de areia e decantação primária) e, depois, submetê-lo à aeração com lodo ativado produzido em um reator biológico. Aí ocorrerão as reações bioquímicas de degradação da matéria orgânica carbonácea e, em algumas condições, da parcela nitrogenada. O tempo de retenção do reator deve permitir uma relação adequada entre carga orgânica e microorganismos no tanque de aeração (relação A/M) e uma idade de lodo - tempo de retenção celular - apropriada. Esse efluente é, então, encaminhado para o decantador secundário onde, através de sedimentação, serão depositados no fundo os flocos ou sólidos que terão se desenvolvido e floculado no reator.

A maior parte desses sólidos será recirculada para o reator, aumentando a biomassa no mesmo; esse processo é o responsável pela eficiência do sistema. A outra parte de sólidos sedimentados, denominada lodo em excesso, será retirada do processo. O esgoto que verte na superfície do decantador pela canaleta é o efluente já tratado.

Segundo JORDÃO & PESSOA (2005) o Lodo Ativado é o floco produzido no tratamento do esgoto bruto ou decantado, devido o crescimento de bactérias zooglêias ou outros organismos e a presença de oxigênio dissolvido, e acumulado em concentração suficiente graças ao retorno de outros flocos previamente formados.

Vale ressaltar que esse processo apresenta algumas vantagens e desvantagens em relação a outros processos; dentre as principais, descritas por JORDÃO & PESSOA (2005), estão:

Tabela 3.3 Vantagens e desvantagens do processo de Lodos Ativados

VANTAGENS	DESvantagens
Maior eficiência no tratamento	Operação mais delicada
Maior flexibilidade na operação	Necessidade de completo controle de laboratório
Menor área ocupada em relação à filtração biológica e lagoas	Custo maior de operação em relação ao filtro biológico

O funcionamento da Tecnologia MBBR consiste em introduzir, no tanque de aeração de um processo de Lodos Ativados, peças plásticas cilíndricas (meios de suporte), que ficarão flutuando e movimentando-se dentro dele. Às peças plásticas ficará aderida uma biomassa, ou biofilme, que permitirá o aumento da massa e da concentração de sólidos no tanque de aeração, sendo possível obter-se uma concentração de sólidos disponíveis no tanque de aeração superior à que se mantém apenas em suspensão, permitindo melhor eficiência do processo e utilizando um mesmo volume de reator.

O material utilizado para sua fabricação é polietileno, cuja densidade varia de acordo com o fabricante. Segundo PASTORELLI *et al.* (1997) a densidade deve ser menor que 1g/cm³. ODEGAARD *et al* (1994) propõe que as dimensões dos cilindros com densidade de 0,95 g/cm³ sejam: diâmetro entre 10 e 20 mm; largura entre 7 e 30 mm. Apresentam-se, na figura 3.1, alguns tipos de meio suporte utilizados, atualmente, no MBBR (ODEGAARD *et al*, 1993; ODEGAARD *et al*, 1994; RUSTEN *et al*, 1998; ANDREOTTOLA *et al*, 2000).

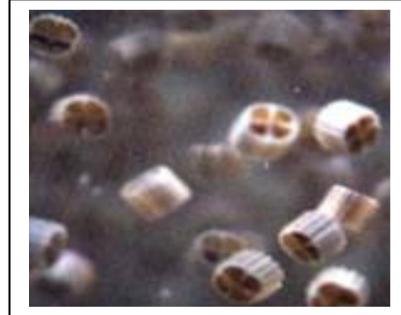
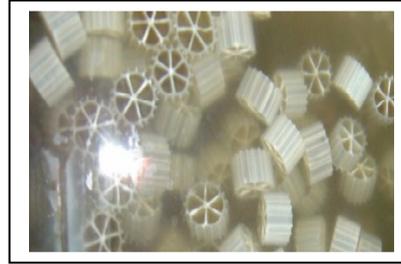


Figura 3.1 Diferentes modelos de meio suporte para uso da tecnologia MBBR

No presente estudo foi usado um meio suporte fabricado pela empresa AMBIO, detalhado no item 4.4 adiante, cujas dimensões são: 23 mm de diâmetro e 25 mm de altura.

O conceito básico para a introdução desses pequenos meios suporte no tanque de aeração é obter maior área de superfície para o crescimento de biofilme ou biomassa nessa unidade. Assim, em volumes menores de reator biológico, aumentar-se-ia a atividade biológica e promover-se-ia alto tempo de retenção celular. Desse modo, facilita-se o aumento da capacidade de remoção de matéria orgânica e nitrogenada.

Para saber a quantidade adequada de meios suporte que se deve introduzir no tanque de aeração, é preciso conhecer a superfície específica potencial de crescimento do biofilme, o que depende do tamanho e do desenho da peça. É usual referir-se à quantidade de peças a adicionar no tanque de aeração como um percentual do seu volume. Segundo estudos feitos por ODEGAARD *et al* (1993); ODEGAARD *et al* (1994); RUSTEN *et al* (1998); ANDREOTTOLA *et al* (2000), o máximo que deve ser adicionado em um tanque de aeração é 70% do seu volume. ODEGAARD *et al* (1994) introduziu em seus estudos 70% de meios suporte no tanque de aeração, sendo a área específica da peça de $500\text{m}^2/\text{m}^3$, portanto, a área máxima efetiva específica de criação de biofilme é de $350\text{m}^2/\text{m}^3$ de tanque.

O percentual adicionado, em termos de volume do tanque de aeração, e a superfície específica de cada peça, indicam a área total disponível para criação do biofilme. Assim, assume grande importância a superfície específica da peça, sendo usual

encontrarem-se valores na faixa de 335 a 350 m²/m³ para 70% do volume (ODEGAARD, 2006).

Dentre as principais vantagens da tecnologia de Leito Móvel (MBBR) tem-se então:

- Permite o uso de sistemas reduzidos e compactos.
- Não se observa colmatção das peças, como pode acontecer nos leitos fixos, evitando saturação do sistema.
- Permite a supressão da etapa de recirculação do lodo.
- Apresenta menor sensibilidade aos picos de carga hidráulica e orgânica.
- Apresenta menor sensibilidade às variações de pH e de temperatura.
- Apresenta menor custo operacional.
- Permite a redução do custo de implantação.
- Apresenta-se como solução para *upgrade* em ETEs existentes.

3.3.3 Parâmetros Clássicos Operacionais

Como a tecnologia MBBR funciona dentro de um processo de Lodos Ativados Convencional ou de Aeração Prolongada, os parâmetros operacionais de controle de qualidade do efluente são os mesmos, alterando-se, no entanto, suas faixas usuais de aplicação. Na continuação são mencionados os principais parâmetros e os aspectos interferentes na tecnologia MBBR.

3.3.3.1 Tempo de Detenção Hidráulica (Td)

O tempo de detenção hidráulica é a relação entre o volume do reator e a vazão do esgoto afluente.

$$T_d = V/Q$$

Onde:

V = volume do reator ou tanque de aeração

Q= vazão afluente

3.3.3.2 Sólidos em Suspensão no Tanque de Aeração (SSTA ou Xa)

O controle dos SSTA é de grande importância já que representa a biomassa no reator e é um parâmetro selecionado no projeto para a operação do sistema.

Segundo a Norma ABNT 570, a concentração de sólidos em suspensão no interior do tanque de aeração deve estar compreendida entre 1500 e 6000 mg/l.

Os principais parâmetros que sofrem variação no processo de Lodos Ativados estão descritos a seguir.

Relação Alimento / Microrganismo (A/M)

Essa relação mede a razão entre o alimento presente no esgoto afluente ao reator e os organismos. É um parâmetro de grande importância no controle operacional do tratamento por lodos ativados, também utilizado no dimensionamento desse processo. A equação para calcular a relação A/M é:

$$A/M = Q.S_o / (V.X_{av})$$

Onde:

Q = vazão do afluente

S_o = Concentração de DBO₅ afluente

V = Volume reator

X_{av} = Concentração dos SSV no reator

O aumento de X_{av} também influencia esse parâmetro, devido ao fato de existir um aumento de biomassa dentro do tanque, gerando, dessa forma, maior capacidade de recebimento de substrato e, conseqüentemente, beneficiando o aumento da quantidade de esgoto a tratar.

Segundo a Norma ABNT-570, a relação A/M deve ser encontrada entre 0,07 e 1,1 Kg DBO₅ / Kg SSVTA.d.

Idade do Lodo ou Tempo de Residência Celular (IL)

Representa o tempo médio que uma partícula em suspensão permanece sob aeração (JORDÃO & PESSOA,2005). Pode ser calculado através da relação entre a massa de sólidos no sistema e a massa de sólidos retirada do sistema, por unidade de tempo.

$$IL = X_{av} \cdot V / (X_{uv} \cdot Q'')$$

Onde:

X_{av} = Concentrações de Sólidos em Suspensão Voláteis no reator.

V = Volume do reator.

Q'' = Vazão de descarte.

X_{uv} = Concentrações de Sólidos em Suspensão Voláteis no descarte.

Tipicamente o processo de Lodos Ativados convencional tem como valores de IL entre 5 e 15 dias. Estudos apresentados com MBBR por RUSTEN *et al* (1998) obtiveram IL até 6,4 dias. Segundo a Norma ABNT 570, a IL deve estar compreendida entre 2 e 40 dias.

Condições Relativas do Lodo

A qualidade do floco formado exerce um papel fundamental no processo de sedimentação e adensamento no decantador secundário, porquanto a sedimentação é uma operação física de separação de partículas sólidas com densidade superior à do líquido circulante. Por tal razão os decantadores secundários são a última unidade do sistema, já que eles são responsáveis por um efluente límpido, com baixa turbidez e menor concentração de sólidos em suspensão e de DBO, e mesmo de nutrientes (SPERLING, 1996).

Para fins de controle operacional, os decantadores e o reator devem ser analisados conjuntamente, visto que as duas unidades são partes integrantes e indissociáveis da etapa biológica de tratamento.

A concentração do teor de sólidos (TL - teor de lodo) no reator pode ser determinada através do cone Imhoff, que define o volume de lodo (em ml) que sedimenta num cone graduado de um litro, após meia hora em repouso (SD_{30}).

Existem alguns índices de lodo usados como ferramenta de controle do processo e sedimentabilidade do lodo, com o objetivo de avaliar o seu comportamento na fase biológica. O índice mais usado é o **Índice Volumétrico do Lodo (IVL)**, que significa o volume, em mililitros, ocupados por um grama de lodo após uma sedimentação de trinta minutos. Pode ser definido como a razão entre SD_{30min} e sua concentração no tanque de aeração.

$$IVL = SD_{30\text{min}} / X_a$$

Onde:

$SD_{30\text{min}}$ = volume de lodo (em ml) que sedimenta num cone graduado de um litro, após meia hora em repouso (mg/l).

X_a = Sólidos em suspensão no reator.

Segundo SPERLING (1994a e 1994b), FRÓES E SPERLING (1995) e FRÓES (1996), os diferentes valores do IVL correspondem a diversas condições de sedimentação de lodo, conforme mostra a tabela 3.4.

Tabela 3.4 Condições de sedimentação de Lodo, segundo valores de IVL

SEDIMENTAÇÃO	IVL (ml/g)
Ótima	0 – 50
Boa	50 – 100
Média	100 – 200
Ruim	200 – 300
Péssima	> 300

Por outro lado, JORDÃO & PESSOA (2005) indicam que os valores do IVL entre 40 e 150 ml/g apresentam, geralmente, lodo de boa qualidade e os valores superiores a 200 ml/g indicam menor qualidade do lodo (sólidos muito leves); por esse motivo, sua sedimentação não é boa.

Com a tecnologia MBBR o IVL sofreria uma considerável diminuição devido à ocorrência de uma maior quantidade de sólidos no tanque, incluindo a massa aderida, obtendo dessa forma um menor valor do IVL. Não obstante, como o IVL é calculado com a relação entre o volume de sólidos que sedimenta no Cone Imhoff ou na proveta graduada, e a concentração de SS nesse mesmo cone ou proveta, a concentração de sólidos a ser tomada no cálculo do IVL é a de Sólidos em Suspensão no tanque de aeração.

3.3.3.3 Matéria Orgânica

A matéria orgânica é a principal causa de poluição das águas, devido ao consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos para realizar, através de processos metabólicos, sua degradação.

Existem dois métodos indiretos para quantificá-la: o primeiro é através da medição de oxigênio usando como parâmetros a Demanda Química de Oxigênio (DQO), a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Oxigênio Dissolvido (OD); o segundo método é através da medição de Carbono Orgânico Total (COT).

Os parâmetros controladores mais utilizados para verificar a eficiência de remoção de matéria orgânica no processo de Lodos Ativados estão descritos a seguir.

Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica. Segundo VON SPERLING (1997), a eficiência de remoção para esse parâmetro na modalidade de Lodos Ativados Convencional pode estar entre 85 e 90% e na modalidade de Aeração Prolongada entre 90 e 95%.

Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)

Esse parâmetro retrata a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar, biologicamente, a matéria carbonácea, a 20°C, após 5 dias. A DBO é usada como parâmetro básico para o dimensionamento de uma estação de tratamento de esgoto. A DBO efluente total do processo de Lodos Ativados é composta pela DBO solúvel e pela DBO particulada ou em suspensão.

Segundo VON SPERLING (1997), a eficiência de remoção para esse parâmetro na modalidade de Lodos Ativados Convencional está entre 85 e 95% e na modalidade de Aeração Prolongada entre 93 e 98%.

Oxigênio Dissolvido (OD)

Tal como no processo de Lodos Ativados Convencional, a aeração cumpre um papel importante na aplicação da tecnologia MBBR; primeiro por manter em movimento o meio suporte adicionado no tanque e, segundo, por proporcionar o oxigênio necessário para manter ativa a biomassa no tanque.

Segundo a Norma ABNT 570, a concentração de Oxigênio Dissolvido no tanque de aeração a ser considerada no dimensionamento do equipamento de aeração deve ser de 1,5 mg/l, nos casos onde a idade do lodo é superior a 18 dias, e 2,0 mg/l quando a idade do lodo for inferior a 18 dias.

3.3.3.4 Carga Orgânica

A Carga Orgânica é a concentração de matéria orgânica (DQO ou DBO) multiplicada pelo volume, por unidade de tempo. Para a tecnologia MBBR, é possível relacionar a carga orgânica à área de superfície de contato do meio de suporte. A unidade de referência será carga orgânica dividida pela área de contato, dada em mg de DQO ou DBO/m².d.

3.4 Desempenho do Processo MBBR

BORGHEI & HOSSEINI (2004) trabalharam com dois MBBR com volume unitário igual a 22 litros, preenchido com meio suporte de densidade e superfície específica igual a 0,96 g/cm³ e 350 m²/m³, respectivamente. Os tempos de detenção utilizados foram: 8, 12, 16, 20, 24 horas. A maior eficiência de remoção de DQO, equivalente a 96%, foi obtida para Td de 8 horas. Para as cargas orgânicas volumétricas (COV) aplicadas de 0,044 kg DQO/m³.d e 0,0088 kg DQO/m³.d a eficiência de remoção da DQO foi de 75% e de 96%, respectivamente. A concentração de OD nesse trabalho manteve-se em torno de 4,5 mg/l.

WANG *et al* (2006) utilizou no seu estudo em escala de laboratório um MBBR de volume efetivo igual a 13 litros, a uma temperatura controlada entre 18 e 20°C. A razão entre o volume do meio suporte e o volume do reator foi de 50%. A densidade desses meios suporte estava compreendida entre 0,95 e 0,99 g/cm³ e sua superfície específica 320 m²/m³. Durante o trabalho, o Td de 6 horas manteve-se constante; já a concentração de OD variou entre 1, 2, 4, 6 mg/l; a DQO entre 145 e 432 mg/l; o pH entre 6,2 e 7,5 e a relação entre DBO/DQO entre 0,31 e 0,52. Observou-se que a eficiência de remoção de DQO aumentou de 71,3 para 77,1% com o aumento da concentração de OD de 2 para 6 mg/l, entretanto, essa eficiência foi de 57,6% quando a concentração de OD usada era de 1 mg/l. A COV variou de 1,17 a 1,29 kg DQO/m³.d, para uma concentração de OD igual a 6 mg/l; para COV igual a 1,29 kg DQO/m³.d apresentou eficiência de remoção de DQO de 77,1%. A razão entre DBO/DQO ficou entre 0,07 e 0,15 para concentração de OD maior que 2 mg/l, ou seja, houve uma maior biodegradabilidade.

LUOSTARINEN *et al* (2006) trabalhou com quatro unidades MBBR, em escala de laboratório, com 2 litros cada. Desses reatores apenas um trabalhou de forma contínua e com a introdução de meio suporte equivalente a 50% do seu volume; o meio suporte apresentava 150 kg/m³ de densidade e 500 m²/m³ de superfície específica. O sistema MBBR era precedido de um processo anaeróbio de tratamento composto por um reator UASB seguido de tanque séptico. A vazão de operação foi de 1l/d com Td de 2,4 ± 0,7 horas; o pH variando entre 5,7 e 7,4; nitrogênio total de 15 ± 2,6 mg/l; DQO de 57 ± 19 mg/l; DQO dissolvida de 34 ± 12 mg/l, mantendo a concentração de OD em torno de 9 mg/l e COV de 0,023 – 0,027 kg DQO/m³.d. Obtém-se assim um afluente final com uma média de eficiência de remoção de DQO de 68 % e DQO dissolvida de 57%. Em relação a DBO₇ e SST, o efluente manteve-se menor que 3 mg/l e em torno de 19 mg/l, respectivamente.

JAHREN *et al* (2002) trabalhou com um MBBR em escala laboratorial, com 8,55 litros, onde foi introduzida uma razão, entre o volume do meio suporte e o volume do reator de 11%, de densidade igual a 0,95 g/cm³, diâmetro 10mm e altura 7mm. A temperatura foi mantida em 55°C, a concentração de OD ficou entre 2 – 3 mg/l. Vale ressaltar que o aparato experimental não continha o decantador secundário. O estudo foi realizado com um efluente de empresa de celulose e papel denominado “Água Branca de Polpa Termoquímica”. O reator foi inoculado com lodo ativado (36 g de SSV) de um planta mesofílica que trata água residuária de uma fábrica de papel. A relação de SSV/SS do inóculo era 0,71. O Td foi diminuído, gradualmente, de 30 h para 14 h, depois de 70 dias de operação. O pH no reator era 8,0 – 8,5. Inicialmente, a COV era de 1,5 – 2 kg DQO/m³.d, com aumento gradual, até atingir um valor máximo de 3,8 kg DQO solúvel/m³.d (após 70 dias de operação). A eficiência de remoção de DQO solúvel foi de 60 – 65% ao longo de todo experimento, atingindo taxas de degradação de 1,5 – 2,4 kg DQO solúvel/m³.d. Aproximadamente 70% do nitrogênio de afluente e 40 – 45% do fósforo saíram com o efluente. A relação de DQO solúvel/DBO solúvel era 2,0 para o afluente e 3,1 para o efluente. A eficiência de remoção de DBO solúvel foi de 74 – 76%.

O concentração de SSV no efluente foi de 220 – 600 mg/L. A quantidade de biomassa fixa nos meios suporte aumentaram gradualmente até que chegou a um estado fixo de 1200 – 1600 mg SSV/l após 78 – 106 dias de operação. Já a quantidade total de biomassa no reator era 1400 – 1900 mg SSV/l, sendo que o crescimento fixo equivaliu a 80 – 85%. A relação de SSV/SS era de 0,78 no efluente e 0,91 na biomassa fixa. O crescimento de lodo durante os 107 dias de operação do reator,

baseado em determinações de biomassa suspensas no efluente, teve uma média de 0,19 g SSV/DQO solúvel removida e 0.25 g SS/g DQO solúvel removida.

Estudos de RUSTEN *et al* (1998) mostram que é possível se obter boa qualidade do efluente na carga da hora pico de até 40 g DQO solúvel/m².d, mantendo-se a concentração de Oxigênio Dissolvido acima de 3 mg O₂/l. RUSTEN *et al* (1998) observou também nesse trabalho que o percentual de eficiência de remoção de DBO fica entre 50 – 80%, independente da carga orgânica aplicada. As concentrações dos efluentes para a DBO filtrada mantiveram-se na faixa de 10 – 30 mg/l para carga orgânica de até 25 g DBO filtrada/m².d. O aumento da carga para valores superiores a esse provocaram uma notável deterioração da qualidade do efluente.

A concentração típica de biomassa, observada por RUSTEN *et al.* (1994, 1995a, 1998), encontra-se na faixa de 2 – 5 Kg SS/m³, similar a verificada nos processos de Lodos Ativados Convencionais.

ODEGAARD (1993 e 1994) obteve eficiências de remoção de DQO total na faixa de 93,3 – 97,5%. No caso das estações de Steinsholt (Noruega), a eficiência média de remoção da DQO total foi de 94,4% e no Svarstad de 89%. Quando considerada a remoção de DBO₇, os resultados médios obtidos foram de: 97,4% para Steinsholt, 98,9% para Tretten e 97,7% para Frya. Os tempos de detenção observados foram inferiores a 1 hora (ODEGAARD, 2006).

ANDREATTOLA *et al* (2003), em seu estudo realizado na Itália, observou que a capacidade hidráulica pode ser incrementada em até 60% com o uso de MBBR. Desse modo, é possível diminuir o tempo de detenção hidráulica em relação ao processo de Lodos Ativados Convencional.

4. METODOLOGIA

4.1 Descrição da Unidade Experimental

A pesquisa foi desenvolvida no Centro Experimental de Tratamento de Esgoto da Escola Politécnica da Universidade Federal do Rio de Janeiro (CETE – Poli/UFRJ), localizado no Campus da Cidade Universitária da UFRJ – Ilha do Fundão.

O CETE – Poli/UFRJ consiste em uma central de operações, processos e tecnologias de tratamento de esgotos, tendo como objetivo principal a realização de pesquisas dos cursos de graduação e pós-graduação (especializações, mestrados e doutorados) voltados à engenharia de recursos hídricos, sanitária e ambiental.

Essa central é dotada de 13 diferentes unidades, apresentadas na figura 4.1. Na figura 4.2 apresenta-se o fluxograma da unidade experimental utilizada durante essa pesquisa.

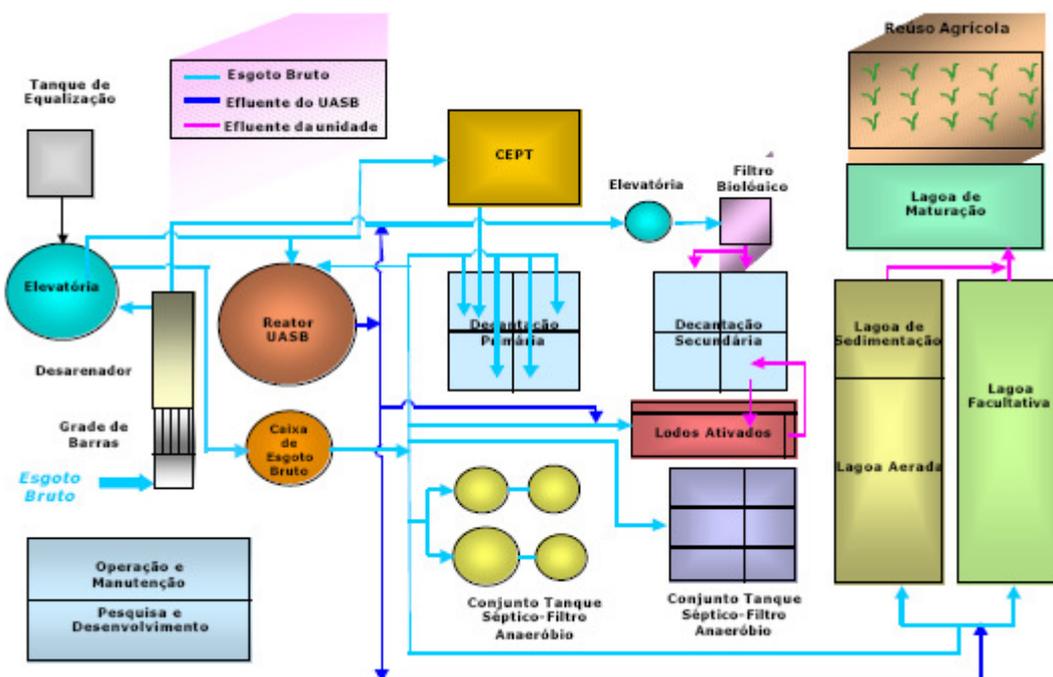
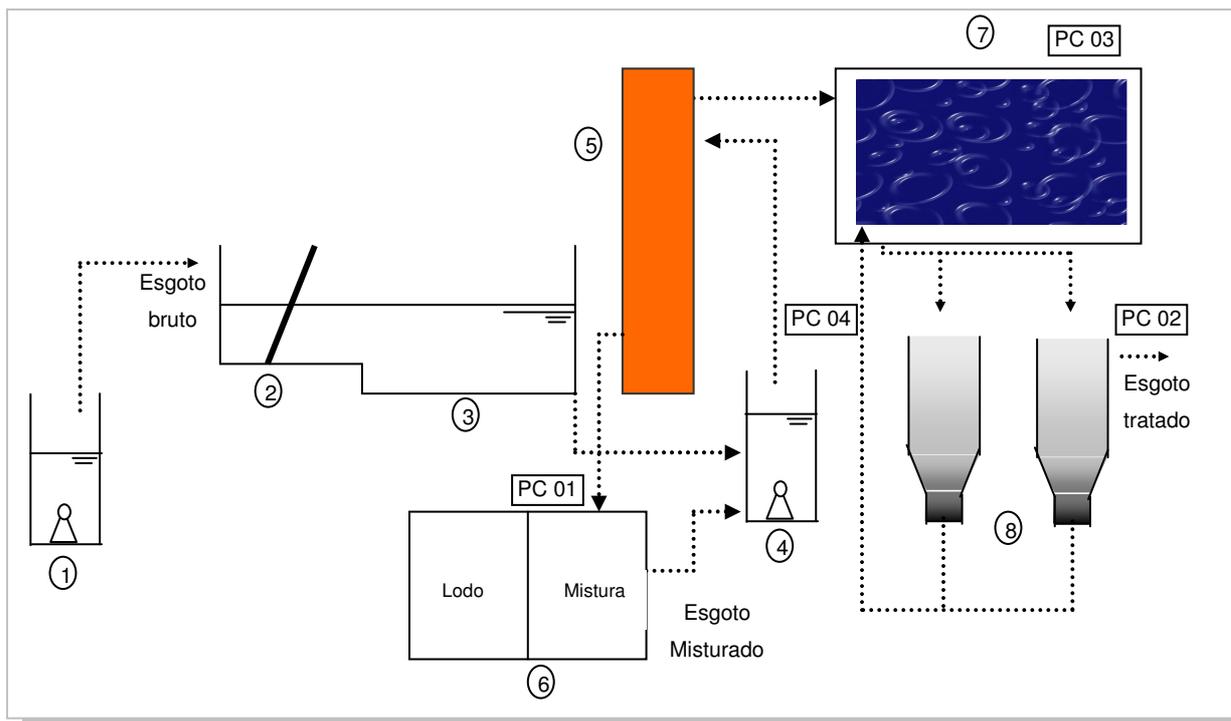


Figura 4.1 Fluxograma do CETE – Poli/UFRJ.



- 1 – Elevatória de esgoto CEDAE – RJ (Bomba submersível de alimentação do CETE Poli/UFRJ)
- 2 – Tratamento preliminar (grade de barras)
- 3 – Tratamento preliminar (desarenador)
- 4 – Elevatória de alimentação do Castelo (bomba submersível)
- 5 – Castelo (alimenta tanque equalizador e tanque de aeração)
- 6 – Tanque Equalizador
- 7 – Tanque de Aeração
- 8 – Decantadores
- PC 01 – Ponto de coleta 01 (afluente ao CETE Poli/UFRJ)
- PC 02 – Ponto de coleta 02 (efluente tratado do sistema de lodos ativados)
- PC 03 – Ponto de coleta 03 (Tanque de Aeração)
- PC 04 – Ponto de coleta 04 (Recirculação)

Figura 4.2: Fluxograma do Processo de Lodos Ativados da CETE Poli/UFRJ

O CETE Poli/UFRJ encontra-se instalado ao lado da Estação Elevatória da CEDAE (Companhia Estadual de Águas e Esgoto do Rio de Janeiro), que recalca esgoto gerado no Campus Universitário para a ETE-Penha.

4.2 Caracterização das Unidades Experimentais

4.2.1 Tratamento Preliminar

O tratamento preliminar do CETE – Poli/UFRJ é comum para todos os processos de tratamento nele implantados e é constituído por uma grade e por um desarenador, como se observa na Figura 4.3a e 4.3b



Figura 4.3a - Entrada de Esgoto e Grade.



Figura 4.3b - Caixa de Areia ou Desarenador.

A grade tem como objetivo a remoção de sólidos grosseiros e está localizada a jusante da elevatória de esgoto bruto e a montante da caixa de areia. O material empregado para sua confecção é fibra de vidro. A grade tem espessura de 0,64 cm ($\frac{1}{4}$ "), comprimento de 5 cm e espaçamento de 2,5 cm. Com essas dimensões, pode-se considerá-la como uma grade do tipo média. Sua profundidade é de 80 cm e sua limpeza é realizada, periodicamente, duas vezes por semana, de forma manual.

O desarenador tem a função de remover os minerais de maior densidade, evitando, dessa forma, o comprometimento de diversos equipamentos. A caixa de areia apresenta as seguintes dimensões: largura de 0,40 m, comprimento de 2,50 m e profundidade de 1,0 m. Ela está instalada a jusante da grade de barras e sua limpeza também é feita manualmente, duas vezes por semana.

Após a passagem pelo tratamento preliminar, o esgoto é encaminhado a uma elevatória onde se realiza sua mistura com o efluente do tanque equalizador, composto pela diluição de lodo seco digerido com esgoto. Essa mistura garante que os esgotos utilizados nos experimentos tenham suas características próximas às aquelas típicas de esgoto doméstico. Na elevatória, encontra-se instalada uma bomba submersível ABS 400 com 3450 rpm e capacidade de recalque máxima de 34 m³/h. Essa bomba recalca o esgoto até uma torre ou castelo responsável pela alimentação do tanque de aeração da unidade de Lodos Ativados, mostrado na figura 4.2.

4.2.2 Reator ou Tanque de Aeração

O reator é a unidade responsável por promover a decomposição aeróbica do substrato orgânico solúvel do esgoto e pela formação de flocos biológicos, que, posteriormente, serão removidos por sedimentação no decantador secundário. A recirculação desses sólidos eleva a concentração de biomassa, garantindo assim a eficiência da remoção da matéria orgânica, aqui representada pela DBO e DQO.

O tanque instalado no CETE – Poli/UFRJ possui extensão de 4,5 m, largura de 1,5 m e profundidade de 3,0 m. O sistema de aeração consta de um compressor de ar Omell (Potencia 2,2 HP) e de uma malha difusora de bolhas finas Sanitaire (20 cerâmicos porosos) instalada no fundo do tanque. O tanque pode ser visto nas figuras 4.4a e 4.4b.



Figura 4.4a Tanque Aeração



Figura 4.4b Entrada do Esgoto afluyente e de recirculação

4.2.3 Decantadores Secundários

O efluente do Tanque de Aeração é encaminhado para dois decantadores secundários, fabricados em fibra de vidro, com superfície quadrada de 1,70 m de lado por 2,20 m de altura. Seu formato tronco piramidal apresenta inclinação de paredes, formando um ângulo de 60°, como se observa nas figuras 4.5a e 4.5b.



Figura 4.5a - Decantador Vazio



Figura 4.5b - Vista Geral dos Decantadores Secundários

A alimentação dos decantadores dá-se pela parte superior, através de uma tubulação que se estende até o espelho da água, onde se instalou um defletor concêntrico ou “baffle” de 50 cm de altura, minimizando a turbulência do escoamento. Tal detalhe pode ser observado na figura 4.6.



Figura 4.6 - Defletor concêntrico ou Baffle

A utilização dos dois decantadores visou atender à norma da ABNT NB 570/1990 – Projeto de Estação de Esgoto Sanitário, que recomenda como taxa máxima de aplicação em um decantador secundário o valor de $36 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$. Por considerar esse valor elevado, Jordão & Pessoa (2005) recomendam a adoção de uma taxa inferior a $24 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, com vistas à obtenção de um efluente mais límpido. Sendo assim, a taxa máxima adotada nesse trabalho foi $24 \text{ m}^3/\text{m}^2\text{d}$, atendendo às duas referências acima citadas.

O efluente decantado em cada decantador verte por meio de vertedores triangulares “v-notch”, seguindo para uma calha coletora (figura 4.7a), onde se encontra instalado um medidor tipo Parshall com uma garganta de 1” (2,54 cm), que permite a medição de vazão dos esgotos tratados (figura 4.7b) em cada um dos decantadores.

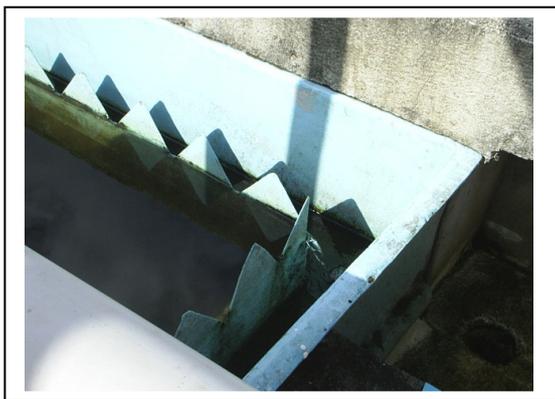


Figura 4.7a - Saída do efluente do Decantador



Figura 4.7b - Medidor Parshall no Decantador Secundário

4.2.4 Sistema de Recirculação

A retirada do lodo do fundo dos decantadores para recirculação é feita por meio de um sistema “air-lift”, usando o mesmo compressor que proporciona ar ao tanque de aeração. A vazão aproximada de retirada de cada decantador oscila entre 70 e 100 l/h, sendo essa operação realizada continuamente.

O lodo recirculado é retirado do decantador por meio de tubulações de PVC ($\Phi = 50$ mm) e Ferro Fundido ($\Phi = 60$ mm) e lançado em uma calha de concreto onde se encontra instalado um medidor de vazão tipo Parshall de garganta de 1” (2,54 cm), seguindo então para a entrada do tanque de aeração. Esse aparato é ilustrado nas figuras 4.8a a 4.8e.

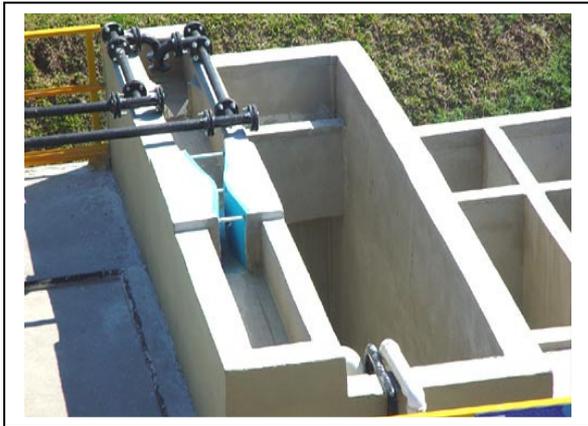


Figura 4.8a - Vista Geral do Sistema de Recirculação



Figura 4.8b - Saída da tubulação



Figura 4.8c - Chegada da Tubulação a Calha de Concreto



Figura 4.8d - Entrada do Lodo a Calha de Concreto



Figura 4.8e - Passagem do Lodo pela Calha Parshall

Além dos sistemas mencionados anteriormente, existe uma tubulação responsável por retirar o lodo em excesso depositado no fundo dos decantadores. Esse lodo é retirado por gravidade e levado à elevatória da CEDAE através de uma tubulação subterrânea de PVC ($\Phi = 100$ mm).

A tabela 4.1 apresenta um resumo das principais características das unidades descritas anteriormente.

Tabela 4.1 Resumo das características das unidades do CETE Poli/UFRJ

Descrição	Tratamento Preliminar		Reator ou Tanque de Aeração	Decantador Secundário
	Grade	Caixa de Areia		
Material	Concreto Armado		Concreto Armado	Fibra de Vidro
Comprimento (m)	2,5		4,5	1,7
Largura (m)	0,4		1,5	1,7
Altura (m)	0,8	1,0	3,0	2,2
Volume (m ³)	0,8	1,0	20,25	2,7

4.3 Condições Operacionais

4.3.1 Fase Preliminar

O objetivo dessa fase foi aclimatar o processo, permitindo a obtenção de algumas informações características de operação da unidade. O período de coleta ocorreu entre os dias 08/07/2004 e 13/10/2004, cujas informações encontram-se apresentadas no anexo A1.

A periodicidade de coleta foi de uma vez por semana. A vazão de operação foi de 0,45 L/s encaminhada a um decantador secundário apenas. Os parâmetros analisados foram os sólidos voláteis no tanque de aeração (X_{av}), sólidos sedimentáveis após 30 minutos de decantação (SD_{30}), índice volumétrico de lodo (IVL) e DQO.

4.3.2 Fase Experimental

Essa pesquisa foi desenvolvida entre outubro de 2004 até outubro de 2005, dividindo-se em duas fases operacionais descritas a seguir.

4.3.2.1 Fase A

Teve como objetivo principal operar o sistema como Lodos Ativados Convencional de Aeração Contínua e caracterizar os parâmetros do processo. Seu monitoramento teve início no dia 20/10/2004 e estendeu-se até o dia 17/03/2005.

Os principais parâmetros analisados foram DQO, DBO₅, SST (afluente, efluente, recirculação e reator), SSV (afluente, efluente, recirculação e reator), DBO_{sol}, SD₃₀. Adicionalmente, foram determinados parâmetros importantes, a saber: idade do lodo (IL) e relação alimento/microrganismos (A/M). Parâmetros como SST e SSV no descarte foram amostrados a partir do dia 16/02/2005.

Inicialmente, o descarte do lodo era dado às segundas-feiras, quartas, sextas e aos domingos, às 7 horas e nos outros dias às 13 horas. O volume descartado era de 170 litros, uma vez que a concentração de sólidos no tanque de aeração era baixa em função das características operacionais da fase preliminar (cinco descartes diários e pequena recirculação). A partir do dia 16/02/05 o descarte passou a ocorrer diariamente às 13 horas (volume de 170 L), buscando o aumento da concentração de sólidos no reator.

A vazão de operação inicial foi igual a utilizada na Fase Preliminar (0,45 L/s), obtendo uma taxa de aplicação superficial no decantador (TAS) de 23 m³/m²d. Após quatro dias de operação nessas condições optou-se por diminuir a vazão de operação para 0,39 l/s com o objetivo de diminuir a taxa de aplicação superficial para 20 m³/m²d. Após tal alteração observou-se um melhor desempenho do processo, evidenciado por seus parâmetros de controle. Durante a Fase A, a sedimentação secundária fez uso de apenas um decantador.

No anexo A2 encontram-se os dados de DQO, DBO e SS determinados nessa fase, juntamente com suas respectivas vazões e os demais parâmetros obtidos ou calculados, respectivamente.

4.3.2.2 Fase B

Essa fase teve como característica a introdução do meio de suporte plástico no Tanque de Aeração. O início do monitoramento ocorreu em 03/05/2005, um mês após a inserção das peças plásticas, garantindo assim a formação de biofilme na sua superfície.

O descarte do lodo era feito todos os dias de operação, às 13 horas, exceto alguns dias, nos quais os teores de sólidos no tanque abaxavam por causa de problemas

técnicos. O volume descartado era de 370 L por cada decantador, ou seja, eram descartados 740 L por dia.

A vazão de operação na Fase B foi de 0,59 L/s, equivalente a 1,5 vezes a vazão da Fase A (0,39 l/s). Para evitar a elevação excessiva da taxa de aplicação superficial no decantador, optou-se por empregar dois decantadores secundários em paralelo. O volume inicialmente introduzido de peças plásticas foi de 2,0 m³, equivalente a 10% do volume do tanque de aeração. Após duas semanas de operação nessas condições, adicionaram-se mais 2,0 m³ de peças plásticas, operando sob a mesma vazão (0,59 l/s) e mesma TAS (15 m³/m²d). Num segundo momento, adotou-se a vazão de 0,78 l/s e TAS de 20 m³/m²d como nova condição operacional, cujo monitoramento foi feito por 12 semanas.

Por último testou-se o comportamento do sistema de tratamento para as vazões de 0,88 L/s e 0,95 L/s, com as TAS de 22 m³/m²d e 24 m³/m²d, respectivamente. As quantidades do meio suporte suspensas no tanque de aeração foram as mesmas utilizadas anteriormente.

Os resultados de concentrações de DQO, DBO e SS podem ser observados no anexo A3. No mesmo anexo apresentam-se os demais parâmetros determinados para essa fase. A tabela 4.2 apresenta um resumo das principais características das Fases A e B. A tabela 4.3 apresenta como será denominada cada fase com relação às mudanças de vazões, sendo essa a nomenclatura utilizada durante a pesquisa nos gráficos e tabelas.

Tabela 4.2 - Características das Fases A e B

Fase	Nº Amostras	Q (l/s)	Nº Decantadores	A/M	A/M equivalente	TAS m ³ /m ² d	%V	Nº de Peças (und)	Tempo de operação (dias)
A	25	0,45	1	0,56	-	23	-	-	4
		0,39		0,16		20			21
B	51	0,59	2	0,73	0,36	15	10	40000	6
		0,59		0,52	0,28	15	20	80000	3
		0,78		0,98	0,39	20	20	80000	28
		0,88		0,78	0,35	22	20	80000	8
		0,95		1,00	0,47	24	20	80000	8

TAS = Taxa de aplicação superficial %V = Porcentagem de volume do reator

Tabela 4.3 – Nomenclatura das Fases com relação às diferentes vazões.

Fase	Q (l/s)	%V	% Vazão aumentada	A/M
A	0,45	-	-	A"
	0,39	-	Q1	A"
B	0,59	10	1,5 Q1	B11
	0,59	20	1,5 Q1	B12
	0,78	20	2,0 Q1	B2
	0,88	20	2,25 Q1	B3
	0,95	20	2,5 Q1	B4

4.4 Caracterização do Meio Suporte Móvel (MBBR)

O meio suporte usado nessa pesquisa foi fabricado e fornecido pela empresa Ambio Engenharia. Essa peça é cilíndrica, lisa na superfície e com divisões em sua parte interna, como mostra a figura 4.9a. Suas dimensões são 23 mm de diâmetro e 25 mm de altura. A densidade de cada meio suporte encontra-se entre 0,99 a 1 g/cm³, sua área é de 0,0222 m² e área superficial ou de contacto equivalente a 443.50 m²/m³. Esse último dado foi calculado nessa pesquisa e seus resultados encontram-se no anexo A5. A determinação da quantidade de peças contidas em 1,0 m³ foi feita com auxílio de um tanque com esse volume (figura 4.9b). O valor encontrado foi de 20.000 peças por metro cúbico.

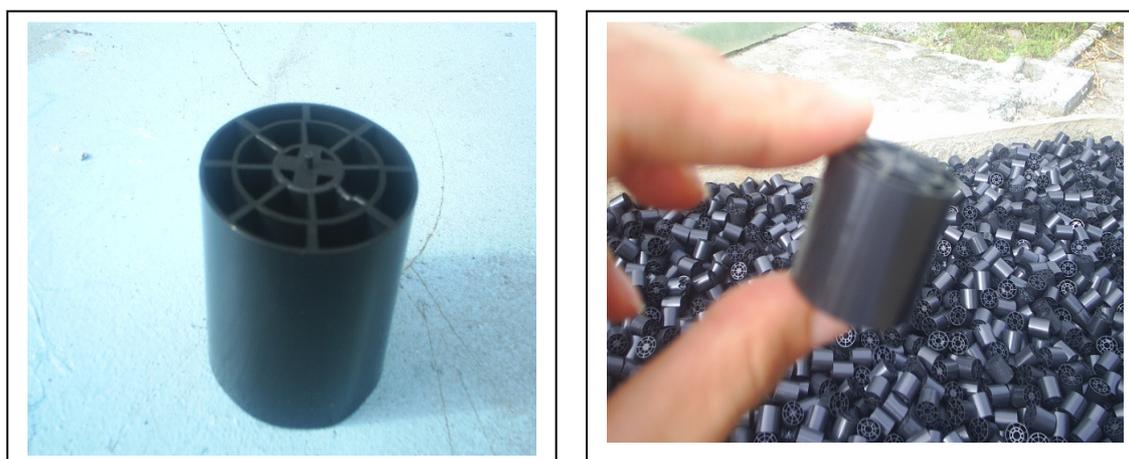


Figura 4.9a - Meio Suporte



Figura 4.9b - Tanque de 1 m³ preenchido com Meio Suporte

Procederam-se quatro ensaios com objetivo de estimar a quantidade de biomassa acumulada no interior das peças. Esses testes foram realizados no Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente da Poli/UFRJ (LEMA – Poli/UFRJ). Os primeiros três ensaios seguiram o seguinte protocolo (Figuras 4.10a até 4.10f):

- Para cada ensaio tomaram-se 20 peças com biofilme, colocadas separadamente em cápsulas de porcelana, sendo devidamente pesadas em uma balança analítica eletrônica (Quimis/RS232). O peso médio da peça sem biofilme é definido como P1.
- Levaram-se essas cápsulas para a estufa (Quimis/Q-317B) a uma temperatura de 103°C, por no mínimo uma hora, de forma a permitir a evaporação do líquido.
- Deixaram-se as amostras esfriarem por 40 minutos para, a seguir, serem pesadas novamente, obtendo assim P2.
- A diferença entre os pesos P1 e P2 determinou a massa de sólidos retidos em cada peça = P total.

A partir desses resultados determinou-se uma média para cada ensaio e uma média geral; essa foi então utilizada na determinação de SS aderida à peça em cada fase da Fase B, como está apresentada na tabela 5.18, no capítulo 5.



Figura 4.10a - Pesagem do Meio Suporte com biofilme aderido



Figura 4.10b - Meio Suporte na cápsula de porcelana

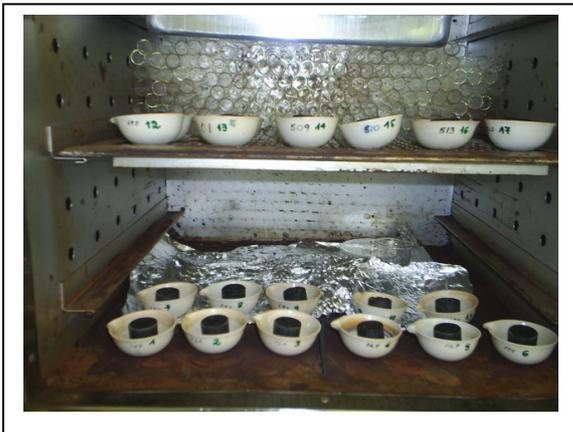


Figura 4.10c - Meio Suporte dentro da Estufa



Figura 4.10d - Meio Suporte com biofilme seco

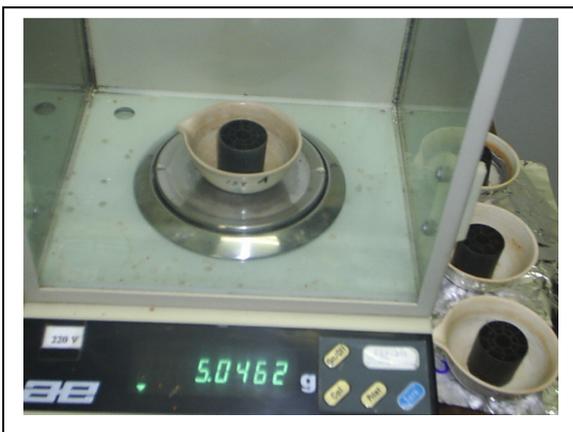


Figura 4.10e - Pesagem do Meio Suporte com biofilme aderido

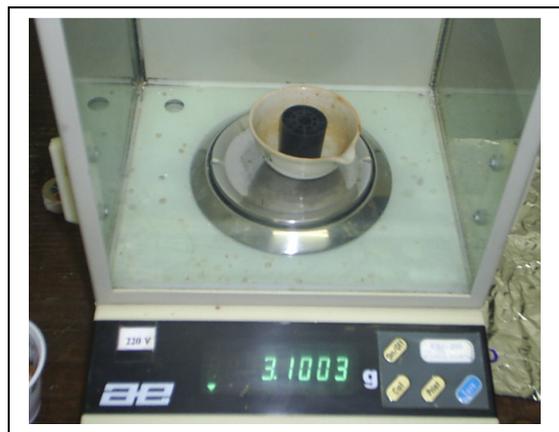


Figura 4.10f - Pesagem do Meio Suporte sem biofilme

No capítulo 5, a tabela 5.18 é formada por dez colunas. O significado de cada coluna é explicado a seguir:

Coluna 1: Indica a Fase de cálculo.

Coluna 2: Indica a Quantidade de Sólidos em Suspensão Total aderidos às peças. Considera-se esse valor constante, pois o ensaio feito para esse cálculo foi realizado durante uma fase da pesquisa.

Coluna 3: Indica a Área de contato da peça. Esse valor também é constante durante a pesquisa, pois as peças são iguais.

Coluna 4: Indica as Gramas de Sólidos em Suspensão por metro quadrado. Calcula-se esse valor baseando-se na relação existente entre a quantidade de SST aderidos à peça e a área de contato da peça.

Coluna 5: Indica o Número de peça. Esse valor é calculado com dados subministrados pela empresa fabricante, segundo a qual, por cada metro quadrado, existem 20000 peças. Durante essa fase trabalha-se com dois (40000 peças) e quatro (80000 peças) metros quadrados.

Coluna 6: Indica a Massa Aderida, a qual se calcula ao multiplicar a coluna 2 (SST aderidos às peças) com a 5 (Número de peças).

Coluna 7: Indica os Sólidos em Suspensão no Tanque de Aeração, cálculo obtido no laboratório pela média para cada fase.

Coluna 8: Indica a Massa em Suspensão no Tanque de Aeração. Calcula-se esse valor ao multiplicar a coluna 7 (SSTA) pelo volume do tanque de aeração.

Coluna 9: Indica a Massa Total, a qual se calcula com a somatória entre a coluna 6 (massa aderida à peça) e a coluna 8 (massa em suspensão no tanque de aeração).

Coluna 10: Indica os Sólidos em Suspensão Totais Equivalentes; valor calculado pela relação entre a coluna 9 (massa total) e o volume do tanque de aeração.

4.5 Monitoramento da Unidade

4.5.1 Período de Monitoramento

Como foi mencionado anteriormente, o monitoramento foi feito de outubro de 2004 até outubro de 2005. As amostragens foram do tipo amostra composta, de 8h da manhã até 15h da tarde.

Na Fase A, eram realizadas duas amostragens semanais, ocorridas às quartas-feiras e quintas-feiras. Esse procedimento estendeu-se até fevereiro de 2005. A partir de março de 2005 as coletas passaram a ocorrer também às terças-feiras, totalizando três amostragens semanais.

A Fase B, iniciada em maio de 2005, procedeu às coletas às terças-feiras, quartas-feiras e quintas-feiras. Esporadicamente algumas coletas foram realizadas às segundas-feiras.

4.5.2 Sistema de Amostragem

Os pontos de coleta de amostras e os parâmetros de controle foram escolhidos de modo a melhor monitorar o desempenho da unidade. Esses pontos estão identificados na figura 4.2 e descritos na tabela 4.4, abaixo.

Tabela 4.4 - Pontos de Coleta.

Ponto	Local	Análise Físico-Químico	Forma de Coleta
P01	Tanque Equalizador	DQO	Composta ¹
		DBO ₅	
		SS	
P02	Decantador Secundário	DQO	Composta
		DBO ₅	
		SS	
		Turbidez	
		pH	
P03	Reator ou Tanque de Aeração	SS	Simples ³
		OD ²	
		SD ₃₀	
P04	Recirculação	SS	Simples

1. A coleta composta foi feita de hora em hora, começando às 8 horas e terminando às 15 horas, com frequência de 3 a 4 vezes por semana.

2. OD foi feito às 15 horas, diariamente.

3. A coleta simples foi do tipo pontual, realizada no horário da manhã (8-9 h) com frequência de 4 vezes por semana.

4.5.3 Parâmetros Físicos – Químicos

Os parâmetros analisados durante a pesquisa foram determinados no LEMA – Poli/UFRJ, segundo o *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater* (WEF,1998) e encontram-se listados na tabela 4.5, juntamente com os respectivos pontos de coleta.

Tabela 4.5. Parâmetros analisados nos diferentes pontos de coleta.

Parâmetro	Lugar de Coleta	Análise Realizado
DQO	P01 P02	Totais
DBO	P01 P02	Totais Solúvel
SS	P01 P02 P03 P04	Totais Voláteis
OD*	P03	Oxigênio dissolvido
Turbidez**	P04	Turbidez
Temp	P03	°C
SD ₃₀ ***	P03	Quantidade de lodo sedimentado (ml) em um litro de amostra após 30 min (Cone Imhoff)

* OD foi determinado com auxílio de um Oxímetro Tipo OX1/SET - marca SCHOTT, com eletrodo e cabo flexível. Esse parâmetro foi medido em três diferentes pontos na vertical do tanque de aeração: superfície (a 2,50 m do fundo), médio (1,25 m do fundo) e fundo (0,50 m do fundo).

** Turbidez foi medida com auxílio de dois aparelhos: Turbidímetro Nefelométrico (OBBERCO-HELLIGE) – determinação de campo, e Datalogin Portátil Spectrofotometro (unidade em FAU) – determinação de laboratório. No Anexo A4 encontra-se uma curva que trabalha a equivalência desse parâmetro medido no campo com o medido no laboratório.

*** Esse parâmetro foi determinado no campo com auxílio do Cone Imhoff.

4.5.4 Cálculo do Índice Volumétrico do Lodo (IVL)

Embora tradicionalmente o ensaio de IVL seja feito com proveta graduada de 1000 ml, nessa pesquisa utiliza-se Cone Imhoff de 1000 ml com decantação de 30 minutos, tomando-se essas medidas para o cálculo IVL através da equação 3.4. Não se prevê resultados díspares.

4.5.5 Cálculo de Sólidos em Suspensão no Descarte do Lodo em Excesso

Para fazer tal avaliação, optou-se por conduzir o lodo acumulado nos dois decantadores ao poço de sucção da CETE – Poli/UFRJ por meio das tubulações intercomunicantes. No tanque (de fibra de vidro) com dimensões conhecidas e vazias

no momento do ensaio, tornou-se possível medir o volume descartado através da altura de lâmina líquida de lodo.

Para permitir a limpeza da tubulação, nenhuma coleta foi realizada nos primeiros 30 segundos de teste. Após esse intervalo de tempo as amostragens foram realizadas após 30 segundos, 50 segundos e 60 segundos. Os resultados obtidos encontram-se na tabela 5.25 do capítulo 5.

4.5.6 Caracterização da Vazão de Recirculação

Para determinar a vazão de recirculação ao reator foram realizados dois ensaios diferentes. O primeiro consistiu em tomar o tempo requerido pelo lodo recirculado para preencher um recipiente de volume conhecido. O ponto de monitoramento foi na saída da tubulação que liga o fundo dos decantadores à calha Parshall, precedente ao tanque de aeração. Com esses valores calculou-se a vazão de recirculação. O segundo recurso utilizado foi o controle periódico da vazão de recirculação, medida diretamente na calha Parshall instalada a montante do tanque de aeração. Os resultados encontrados encontram-se resumidos no anexo A.6.

4.5.7 Parâmetros Microbiológicos

As análises microbiológicas foram realizadas pelo Laboratório de Controle de Poluição de Águas – COPPE (Protozoários) e pelo Laboratório de Zoonoses Bacterianas do Departamento de Bacteriologia (IOC/FIOCRUZ), com o objetivo de identificar os microrganismos predominantes no tanque de aeração e no meio suporte.

Microscopia de Protozoários e outros

A identificação dos protozoários predominantes foi realizada em três diferentes amostras, que apresentaram resultados semelhantes. O protocolo de análises, mostrado nas figuras 4.11a até 4.11c, está descrito a seguir:

- Coletou-se em um frasco o esgoto do tanque de aeração, juntamente com várias peças de meio suporte;
- Foi adicionada, em duas diferentes placas de Petri, uma gota de esgoto e biomassa removida do meio suporte;
- As duas placas foram levadas ao microscópio Hund Wetzlar H500, cujo aumento usado foi de 100 e 400 vezes, possibilitando assim a identificação dos protozoários.



Figura 4.11a - Placa de Petri com amostra



Figura 4.11b - Microscópio Hund Wetzlar H500

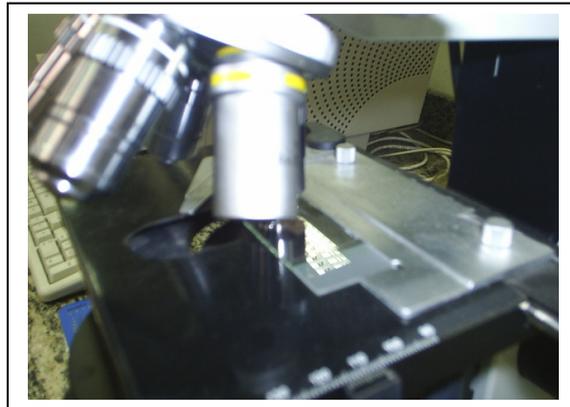


Figura 4.11c - Lentes de Aumento

A identificação de protozoários e metazoários utilizou como referência a classificação proposta pelo manual da CETESB (1989), presente no anexo A.7 e A.8.

Bacterioscopia pelo Método de Gram

As análises para identificação das bactérias predominantes foram realizadas no IOC/FIOCRUZ. Para tanto foram coletadas 10 amostras, no período de operação da Fase II, sob as vazões de 0,88 L/s e 0,95 L/s. A metodologia de ensaio dividiu-se em duas etapas, descritas a seguir.

a. Coleta

Foram coletadas as amostras em dois frascos de 120 ml e num “swab” esterilizado (meio de Carry & Blair). No primeiro frasco foi armazenado esgoto do tanque de

aeração e no segundo esgoto, acrescido de meio suporte. A biomassa aderida ao meio suporte foi previamente raspada e depositada nesse último frasco.

b. Atividades Laboratoriais

Os procedimentos adotados em laboratório foram:

- O conteúdo coletado foi distribuído em tubos com volumes idênticos (40 ml) dentro de uma câmara de proteção biológica (Veco/Bio-protector09) e centrifugada a 3500 rpm por 30 minutos a uma temperatura de 4 °C (Eppendorf/Centrifuge5810R). Feita a centrifugação eliminou-se o líquido excedente em cada tubo;
- Dos tubos com os sedimentos (frascos 1 e 2) e do swab, fez-se a semeadura por esgotamento com alça bacteriológica em placas de Petri, utilizando três diferentes meios: Agar Mac Conkey (recomendado para identificação de membros das famílias *Esterobacterincese* e de *Bacilos* de Gram-positivo não fermentadores), Agar Nutrientes 0001 (recomendado como meio de cultivo geral para a maior parte de microrganismos menos exigentes) e Agar Cetrimide (recomendado como meio seletivo para *Pseudomonas* e afins);
- Após a semeadura dos meios, feita em duplicata, as placas foram encubadas a 37°C e a temperatura ambiente (28 – 30°C) por um período entre 24 a 48 horas;
- As colônias desenvolvidas nos diferentes meios foram selecionadas a partir de suas características morfológicas. Aquelas predominantes foram inoculadas em um meio de triagem (Costa & Vêrnin) e incubadas a 37°C por 24 horas. Esse meio de triagem fornece as informações sobre o comportamento bioquímico das colônias isoladas, tais como: ações sobre a lactose e/ou sacarose, hidrólise da uréia, mobilidade e produção de H₂S;
- A leitura do comportamento fisiológico das bactérias no meio de triagem permitiu uma identificação presuntiva (anexo A9).

As figuras 4.12a até 4.12d mostram os aparelhos e materiais usados IOC/FIOCRUZ para esse estudo.



Figura 4.11a - Câmara de proteção biológica (Veco/Bio-protector09)



Figura 4.11b - Placas de Petri sem sementeira

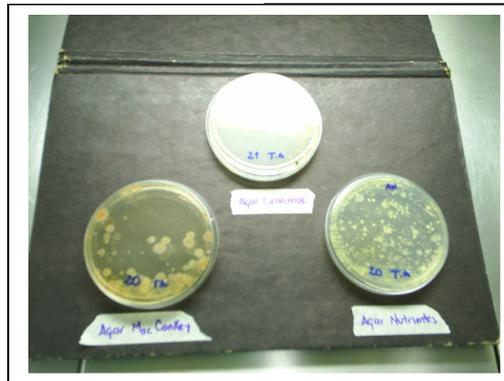


Figura 4.11c - Placas de Petri com crescimento de bactérias



Figura 4.11d - Centrífuga (Eppendorf/Centrifuge5810R)

4.5.8 Análises Estatísticas

Apresenta-se um resumo das estatísticas descritivas das concentrações (DQO, DBO e SST) afluentes e efluentes da Fase A e da Fase B e as eficiências de suas respectivas concentrações, com seus respectivos gráficos “Box and Wiskers” (gráficos obtidos mediante as planilhas de Von Sperling) dos resultados das tabelas anteriores. Os gráficos ilustram a eficiência de remoção das concentrações médias, com 75% e com 90% percentil (DQO, DBO e SST) para cada vazão usada nessa pesquisa.

Para a Fase B, é necessário:

- Aplicar, para esses mesmos parâmetros (DQO, DBO e SST), a prova de Kolmogorov, o que indica a normalidade dos dados no afluente, efluente e eficiência. Essa informação é encontrada utilizando como ferramenta um programa de estatística (SPSS). É necessário formular duas hipóteses:

H_0 = Dados que se ajustam a uma distribuição normal

H_1 = Dados que não se ajustam a uma distribuição normal

Aceitando H_0 quando o valor de P for superior a 0.05 e rejeitando caso contrário, obtém-se uma confiabilidade de 95% nos resultados.

Se o resultado apresentar normalidade nas amostras do afluente e efluente, então o estudo de comparação entre vazões far-se-á com eficiência.

- Achar a análise de variância para testar se existem diferenças significativas entre as médias dos parâmetros DQO, DBO e SST, utilizando ANOVA (análises de variância). Para essa análise tomam-se as seguintes hipóteses:

H_0 = não existem diferenças significativas entre as médias

H_1 = existem diferenças significativas entre as médias

Aceita-se H_0 quando o valor de significância é superior a 0.05, caso contrário aceita-se H_1 , com uma confiabilidade de 95% nos resultados.

- A Prova de T-Student é feita para verificar qual é o melhor comportamento dentre as vazões testadas nessa pesquisa. Para a aplicação dessa prova toma-se como referência a nomenclatura utilizada na tabela 4.3 desse capítulo, utilizando como B1 os valores B11 e B12 juntos. Essa prova é aplicada para as concentrações

(DQO, DBO e SST), para suas eficiências e para comparar os parâmetros anteriormente mencionados com os parâmetros de lançamento das legislações de RJ, SP e MG.

No caso da avaliação das médias considera-se o seguinte:

H_0 = não existem diferenças significativas entre as médias ($\mu_1 = \mu_2$)

H_1 = existem diferenças significativas entre as médias ($\mu_1 \neq \mu_2$)

4.6 Padrões de Lançamento de Efluente

Para a análise dos padrões de lançamento de efluentes líquidos foram considerados os instrumentos legais vigentes nos Estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, que são respectivamente: Diretriz FEEMA-RJ DZ.215-R.3, Deliberação FEAMMG COPAM n° 10 e CETESB-SP Decreto n° 8.468.

A DZ.215-R.3 (RJ) estabelece diretriz de controle da carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem não industrial, definindo concentrações máximas de DBO e SST efluente e eficiência mínima de remoção de matéria orgânica em função da carga orgânica afluenta à unidade de tratamento. Os valores estabelecidos por essa normativa são: (1) para carga orgânica afluenta superior a 80 kgDBO/dia, a concentração máxima de DBO e SST deve ser de 40 mg/l; (2) para carga orgânica afluenta entre 25 kgDBO/dia e 80 kgDBO/dia, a concentração máxima de DBO e SST deve ser de 60 mg/l.

A Deliberação Normativa FEAM-MG COPAM n° 10 estabelece normas e padrões para qualidade das águas e lançamento de efluentes nas coleções de água impondo concentrações efluente máximas de DBO e SST de 60mg/l e de DQO de 90mg/l (esse limite poderá ser ultrapassado no caso do sistema de tratamento reduzir a carga poluidora de efluente em no mínimo 90%).

O Decreto n° 8.468 da CETESB-SP regulamenta a Lei n° 997, que dispõe sobre a prevenção e o controle da poluição do meio ambiente e prevê concentrações efluente máximas de DBO de 60mg/l.

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Nessa pesquisa foram analisados os seguintes parâmetros:

- DQO, DBO, SST, SSV (concentrações, eficiências de remoção) no afluente ao tanque de aeração e no efluente do decantador secundário.
- DBO solúvel no efluente do decantador secundário na Fase B.
- Sólidos em Suspensão no tanque de aeração (SSTA) e sólidos em suspensão voláteis no tanque de aeração (SSVTA).
- Sólidos em suspensão aderidos a peças (meio suporte) no interior do tanque de aeração.
- Sólidos sedimentáveis após 30 minutos no Cone Imhoff.
- Oxigênio dissolvido no interior do tanque de aeração.
- Microbiologia (observada na Fase B).
- pH, turbidez e temperatura do afluente ao tanque de aeração.
- Teor de Sólidos do lodo descartado.

Foi também avaliado o atendimento aos padrões de lançamento dos efluentes líquidos nos estados de Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo.

Cada item compreende duas partes:

- Apresentação dos resultados obtidos.
- Discussão dos resultados apresentados.

A tabela 5.1 indica os resultados médios no afluente, efluente e porcentagem de remoção das concentrações de DQO, DBO, SST e dentro do Tanque de Aeração da Fase Preliminar. No anexo B1 tem-se uma amostra de todos os valores com os quais as médias foram calculadas.

Tabela 5.1: Resultados médios de Concentrações (DBO, DQO e SST) da Fase Preliminar.

	DQO			DBO			SST			Tanque Aeração	
	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%	SST	SSV
Fase com Q= 0,45 l/s											
Média	461	134	70	210	55	73	250	30	86	3118	2256

A tabela 5.2 apresenta os resultados médios no afluente, efluente e porcentagem de remoção das concentrações de DQO, DBO e SST da Fase A, operando sob condições convencionais do processo de lodos ativados. O anexo B2 apresenta uma amostra de todos os valores usados para o cálculo das médias.

Tabela 5.2: Resultados médios de Concentrações (DBO, DQO e SST) da Fase A

	DQO (mg/l)			DBO (mg/l)			SST (mg/l)		
	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%
Fase A" (Q= 0,45 l/s)									
Média	409	54	87	128	30	77	272	46	76
Fase A (Q= 0,39 l/s)									
Média	531	92	81	168	26	84	385	33	91

A tabela 5.3 apresenta os resultados médios no afluente, efluente e porcentagem de remoção das concentrações de DQO, DBO e SST da Fase B, utilizando a tecnologia MBBR. No anexo B3 tem-se uma amostra de todos os valores a partir dos quais as médias foram calculadas.

Tabela 5.3: Resultados médias de Concentrações (DQO, DBO, DBOsol e SST) da Fase B

	DQO mg/l			DBO mg/l			DBOsol mg/l	SST mg/l		
	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%	Efluente	Afluente	Efluente	%
Fase B11 (Q= 0,59 l/s 10%V)										
Média	406	37	91	145	16	89	7	427	9	98
Fase B12 (Q= 0,59 l/s 20%V)										
Média	491	26	93	227	11	94	6	443	28	93
Fase B2 (Q= 0,78 l/s 20%V)										
Média	527	55	88	215	23	89	10	386	35	89
Fase B3 (Q= 0,88 l/s 20%V)										
Média	434	48	88	155	20	87	10	349	35	88
Fase B4 (Q= 0,95 l/s 20%V)										
Média	559	63	88	246	28	88	17	500	29	93

Em relação aos resultados complementares, mostram-se, através da tabela 5.4, os valores médios, máximos e mínimos que foram verificados durante a pesquisa no caso de pH, temperatura (°C) e turbidez (nefelométrico / FAU), dados obtidos dentro do Tanque de Aeração. No anexo B4 tem-se uma amostra de todos os valores de onde as médias foram calculadas.

Tabela 5.4: Valores médios, máximos e mínimos de resultados complementares dentro do Tanque de Aeração.

Valores	pH	Temperatura (°C)	Turbidez	
			Nefelométrico	FAU
Média	6,58	26,9	47	85
Máximo	8,03	33,1	784	1224
Mínimo	5,33	20,4	7	24

Vale recordar que a nomenclatura utilizada durante a pesquisa nos gráficos e tabelas é a mesma mencionada na tabela 4.3 do capítulo da metodologia. Na Fase A, tem-se: **A''** a vazão de 0,45 l/s e **A** a vazão de 0,39 l/s. Na Fase B: **B11** a vazão de 0,59 l/s com recheio de peças de 10%; **B12** a vazão de 0,59 l/s com recheio de peças de 20%; **B2** a vazão de 0,78 l/s com recheio de peças de 20%; **B3** a vazão de 0,88 l/s com recheio de peças de 20% e **B4** a vazão de 0,95 l/s com recheio de peças de 20%.

A figura 5.1 ilustra as séries temporais das concentrações afluyente e efluente do DQO, observando a remoção que existe entre o afluyente e efluente desse parâmetro. Na figura 5.2 ilustram-se as concentrações dos efluentes de DQO, onde se observa que a média dos efluentes se encontra na faixa entre 26 até 92 mg/l de DQO.

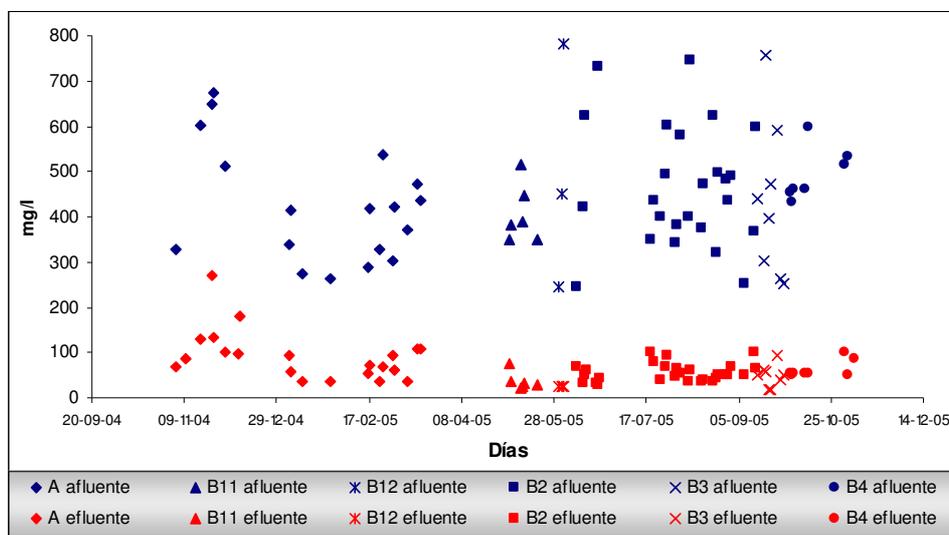


Figura 5.1: Série temporal das concentrações afluyente e efluente de DQO

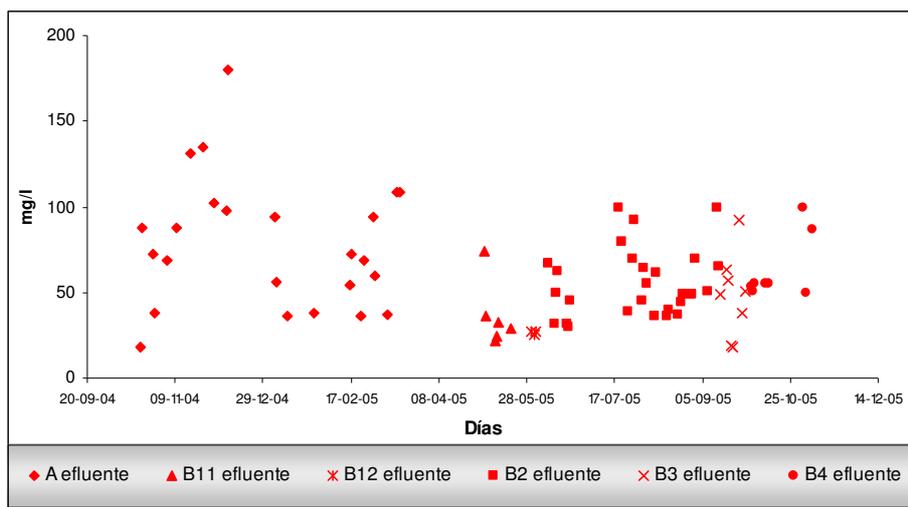


Figura 5.2: Série temporal das concentrações efluentes de DQO

A figura 5.3 ilustra as séries temporais das concentrações afluentes e efluente do DBO, observando a remoção que existe entre o afluente e efluente desse parâmetro. Na figura 5.4 ilustram-se as concentrações dos efluentes de DBO, onde se observa que a média dos efluentes se localiza na faixa entre 11 até 26 mg/l de DBO.

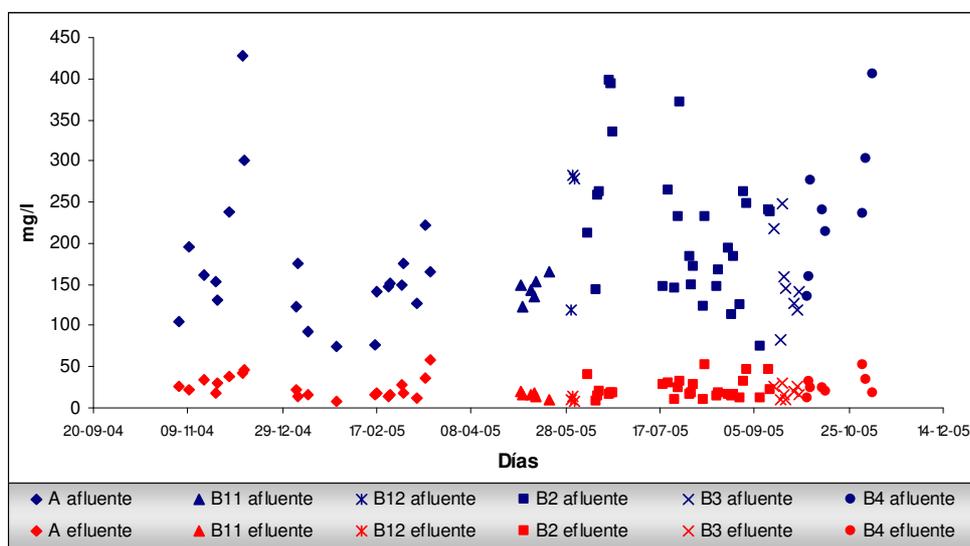


Figura 5.3: Série temporal das concentrações afluentes e efluente de DBO

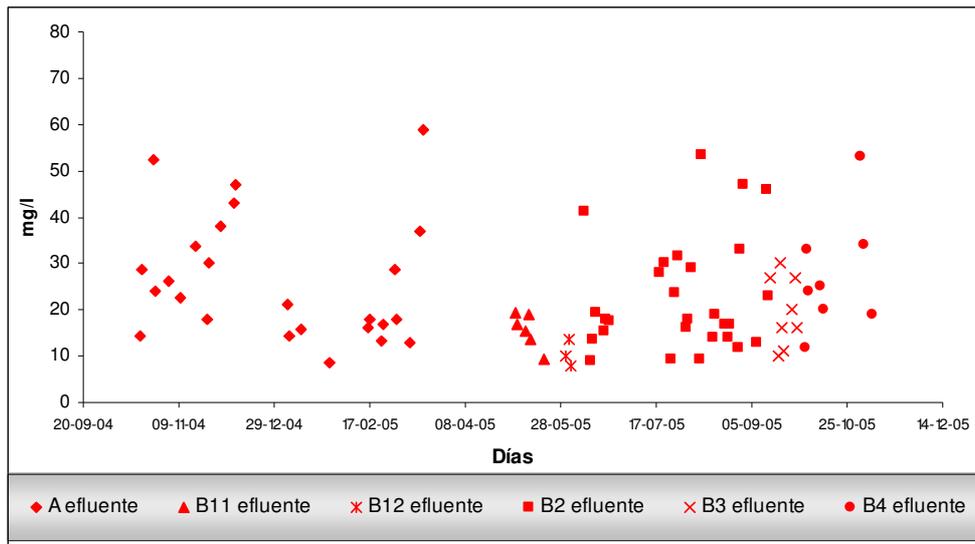


Figura 5.4: Série temporal das concentrações efluentes de DBO

Na figura 5.5 ilustram-se as séries temporais das concentrações efluente do DBOsol na Fase B, na qual se observa que a média dos efluentes se situa na faixa entre 20 até 5 mg/l de DBOsol.

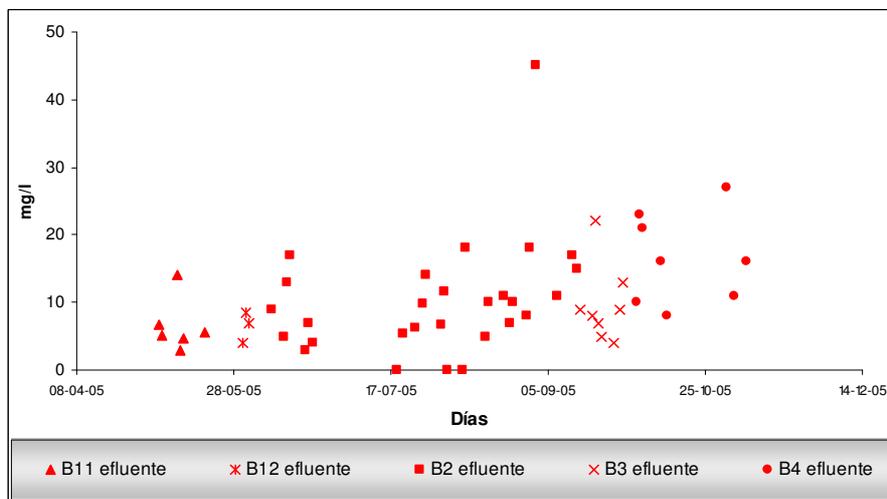


Figura 5.5: Série temporal das concentrações efluentes de DBOsol da Fase B

A figura 5.6 ilustra as séries temporais das concentrações afluyente e efluente do SST, observando a remoção que existe entre o afluyente e efluente desse parâmetro. Na figura 5.7 mostram-se as concentrações dos efluentes de SST, onde se observa que a média dos efluentes se encontra na faixa entre 9 até 35 mg/l de SST.

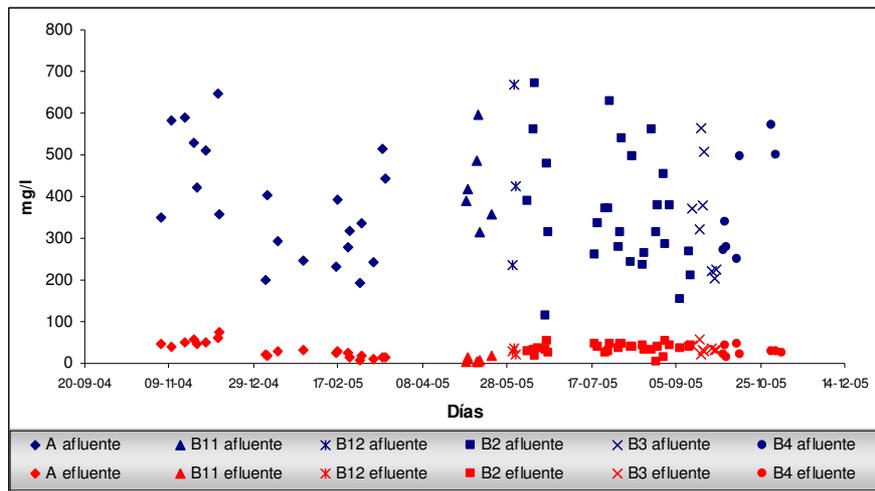


Figura 5.6: Série temporal das concentrações afluyente e efluente de SST

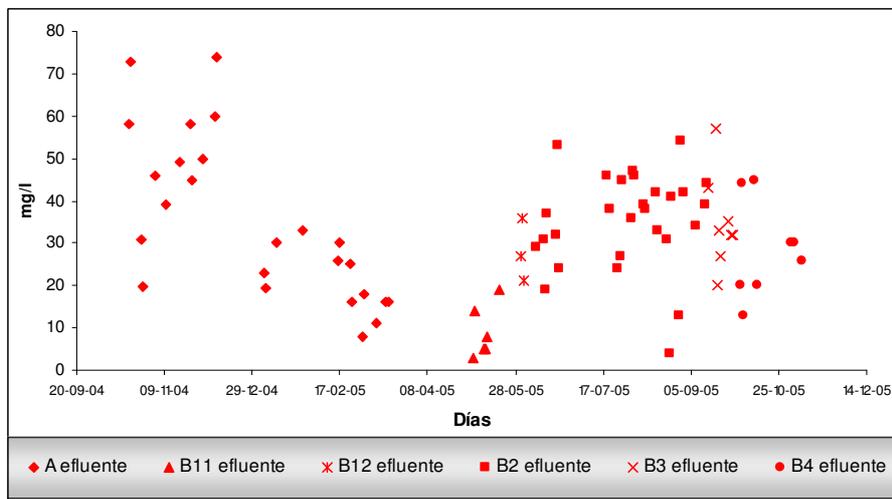


Figura 5.7: Série temporal das concentrações efluentes de SST

Nas figuras 5.8, 5.9 e 5.10 apresentam-se as eficiências de remoção de DQO, DBO e SST ao longo do tempo, com suas respectivas variações de vazão. Observa-se que a faixa de remoção para DQO está entre 69-97%; para DBO 75-97% e para SST entre 72-99% aproximadamente.

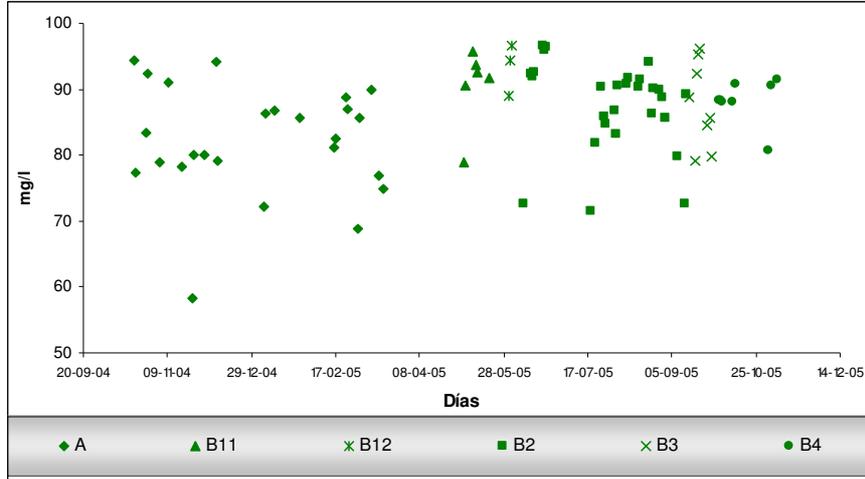


Figura 5.8: Série temporal das eficiências de remoção de DQO

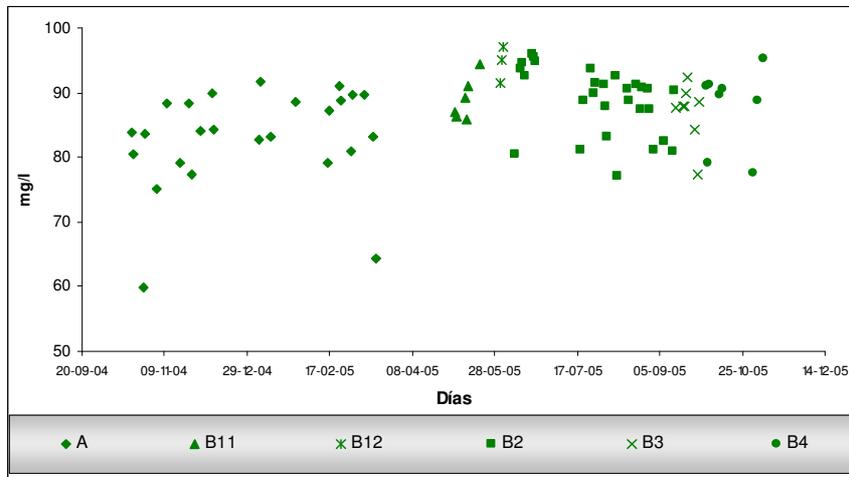


Figura 5.9: Série temporal das eficiências de remoção de DBO

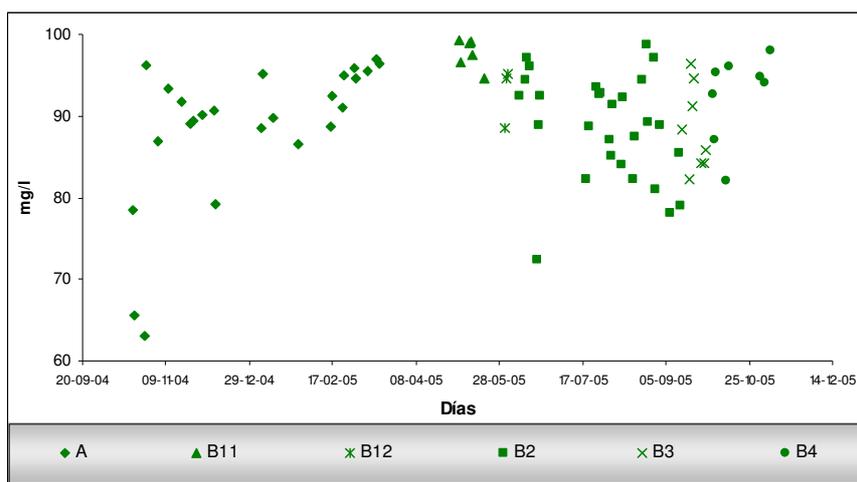


Figura 5.10: Série temporal das eficiências de remoção de SST

Os dados utilizados para a feitura das figuras apresentadas anteriormente encontram-se nos anexos B.1, B.2 e B.3.

5.1 Estatística Descritiva

5.1.1 Apresentação de Resultados

A tabela 5.5 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações afluentes de DQO da Fase A e da Fase B. A figura 5.11 ilustra os gráficos *Box and Whiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.5: Estatística descritiva das concentrações afluentes de DQO (mg/l)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	531	406	491	527	434	482
Mín	264	349	243	245	254	434
Máx	981	516	781	973	755	599
Mediana	420	386	449	477	419	462
DP	325	64	271	224	173	66
10%	290	350	285	335	260	442
25%	327	359	346	381	292	454
50%	420	386	449	477	419	462
75%	604	432	615	608	502	462
90%	862	481	715	776	640	544

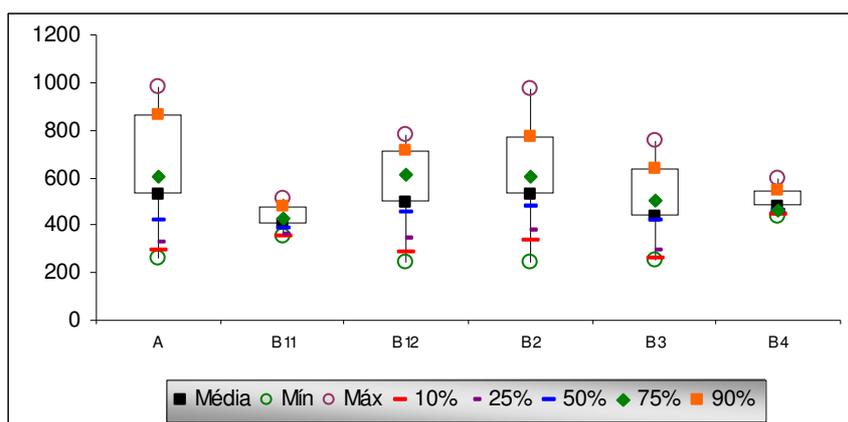


Figura 5.11: Gráfico Box-Wiskers da DQO afluyente

De acordo com a figura 5.11 observa-se que as médias do afluyente encontram-se em uma faixa entre 406 – 531 mg/l, não sofrendo mudanças bruscas com a variação das vazões e fases (A e B).

A tabela 5.6 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações efluentes de DQO da Fase A e da Fase B e as respectivas eficiências de remoção percentual. A figura 5.12 ilustra os gráficos *Box and Wiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.6: Estatística descritiva das concentrações efluentes de DQO (mg/l)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	92	36	26	55	48	54
Mín	36	22	25	30	18	51
Máx	180	74	27	100	92	55
Mediana	88	31	27	50	50	55
DP	55	19	1	20	24	2
10%	37	23	25	35	19	52
25%	56	26	26	40	33	53
50%	88	31	27	50	50	55
75%	109	35	27	65	59	55
90%	135	55	27	84	72	55

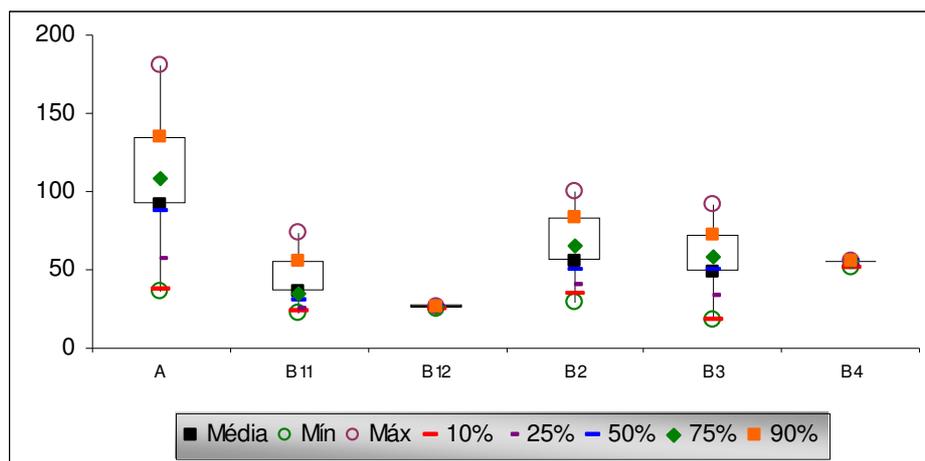


Figura 5.12: Gráfico *Box-Wiskers* da DQO efluente

Na figura 5.12 observa-se que as médias do efluente situam-se em uma faixa entre 26-92 mg/l. Apresenta-se na Fase A as maiores concentrações de DQO no efluente durante a pesquisa. Além disso, verifica-se uma melhoria no efluente na Fase B e, à medida que a vazão aumenta, as concentrações do efluente pioram, de modo que as Fases B11 e B12 apresentam menores concentrações.

A tabela 5.7 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às eficiências de DQO da Fase A e da Fase B. A figura 5.13 ilustra os gráficos *Box and Wiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.7: Estatística descritiva das Eficiências de DQO (%)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	80	91	93	88	88	89
Mín	69	79	89	71	79	88
Máx	94	96	97	97	96	91
Mediana	80	92	94	90	87	88
DP	10	6	4	7	7	1
10%	72	85	90	78	80	88
25%	79	91	92	85	83	88
50%	80	92	94	90	87	88
75%	87	93	96	92	93	88
90%	91	95	96	95	96	90

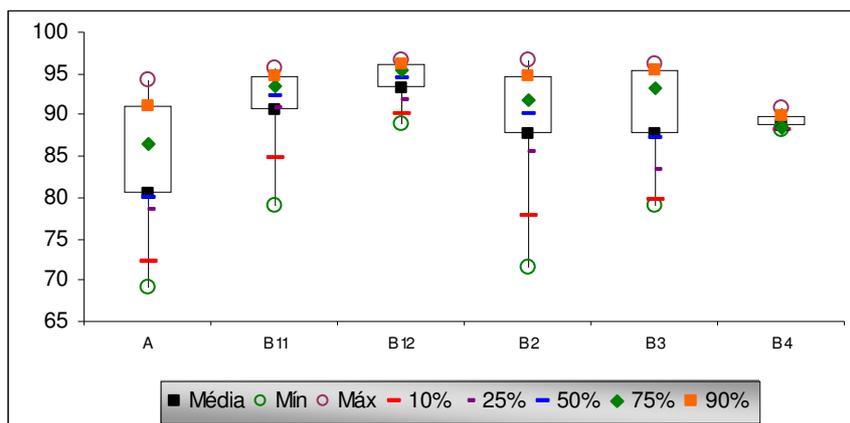


Figura 5.13: Gráfico *Box-Whiskers* das eficiências de DQO

Na figura 5.13 observa-se que as médias das eficiências para DQO se encontram em uma faixa entre 80-93 %, demonstrando as mesmas tendências da figura 5.12 (efluente de DQO).

Resumindo e analisando as tabelas e os gráficos anteriores, verifica-se que o efluente do processo:

- Na Fase A, apresenta concentração e eficiência médias para A de 92 mg/l e 80 %, respectivamente;

- Na Fase B, depende das vazões, de modo que:

- * Para B11 e B12 as concentrações efluente médias são de 36 mg/l, 26 mg/l respectivamente. As eficiências observadas foram equivalentes a 91% e 93%, respectivamente.

- * Para as vazões de B2, B3 e B4 observaram-se as seguintes concentrações médias efluente: 55 mg/l, 48 mg/l e 54 mg/l. A eficiência de remoção foi de 88%, 88% e 89% respectivamente.

Observa-se ainda que o percentil 75% das concentrações do afluente e efluente na Fase A foram inferiores a 604 mg/l e 109 mg/l, respectivamente. Adicionalmente verifica-se que 90% das concentrações afluente e efluente da Fase A foram inferiores a 862 mg/l e 135 mg/l, respectivamente.

Essa mesma análise foi realizada na Fase B, verificando-se que em 75% do tempo as concentrações do afluente e efluente foram inferiores a: 432 mg/l e 35 mg/l (B11); 615

mg/l e 27 mg/l (B12); 608 mg/l e 65 mg/l (B2); 502 mg/l e 59 mg/l (B3); e 462 mg/l e 55 mg/l (B4), respectivamente.

Observa-se ainda que em 90% do tempo as concentrações afluente e efluente foram inferiores a: 481 mg/l e 55 mg/l (B11); 715 mg/l e 27 mg/l (B12); 776 mg/l e 84 mg/l (B2); 640 mg/l e 72 mg/l (B3); e 544 mg/l e 56 mg/l (B4), respectivamente.

Ao se avaliarem os valores de P determinados para DQO afluente, DQO efluente e eficiência, com auxílio da prova de Kolmogorov (Anexo B.5), detecta-se que esses são superiores de 0,05. Essa observação permite a aceitação da hipótese nula, que ratifica a normalidade dos dados obtidos para cada vazão.

No anexo B.6 é apresentada a análise de variância para DQO no afluente, efluente e a eficiência. Esses valores, quando se encontram acima de 0,05, indicam diferenças inexpressivas, permitindo a aceitação da hipótese nula formulada no capítulo 4, item 4.5.6. Essa condição foi observada quando foram avaliados os afluentes e as eficiências, indicando que não existem diferenças significativas entre as médias (aceitação da hipótese nula). Já para os dados do efluente, em função dos pequenos valores determinados, torna-se adequada a hipótese alternativa, devido à diferença significativa das médias.

A partir dessa avaliação e com auxílio do anexo B.7a, tornou-se possível estabelecer as seguintes comparações em relação às concentrações:

- Fases B1 e B2: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B2.
- Fases B1 e B3: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B3.
- Fases B1 e B4: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B4.
- Fases B2 e B3: não é possível comparar, pois a concentração da Fase B2 é maior que a concentração da Fase B3.
- Fases B2 e B4: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B2 é menor que a concentração média na Fase B4.

- Fases B3 e B4: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B3 é menor que a concentração média na Fase B4.

No anexo B.7b, ao se compararem as eficiências obtidas nas diferentes fases, pode-se observar que, em nenhum dos casos, é possível afirmar que o aumento da vazão teve como consequência a redução de eficiência. Apesar das eficiências médias entre Fases B1 e B2; Fases B2 e B3; e Fases B3 e B4 serem diferentes, elas se tornam iguais quando comparados todos os valores obtidos.

A tabela 5.8 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações afluentes de DBO da Fase A e da Fase B. A figura 5.14 ilustra os gráficos *Box and Whiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.8: Estatística descritiva das concentrações afluentes de DBO (mg/l)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	168	145	227	215	155	205
Mín	75	123	119	74	82	135
Máx	429	165	283	398	249	277
Mediana	152	146	278	203	144	214
DP	80	15	93	84	54	58
10%	94	129	151	125	108	145
25%	127	137	198	148	126	159
50%	152	146	278	203	144	214
75%	175	152	280	259	174	240
90%	238	159	282	346	227	262

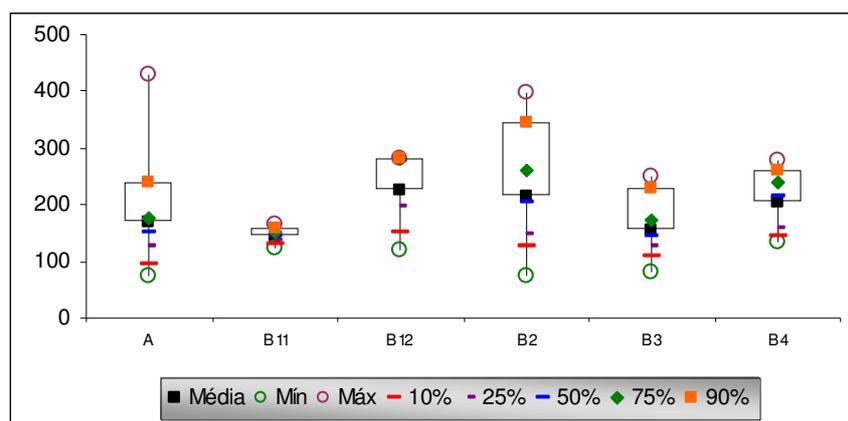


Figura 5.14: Gráfico *Box-Wiskers* da DBO afluente.

Segundo a figura 5.14, observa-se que as médias do afluente se encontram em uma faixa entre 227-145 mg/l, sofrendo mudanças leves com a variação das vazões e fases (A e B).

A tabela 5.9 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações efluentes de DBO da Fase A e da Fase B. A figura 5.15 ilustra os gráficos *Box and Whiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.9: Estatística descritiva das concentrações efluentes de DBO (mg/l)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	26	16	11	23	20	23
Mín	9	9	8	9	10	12
Máx	59	20	14	53	30	33
Mediana	21	16	10	18	18	24
DP	13	4	3	12	8	8
10%	13	12	8	11	11	15
25%	16	14	9	14	15	20
50%	21	16	10	18	18	24
75%	34	18	12	29	27	25
90%	43	19	13	43	28	30

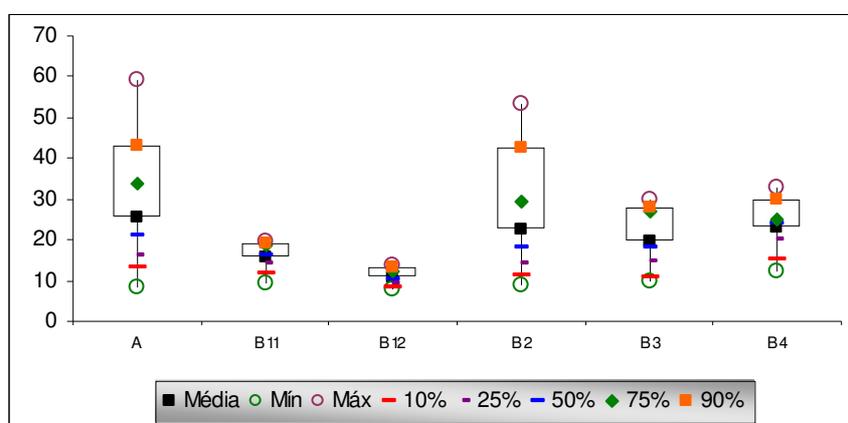


Figura 5.15: Gráfico *Box-Whiskers* da DBO efluente

Na figura 5.15, verifica-se que as médias do efluente se encontram em uma faixa entre 11-26 mg/l. Nas Fases A, B2, B3 e B4 apresentam-se as maiores concentrações de DBO no efluente. Em relação às Fases B11 e B12, são essas as que apresentam menores concentrações, o que não quer dizer que as outras fases apresentem bons resultados.

A tabela 5.10 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às eficiências de DBO da Fase A e da Fase B. A figura 5.16 ilustra os gráficos *Box and Whiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.10: Estatística descritiva das Eficiências de DBO (%)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	84	89	95	89	87	88
Mín	75	86	91	77	77	79
Máx	92	94	97	96	92	91
Mediana	84	88	95	90	88	91
DP	5	3	3	5	5	5
10%	77	86	92	81	82	83
25%	81	86	93	86	87	90
50%	84	88	95	90	88	91
75%	88	91	96	93	89	91
90%	90	93	97	95	91	91

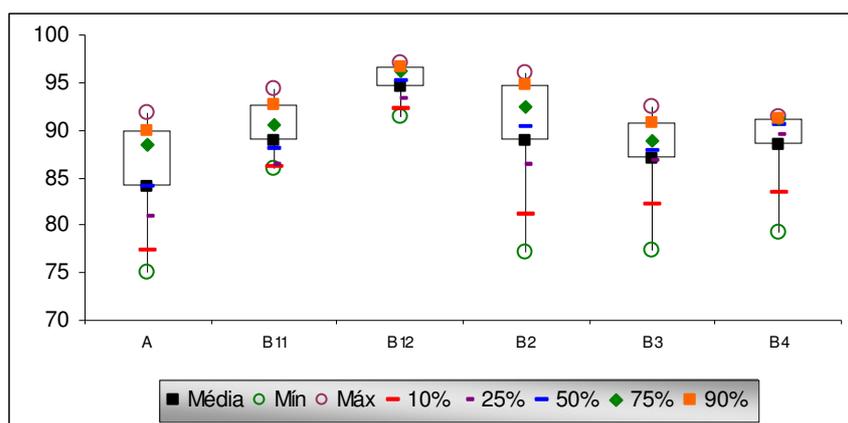


Figura 5.16: Gráfico *Box-Whiskers* das eficiências de DBO

Na figura 5.16 observa-se que as médias das eficiências para DBO se encontram em uma faixa entre 84-95 %. Nessa figura pode-se ilustrar melhor o comportamento da DBO durante as fases, verificando-se, na Fase B, que, à medida que a vazão aumenta, a eficiência do processo diminui.

Fazendo um resumo e analisando as tabelas e os gráficos anteriores, torna-se possível fazer as seguintes considerações sobre a DBO efluente do processo nas Fases A e B:

- Na Fase A, a concentração e eficiência médias para A é de 26 mg/l e 84 %, respectivamente;

- Na Fase B, dependendo das vazões, observa-se que:

* Para B11 e B12 as concentrações efluentes médias são de 16 mg/l, 11 mg/l respectivamente. As eficiências observadas foram equivalentes a 89% e 95%, respectivamente.

* Para as vazões de B2, B3 e B4 observaram-se as seguintes concentrações médias efluentes: 23 mg/l, 20 mg/l e 23 mg/l. A eficiência de remoção foi de 89%, 87% e 88% respectivamente.

Observa-se ainda, na Fase A, que o percentil 75% das concentrações do afluente e efluente para A foram inferiores a 175 mg/l e 34 mg/l, respectivamente. Já o percentil 90% das concentrações do afluente e efluente da mesma fase foram inferiores a 238 mg/l e 43 mg/l.

Essa mesma análise foi realizada na Fase B, tendo se verificado que em 75% do tempo as concentrações do afluente e efluente foram inferiores a: 152 mg/l e 18 mg/l (B11); 280 mg/l e 12 mg/l (B12); 259 mg/l e 29 mg/l (B2); 174 mg/l e 27 mg/l (B3); e 240 mg/l e 25 mg/l (B4), respectivamente.

Observa-se ainda que, em 90% do tempo, as concentrações afluente e efluente foram inferiores a: 159 mg/l e 19 mg/l (B11); 282 mg/l e 13 mg/l (B12); 346 mg/l e 43 mg/l (B2); 227 mg/l e 28 mg/l (B3); e 262 mg/l e 30 mg/l (B4), respectivamente.

Ao se avaliarem os valores de P determinados para DBO afluente, DBO efluente e eficiência, com auxílio da prova de Kolmogorov (anexo B.5), detecta-se que esses são superiores a 0,05. Essa observação permite a aceitação da hipótese nula, que ratifica a normalidade dos dados obtidos para cada vazão.

Ao se avaliar a variância para DBO no afluente, efluente e a eficiência (anexo B.6) podem-se verificar diferenças inexpressivas nas médias obtidas, permitindo a aceitação da hipótese nula formulada no capítulo 4, item 4.5.6.

As comparações entre as concentrações (anexo B.8a) possibilitam as seguintes observações:

- Fases B1 e B2: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B2.

- Fases B1 e B3: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B3.
- Fases B1 e B4: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B4.
- Fases B e C: não é possível comparar, pois a concentração da Fase B é maior que a concentração da Fase C.
- Fases B2 e B3: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B2 é menor que a concentração média na Fase B3.
- Fases B3 e B4: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B3 é menor do que a concentração média na Fase B4.

No anexo B.8b, ao se compararem as eficiências obtidas nas diferentes fases pode-se observar que, em nenhum dos casos, é possível afirmar que o aumento da vazão teve como consequência a redução de eficiência. Apesar das eficiências médias entre Fases B1 e B2; Fases B2 e B3; e Fases B3 e B4 serem diferentes, elas se tornam iguais quando comparados todos os valores obtidos.

A tabela 5.11 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações efluentes de DBOsol da Fase B. A figura 5.17 ilustra os gráficos *Box and Wiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.11: Estatística descritiva das concentrações efluentes de DBOsol Fase B

	Fase				
	B11	B12	B2	B3	B4
n	6	3	28	8	8
Média	6	6	10	10	17
Mín	3	4	3	4	8
Máx	14	8	18	22	27
Mediana	5	7	10	9	16
DP	4	2	5	6	7
10%	4	5	5	5	9
25%	5	6	7	7	11
50%	5	7	10	9	16
75%	6	8	13	10	22
90%	10	8	17	16	24

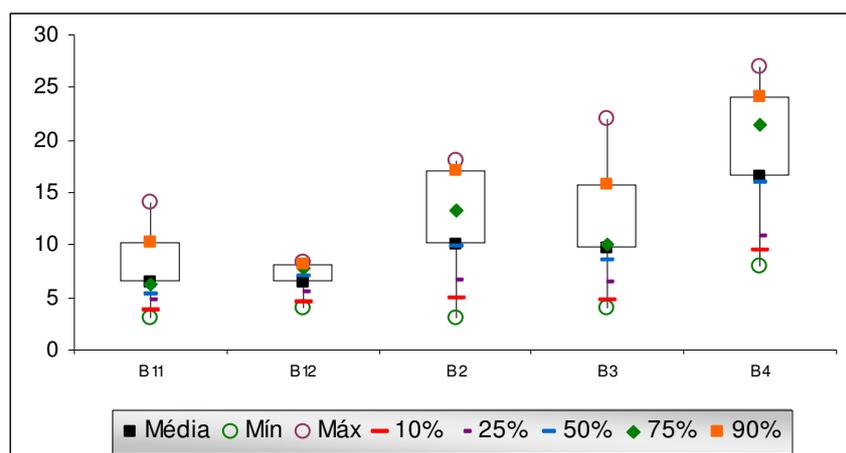


Figura 5.17: Gráfico *Box-Whiskers* da DBOsol Fase B efluente

Na figura 5.17, observa-se que as médias do efluente se encontram em uma faixa entre 6-17 mg/l. Apresenta-se um incremento leve entre as fases de B11 – B3 do DBOsol à medida que aumenta a vazão e um incremento superior para a Fase B4, provavelmente produzido porque o DBO afluente nessa fase estava com mais concentração que nas anteriores.

Fazendo um resumo e analisando as tabelas e os gráficos anteriores, verificou-se as seguintes concentrações de DBOsol efluente na Fase B: 6 mg/l (B11); 6 mg/l (B12); 10 mg/l (B2); 10 mg/l (B3); e 17 mg/l (B4).

Observa-se ainda que o percentil 75% das concentrações efluentes para a Fase B foram inferiores a 6 mg/l (B11); 8 mg/l (B12); 13 mg/l (B2); 10 mg/l (B3); e 22 mg/l (B4). Adicionalmente verifica-se que para 90% das análises as concentrações efluentes foram inferiores a: 10 mg/l (B11); 8 mg/l (B12); 17 mg/l (B2); 16 mg/l (B3); e 24 mg/l (B4).

Tornou-se possível ainda determinar o coeficiente x, equivalente a 0,38, obtendo assim a seguinte equação da DBO efluente para Fase B: $DBO\ efluente = 0,38.SST + DBOsol$

De acordo com as provas T-Student, as comparações entre as concentrações na Fase B (anexo B.12a) conduzem às seguintes observações:

- Fases B1 e B2: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B1 é menor do que a concentração média na Fase B2.
- Fases B1 e B3: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B3.

- Fases B1 e B4: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B4.
- Fases B2 e B3: não é possível comparar, pois a concentração da Fase B2 é maior que a concentração da Fase B3.
- Fases B2 e B4: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B2 é menor que a concentração média na Fase B4.
- Fases B3 e B4: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B3 é menor do que a concentração média na Fase B4.

No anexo B.9, ao se compararem as eficiências obtidas nas diferentes fases pode-se observar que, em nenhum dos casos, é possível afirmar que o aumento da vazão teve como consequência a redução de eficiência. Apesar das eficiências médias entre Fases B1 e B2; Fases B2 e B3; e Fases B3 e B4 serem diferentes, elas se tornam iguais quando comparados todos os valores obtidos.

A tabela 5.12 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações afluentes de SST da Fase A e da Fase B. A figura 5.18 ilustra os gráficos *Box and Wiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.12: Estatística descritiva das concentrações afluentes de SST (mg/l)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	385	427	443	386	349	328
Mín	194	315	236	116	203	250
Máx	645	595	668	672	564	498
Mediana	357	404	426	352	346	280
DP	136	100	217	175	134	101
10%	231	337	274	228	216	258
25%	280	366	331	267	225	270
50%	357	404	426	352	346	280
75%	511	468	547	482	411	340
90%	582	540	620	582	525	435

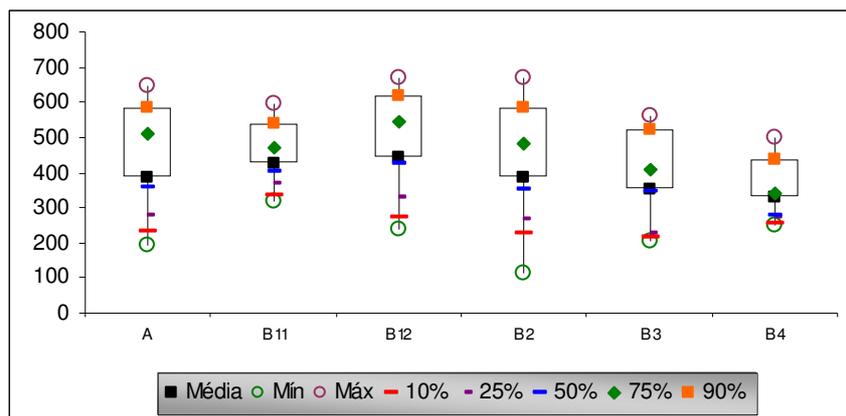


Figura 5.18: Gráfico *Box-Wiskers* da SST afluente

Segundo a figura 5.18, observa-se que as médias do afluente se encontram em uma faixa entre 328-427 mg/l, sofrendo mudanças leves para as Fases A, B11, B12, B2; em relação às vazões B3 e B4, nota-se que as concentrações diminuem, o que pode ser motivado pelo efeito da concentração do afluente na entrada.

A tabela 5.13 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às concentrações efluentes de SST da Fase A e da Fase B. A figura 5.19 ilustra os gráficos *Box and Wiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.13: Estatística descritiva das concentrações efluentes de SST (mg/l)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	33	9	28	35	35	28
Mín	8	3	21	4	20	13
Máx	74	19	36	54	57	45
Mediana	30	7	27	38	33	20
DP	18	6	8	11	11	15
10%	16	4	22	23	25	16
25%	18	5	24	31	31	20
50%	30	7	27	38	33	20
75%	46	13	32	43	37	44
90%	58	17	34	46	47	45

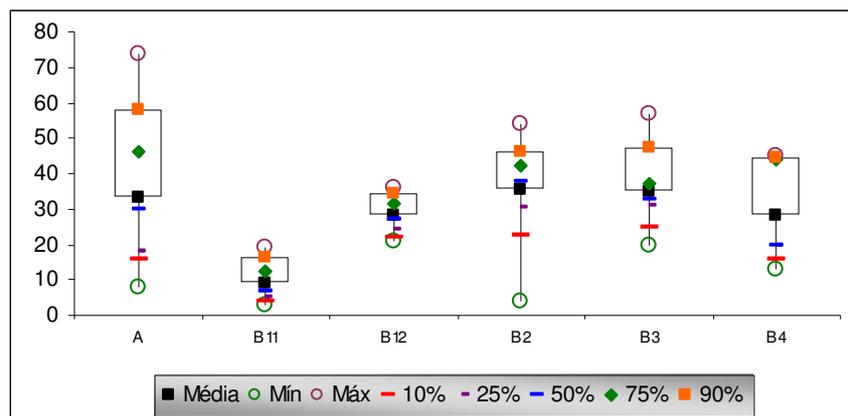


Figura 5.19: Gráfico *Box-Wiskers* da SST efluente

Segundo a figura 5.19, observa-se que as médias do efluente se situam em uma faixa entre 9-35 mg/l. Apresentam-se melhores efluentes na Fase B com relação da Fase A, mais também se nota que, conforme se aumenta a vazão nessa fase o efluente sofre diminuição.

A tabela 5.14 apresenta um resumo da estatística descritiva referente às eficiências de SST da Fase A e da Fase B. A figura 5.20 ilustra os gráficos *Box and Wiskers* dos resultados da tabela anterior.

Tabela 5.14: Estatística descritiva das Eficiências de SST (%)

	FASE					
	A	B11	B12	B2	B3	B4
n	21	6	3	28	8	5
Média	89	98	93	89	88	91
Mín	79	95	89	72	82	82
Máx	95	99	95	99	96	96
Mediana	90	98	95	89	87	93
DP	4	2	4	6	5	6
10%	87	96	90	80	84	84
25%	89	97	92	85	84	87
50%	90	98	95	89	87	93
75%	91	99	95	93	92	95
90%	93	99	95	96	95	96

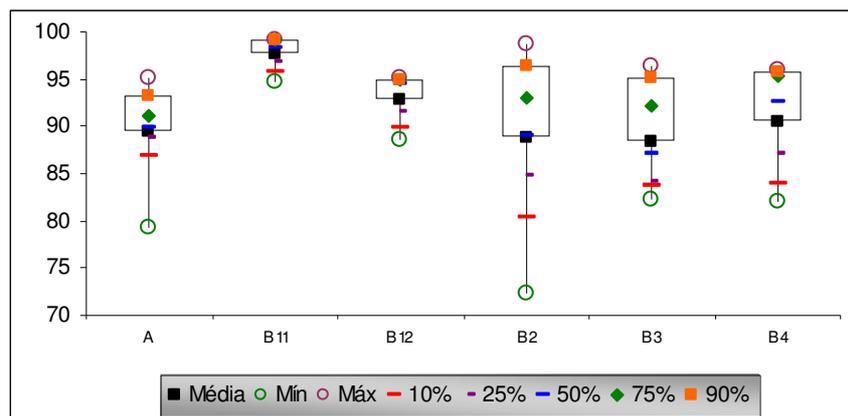


Figura 5.20: Gráfico *Box-Whiskers* das eficiências de SST

Na figura 5.20 verifica-se que as médias das eficiências para SST se encontram em uma faixa entre 88-98 %. Têm-se melhores eficiências na Fase B como se havia observado na figura 5.19 (efluentes) e verifica-se que, à medida que aumenta a vazão, a eficiência de remoção de SST diminui.

Fazendo um resumo e analisando as tabelas e os gráficos anteriores, verificou-se que o efluente do processo para a Fase A e Fase B apresentou as seguintes características:

- Na Fase A, a concentração e eficiência médias para A é de 33 mg/l e 89 %, respectivamente;

- Na Fase B, dependendo das vazões, observa-se que:

- * Para B11 e B12 as concentrações efluente médias são de 9 mg/l, 28 mg/l respectivamente. As eficiências observadas foram equivalentes a 98% e 93%, respectivamente.

- * Para as vazões de B2, B3 e B4 observaram-se as seguintes concentrações médias efluente: 35 mg/l, 35 mg/l e 28 mg/l. A eficiência de remoção foi de 89%, 88% e 91% respectivamente.

Observa-se também, na Fase A, que o percentil 75% das concentrações do afluente e efluente para A foram inferiores a 511 mg/l e 46 mg/l, respectivamente. Já o percentil 90% das concentrações do afluente e efluente da mesma fase foram inferiores a 582 mg/l e 58 mg/l.

Essa mesma análise foi realizada na Fase B, tendo se verificado que, em 75% do tempo, as concentrações do afluente e efluente foram inferiores a: 468 mg/l e 13 mg/l (B11); 547 mg/l e 32 mg/l (B12); 482 mg/l e 43 mg/l (B2); 411 mg/l e 37 mg/l (B3); e 340 mg/l e 44 mg/l (B4), respectivamente.

Observa-se ainda que em 90% do tempo as concentrações afluente e efluente foram inferiores a: 540 mg/l e 17 mg/l (B11); 620 mg/l e 34 mg/l (B12); 582 mg/l e 46 mg/l (B2); 525 mg/l e 47 mg/l (B3); e 435 mg/l e 45 mg/l (B4), respectivamente.

Ao se avaliarem os valores de P determinados para SST afluente, SST efluente e eficiência de remoção, com auxílio da prova de Kolmogorov (Anexo B.5), detecta-se que esses são superiores a 0,05. Essa observação permite a aceitação da hipótese nula, que ratifica a normalidade dos dados obtidos para cada vazão.

Ao se avaliar a variância para SST no afluente, efluente e a eficiência (Anexo B.6) podem-se verificar diferenças inexpressivas para as médias relativas à concentração de SST afluente, permitindo a aceitação da hipótese nula formulada no capítulo 4, item 4.5.6. Já para os valores efluentes e de eficiência torna-se adequada a hipótese alternativa, devido à diferença significativa das médias determinadas.

Com os dados apresentados no anexo B.10a, tornou-se possível comparar as concentrações efluentes:

- Fases B1 e B2: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B2.
- Fases B1 e B3: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor do que a concentração média na Fase B3.
- Fases B1 e B4: afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na Fase B1 é menor que a concentração média na Fase B4.
- Fases B2 e B3: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B2 é menor que a concentração média na Fase B3.
- Fases B2 e B4: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B2 é menor que a concentração média na Fase B4.
- Fases B3 e B4: não se pode afirmar que a concentração média final na Fase B3 é menor que a concentração média na Fase B4.

No anexo B.10b as comparações entre as eficiências das fases indicam que, em nenhum dos casos, pode-se afirmar que o aumento da vazão teve como consequência a redução de eficiência. Apesar das eficiências médias entre as Fases B1 e B2; Fases B2 e B3; e Fases B3 e B4 serem diferentes, elas se tornam iguais quando comparados todos os valores obtidos.

As figuras 5.21 até 5.23 ilustram a porcentagem de remoção média, 75% e 90% para DQO, DBO e SST, considerando cada vazão usada nesta pesquisa.

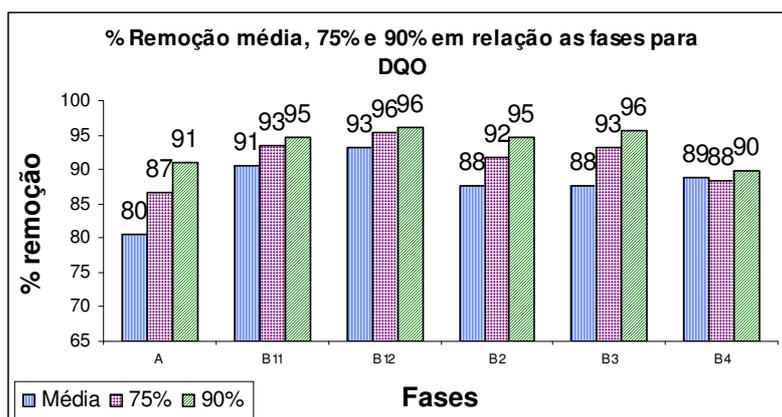


Figura 5.21: Porcentagem de Remoção média, 75% e 90% em relação às fases para DQO

Segundo a figura 5.21, observa-se que, segundo os valores médios das Fases A e B, a Fase B apresenta melhores resultados de remoção, sendo que as porcentagens de remoção para as Fases B2, B3 e B4 permanecem constantes. O mesmo ocorre para a remoção de 75% e 90%, só que a remoção permanece constante na Fase B, exceto na Fase B4, na qual sofre uma diminuição mais notável.

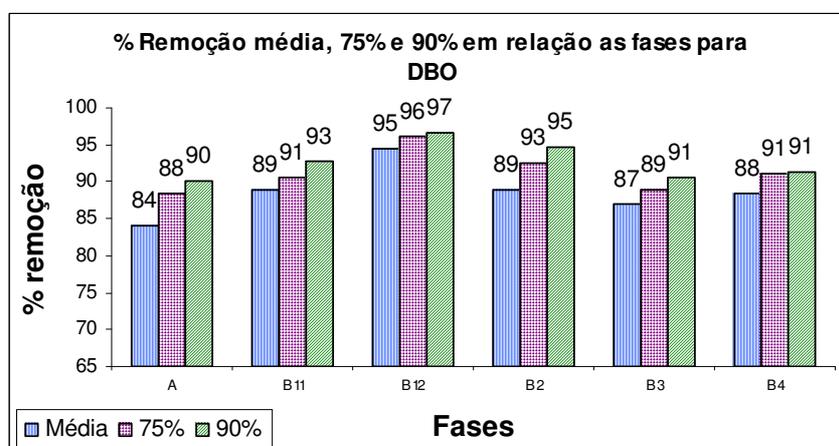


Figura 5.22: Porcentagem de Remoção média, 75% e 90% em relação às fases para DBO

Segundo a figura 5.22, percebe-se que, segundo os valores médios, 75% e 90% das Fases A e B, a Fase B apresenta melhores resultados de remoção, sendo que as porcentagens de remoção para os valores médios da Fase B permanecem constantes, exceto a Fase B12, que é superior em relação às outras; os valores de 75% sofrem um incremento em remoção na Fase B11 e B12 e, a partir da Fase B2, começa a diminuir sua eficiência, situação muito similar a que ocorre com a porcentagem de remoção para 90%.

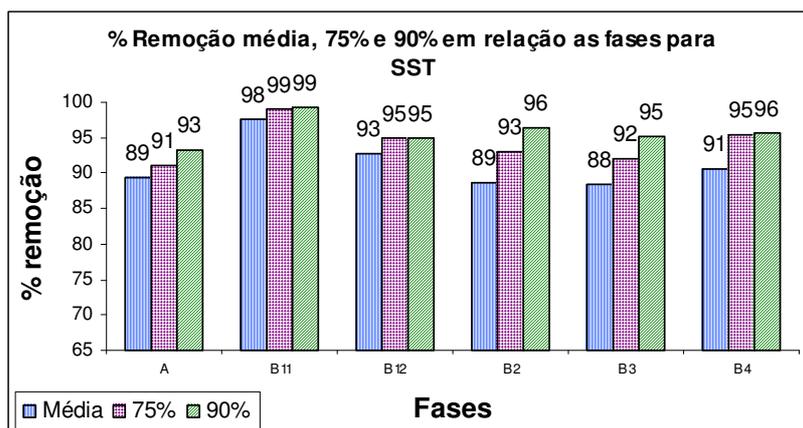


Figura 5.23: Porcentagem de Remoção média, 75% e 90% em relação às fases para SST

Segundo a figura 5.23, observa-se que, conforme os valores médios, 75% e 90% das Fases A e B, a Fase B apresenta melhores resultados de remoção, sendo que as porcentagens de remoção para os valores médios da Fase B diminuem à medida que a vazão aumenta, apresentando-se assim um incremento na eficiência na Fase B4; as porcentagens de remoção para 75 e 90% apresentam os mesmos comportamentos.

A tabela 5.15 apresenta o resumo estatístico das concentrações médias de DQO e DBO afluente e efluente do processo de lodos ativados com as diferentes vazões utilizadas nessa pesquisa. No anexo B.12 encontram-se todos os dados que originaram esses resultados.

Tabela 5.15: Resumo de concentrações de DQO e DBO afluentes e efluentes com MBBR (mg/l)

		FASE					
		A	B11	B12	B2	B3	B4
DQO afluente	n	21	6	3	28	8	5
	Média	531	406	491	527	434	482
	Mín	264	349	243	245	254	434
	Máx	981	516	781	973	755	599
	Mediana	420	386	449	477	419	462
DQO efluente	n	21	6	3	28	8	5
	Média	92	36	26	55	48	54
	Mín	36	22	25	30	18	51
	Máx	180	74	27	100	92	55
	Mediana	88	31	27	50	50	55
DBO afluente	n	21	6	3	28	8	5
	Média	168	145	227	215	155	205
	Mín	75	123	119	74	82	135
	Máx	429	165	283	398	249	277
	Mediana	152	146	278	203	144	214
DBO efluente	n	21	6	3	28	8	5
	Média	26	16	11	23	20	23
	Mín	9	9	8	9	10	12
	Máx	59	20	14	53	30	33
	Mediana	21	16	10	18	18	24

Na tabela 5.16 é apresentado o valor médio do coeficiente x para cada vazão utilizada na Fase B, importante na relação $DBO_{\text{efluente}} = x \cdot SST + DBO_{\text{solúvel}}$. No anexo B.13 encontra-se a tabela de cálculo desse fator para cada dia de operação. Destaca-se a importância desse dado, uma vez que permite a formulação da equação representativa do tratamento, como foi apresentado no item 1.1.1.3.

Tabela 5.16: Cálculo da média do coeficiente x para cada vazão da Fase B

Fase	x (média)
Fase B12	0,41
Fase B2	0,40
Fase B3	0,31
Fase B4	0,39
Média	0,38

A figura 5.24 mostra a série temporal desse coeficiente no decorrer da Fase II.

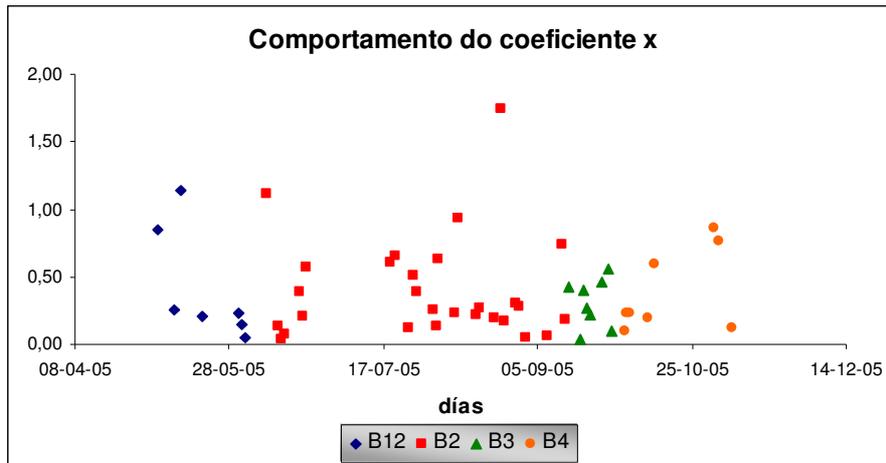


Figura 5.24: Série Temporal para coeficiente x - Fase B

As figuras 5.25 a 5.28 relacionam a Taxa de aplicação Orgânica (DQO e DBO) à concentração efluente e à remoção de suas concentrações, sempre utilizando a tecnologia MBBR.

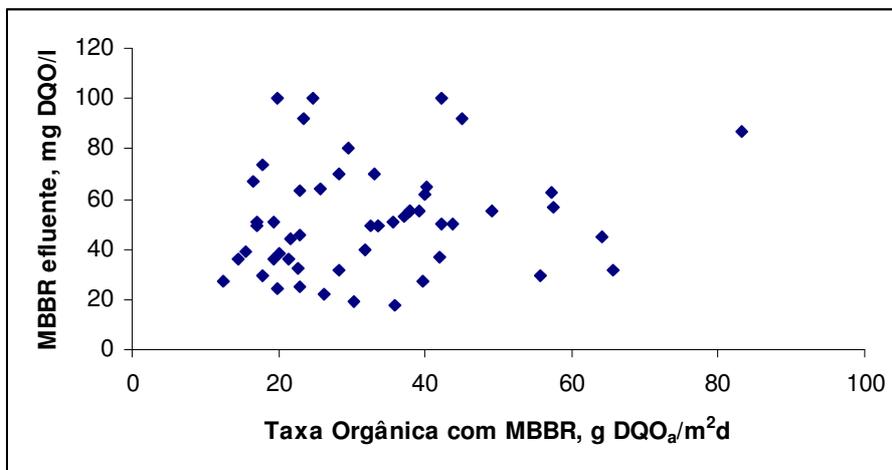


Figura 5.25: Concentração afluente (mg DQO/l) Vs Taxa de aplicação Orgânica utilizando MBBR (g DQO_a/m²d)

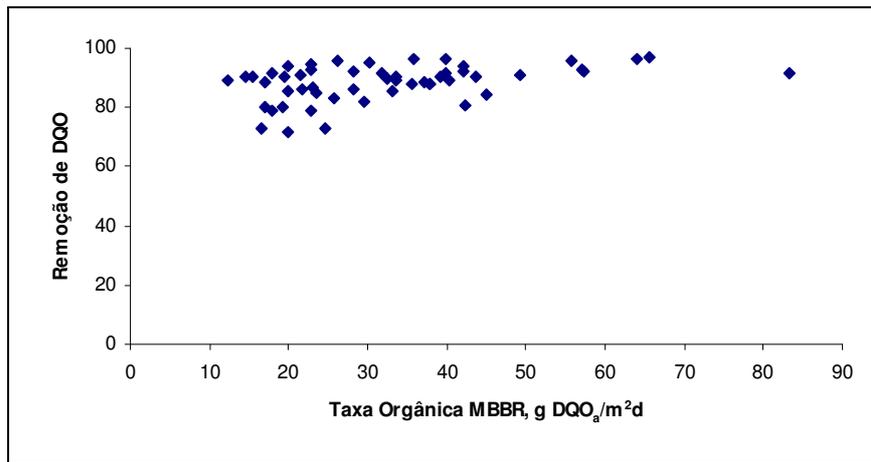


Figura 5.26: Remoção de DQO (%) Vs Taxa de aplicação Orgânica com MBBR (g DQO_a/m²d)

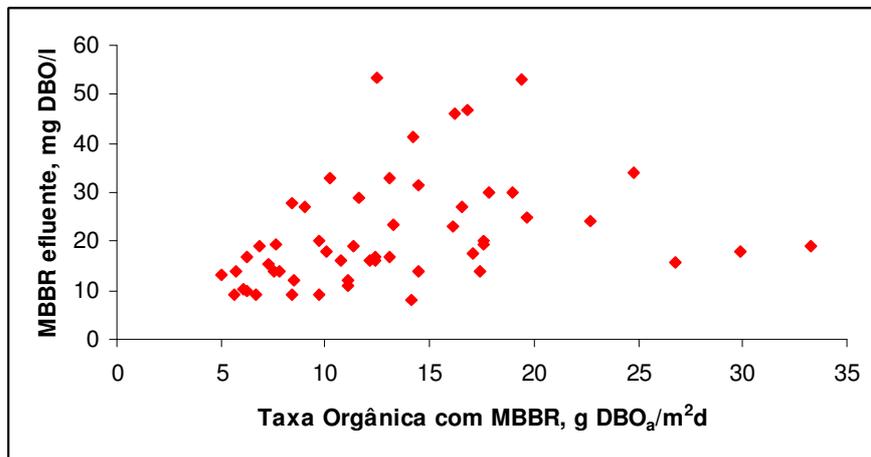


Figura 5.27: Concentração efluente (mg DBO/l) Vs Taxa de aplicação Orgânica, utilizando o MBBR, (g DBO_a/m²d)

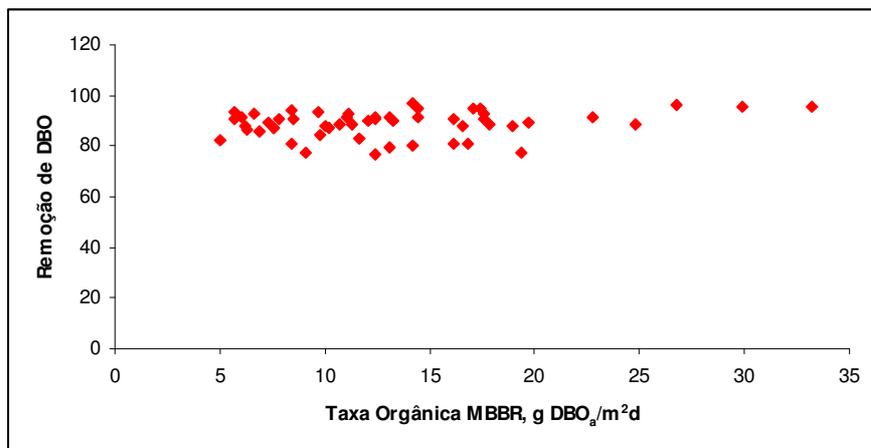
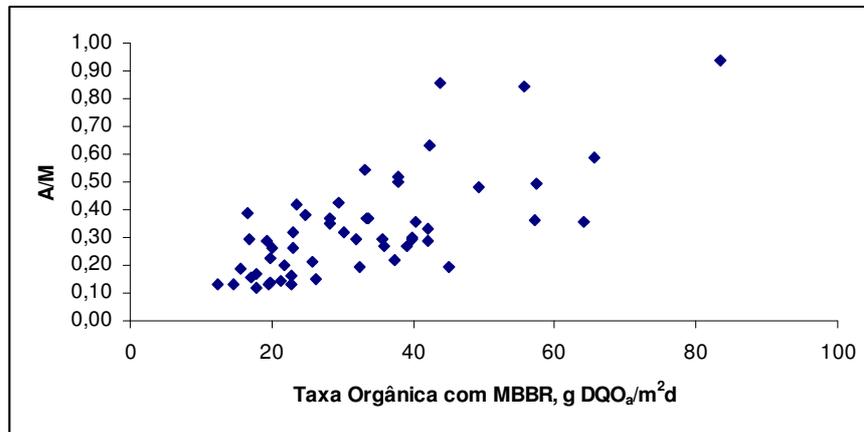


Figura 5.28: Remoção de DBO (%) Vs Taxa de aplicação Orgânica com MBBR (g DBO_a/m²d)

As figuras 5.25 até 5.28 ilustram a relação entre a Taxa de aplicação orgânica (DQO e DBO) do afluente por área específica da peça (MBBR) com: (a) eficiência do processo e; (b) efluente com MBBR. Ao se analisarem essas figuras com o auxílio da tabela 5.15 pode-se verificar uma DQO efluente média entre 36-55 mg/l e para DBO efluente entre 11-23 mg/l, no que concerne à Fase B. Observa-se ainda uma grande dispersão dos resultados com o aumento das taxas de aplicação orgânica (g DQO ou DBO/m²d). Ainda assim o desempenho da unidade mantém-se praticamente igual, de 88% para DQO e 89% para DBO, mesmo com o aumento da carga orgânica relativo à área específica das peças.

As figuras 5.29 a 5.32 relacionam a Taxa de aplicação Orgânica (DQO e DBO) à A/M e à eficiência de remoção de suas concentrações, sempre utilizando a tecnologia



MBBR.

Figura 5.29: A/M Vs Taxa de aplicação Orgânica com MBBR (g DQO_a/m²d)

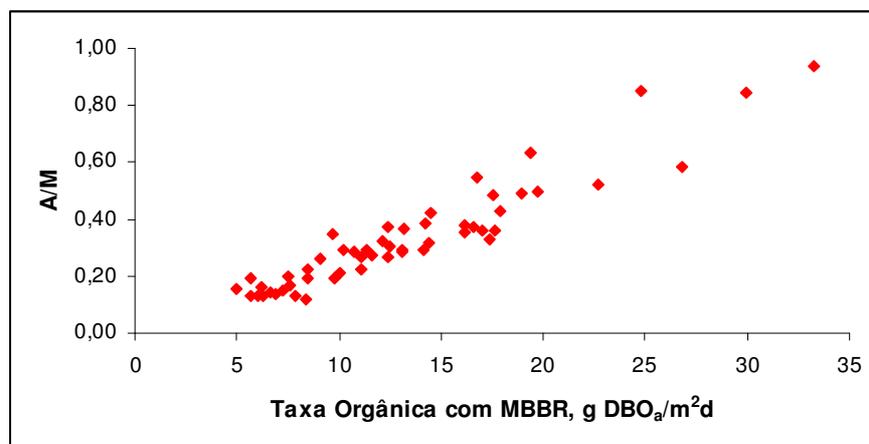


Figura 5.30: A/M Vs Taxa de aplicação Orgânica com MBBR (g DBO_a/m²d)

Nos gráficos anteriores observa-se que, à medida que a Taxa de aplicação orgânica aumenta, a relação A/M também aumenta proporcionalmente, o que é natural acontecer, já que existe uma relação entre A/M e as Taxas de aplicação Orgânica, pois A/M é proporcional à carga orgânica ($Q \cdot DBO$). Além disso, observa-se, em ambos os gráficos, que suas dispersões são similares.

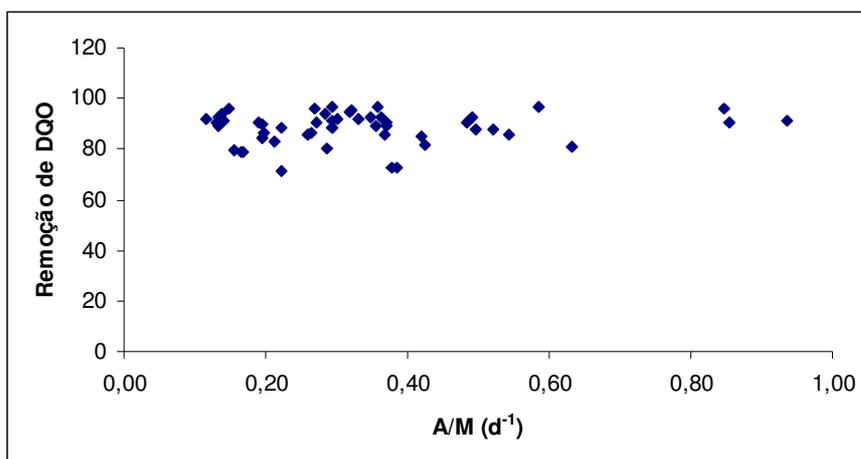


Figura 5.31: A/M Vs Remoção de DQO

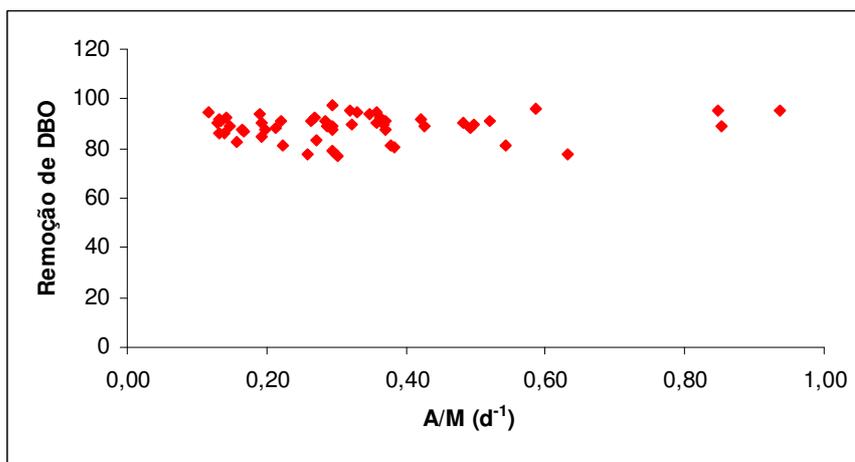


Figura 5.32: A/M Vs Remoção de DBO

Os gráficos anteriores ilustram que a eficiência de remoção de DQO e DBO efetivamente depende da relação A/M nos sistemas de lodos ativados, o que mostra que, com o uso do MBBR, foi possível manter a mesma eficiência com relações A/M crescentes desde 0,20 a 1,00 d^{-1} .

No anexo B.5 é apresentada a prova de Kolmogorov para DQO, DBO e SST no afluente, no efluente e para a eficiência, identificando-se a normalidade das amostras para as diferentes vazões. No anexo B.6 é apresentada a análise de variância para DQO, DBO e SST no afluente, no efluente e para a eficiência.

Nos anexos B.7a até B.10b apresentam-se as provas realizadas utilizando como ferramenta o *T-student* para as concentrações e as eficiências. Essa etapa teve por objetivo avaliar qual a vazão que apresenta melhor comportamento no processo estudado para tratamento de esgotos domésticos.

5.1.2 Discussão complementar dos resultados anteriores

Considerando as informações anteriores verificou-se que valores médios de concentração afluyente (DQO, DBO e SST) não se alteraram sensivelmente com a mudança de fase. Observou-se também uma elevada oscilação das concentrações em torno da média, que pode ser identificada pelos máximos, mínimos e pelo desvio padrão (DP). Essas oscilações mostraram-se mais elevadas para as Fases A e B2, no caso da DQO e DBO, e na Fase B2, no caso dos SST.

Quando avaliado o efluente do processo observou-se que a média da DQO na Fase A foi mais elevada, assim como seu desvio padrão. Com o aumento de vazão da Fase B, verificou-se pouca variação das concentrações médias de DQO. Em relação à DBO os resultados apresentaram concentrações médias similares, independente da fase. Nesse caso o desvio padrão apresentou-se mais elevado para as Fases A e B2. A concentração média de SST mostrou-se reduzida para a Fase B11. Já para as demais vazões estudadas os resultados foram muito similares, com um pequeno desvio padrão.

Quanto aos gráficos que apresentam as eficiências médias pode-se considerar que a remoção de DQO foi maior na Fase B que na Fase A; sendo que a média da eficiência na Fase B diminui à medida que a vazão aumenta. O mesmo foi observado na eficiência média de remoção de DBO e SST. Pode-se observar que, para a DQO e a DBO, as variações dos resultados aumentavam da Fase B11 para a Fase B12, sendo essa fase a de maior porcentagem de eficiência na pesquisa; no entanto, ela começa a diminuir, tão logo a vazão aumente; esse fenômeno pode ter sido causado pelo aumento da porcentagem de peças dentro do reator. Já para SST a Fase B11 é a que apresenta maior eficiência, diminuindo à medida que a vazão aumenta.

Levando-se em consideração as concentrações médias de DBO e SST na prova de *T-student*, afirma-se que o melhor comportamento entre as vazões encontra-se na Fase B1 (B11 e B12), seguido pela Fase B2 e logo B4, cujos comportamentos foram similares e indicaram que seus efluentes apresentaram menores concentrações médias que as da fase B3. Em relação às concentrações de DQO afirma-se que o

melhor comportamento encontra-se igualmente na Fase B1, seguido pelas Fases B2 e B3.

Comparados os resultados desse trabalho com aqueles determinados na Noruega, pode-se observar que: as médias de remoção de DQO dessa pesquisa encontram-se na faixa de 88-93%, similares aos encontrados na literatura (89 – 97,5%). Quando analisadas as eficiências da DBO, os resultados obtidos situam-se na faixa entre 87-94%; nesse caso encontra-se em uma faixa inferior àquela apresentada na literatura (97,7-98,8%), com a diferença que a DBO achada é de 7 dias. Esses resultados podem ter ocorrido devido ao fato que nessa pesquisa só foram utilizados 20% do volume do reator e nas pesquisas consultadas utilizavam-se 70%, contando com maior área de superfície de contato para a criação de microorganismos.

O coeficiente x , que relaciona DBO com SST, obtido para a Fase B é equivalente a 0,38, encontrando-se na faixa de valores usuais de literatura.

Com o uso da tecnologia MBBR é possível manter a mesma eficiência com relações A/M crescentes desde 0,20 a 1,00 d-1, indicando que essa tecnologia permite manter as eficiências com o aumento das vazões e que a relação das taxas de aplicação orgânica com A/M aumenta proporcionalmente.

Pode-se concluir nessa pesquisa que o crescimento da relação A/M foi de, aproximadamente, 5 vezes, e a vazão de 2,5 vezes, mantendo-se a mesma eficiência, o que significa grande economia no dimensionamento do tanque de aeração.

5.2 Sólidos em Suspensão Totais e Voláteis no Tanque de Aeração

5.2.1 Apresentação de resultados

Na tabela 5.17a e 5.17b apresentam-se os valores obtidos nessa pesquisa para Sólidos em Suspensão Totais e Voláteis dentro do tanque de aeração para cada fase operacional e suas respectivas vazões.

Tabela 5.17a: Resultados Médios de sólidos em suspensão (mg/l)
no tanque de aeração - Fase A

	Sólidos em Suspensão	
	Totais	Voláteis
Fase A''		
Média	3157	2003
Fase A		
Média	3071	1769

Tabela 5.17b: Resultados Médios de sólidos em suspensão (mg/l) no tanque de aeração - Fase B

	Sólidos em Suspensão		Suspensão equivalente	
	Totais	Voláteis	Totais	Voláteis
Fase B11				
Média	1189	680	3165	2655
Fase B12				
Média	1937	1092	3136	2291
Fase B2				
Média	1350	791	2549	1990
Fase B3				
Média	1313	790	2512	1990
Fase B4				
Média	1107	1909	2307	1909

Na tabela 5.17b observa-se que existem os sólidos de suspensão equivalente, os quais consideram os sólidos em suspensão existentes no tanque de aeração e os sólidos em suspensão aderidos às peças. No item 4.4 explica-se como se calcula o ensaio para achar a quantidade de massa aderida dentro da peça.

O conteúdo da tabela 5.18 apresenta o cálculo dos Sólidos em Suspensão Totais médios para a Fase B. Mostra-se que, para seu cálculo, é necessário achar o valor da massa total de sólidos em suspensão existente dentro do tanque de aeração, que não é mais que a soma das massas de sólidos dentro do tanque e as massas de sólidos dentro das peças. No item 4.4 explica-se como foi calculada essa tabela.

Tabela 5.18: Cálculo da massa de sólidos em suspensão no tanque de aeração

Fase	SST aderidos (g/peça)	Área de contato da peça (m ²)	g SS / m ²	No Peça	Massa aderida (g)	SSTA (mg/l)	Massa em suspensão (g)	Massa Total (g)	SST equivalentes (mg/l)
B11	0,3036	0,02220	13,68	40000	12143,93	1189	24085,35	36229,28	1789
B12	0,3036	0,02220	13,68	80000	24287,87	1937	39217,50	63505,37	3136
B2	0,3036	0,02220	13,68	80000	24287,87	1350	27330,99	51618,86	2549
B3	0,3036	0,02220	13,68	80000	24287,87	1313	26585,72	50873,59	2512
B4	0,3036	0,02220	13,68	80000	24287,87	1107	22424,34	46712,21	2307

* Média de 4 determinações, item 4.4.

As figuras 5.33 e 5.34 ilustram a diferença entre os sólidos de suspensão (Totais e Voláteis) e os sólidos equivalentes no tanque de aeração devido ao uso da tecnologia MBBR. Admitiu-se nesse cálculo que a biomassa aderida às peças se manteve igual ao longo de toda a pesquisa. Esse acréscimo de biomassa proporcionado pelo emprego do MBBR foi considerado no cálculo de todos os parâmetros da Fase B.

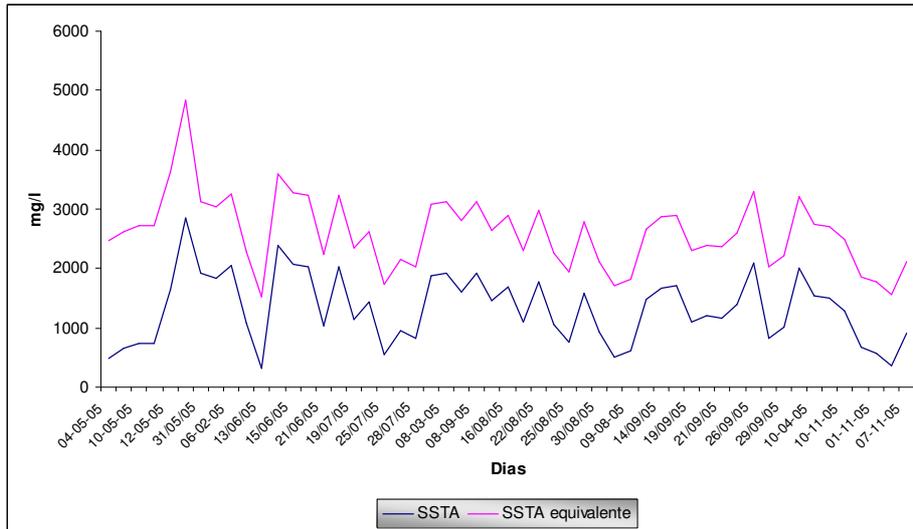


Figura 5.33: Comparação entre SST e SST equivalente no tanque de aeração com MBBR

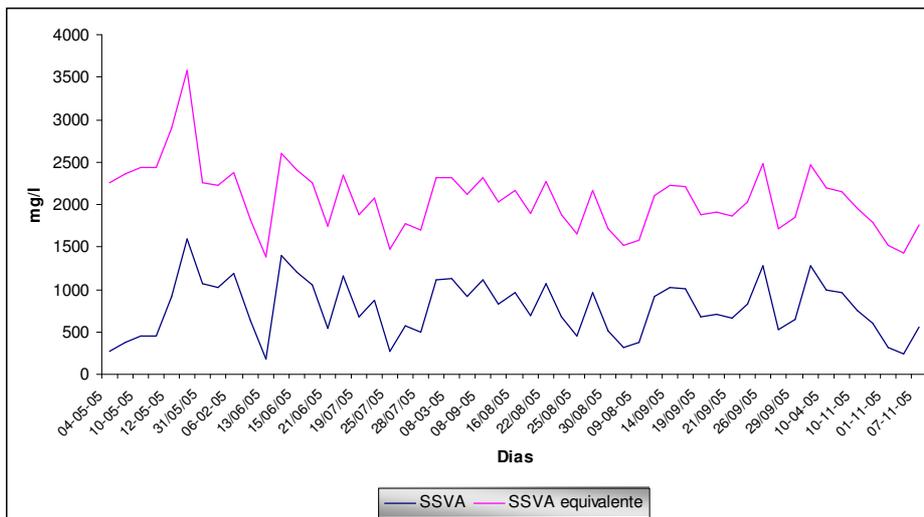


Figura 5.34: Comparação entre SSV e SSV equivalente no tanque de aeração com MBBR

5.2.2 Discussão de resultados

É possível visualizar, tanto na tabela 5.17b como nas figuras 5.33 e 5.34, que a massa de sólidos em suspensão aumenta no tanque de aeração com o uso da tecnologia MBBR, por causa do acúmulo de biomassa no interior das peças inseridas no reator. A quantidade de sólidos observados no meio suporte não varia, independente da fase operacional. Os valores de SST e SSV obtidos na Fase B dessa pesquisa estão apresentados no Anexo B.14.

5.3 Determinação de Parâmetros do Tanque de Aeração (A/M, Td, IVL, IL e OD)

5.3.1 Apresentação de resultados

O presente item apresenta a determinação dos parâmetros calculados para o tanque de aeração. Destaca-se que, nos cálculos procedidos para a Fase B, quando foi aplicada a tecnologia MBBR, foram utilizados os sólidos de suspensão equivalentes. Já o cálculo do IVL considerou duas condições: utilização dos SS no tanque de aeração e utilização dos sólidos do tanque acrescidos dos sólidos equivalentes (IVL equivalente).

Na tabela 5.19 apresentam-se os valores médios de A/M, IVL e IVL equivalente para as Fases A e B. Os detalhamentos desses valores encontram-se no anexo B.15 e B.16. Na figura 5.35 apresenta-se a série temporal de IVL nas Fases A e B.

Tabela 5.19: Valores Médios de IVL, A/M e A/M equivalente das Fases A e B

Día	IVL	A/M	A/M equivalente
Fase A"			
Média	56	0,14	
Fase A			
Média	36	0,16	
Fase B11			
Média	100	0,73	0,14
Fase B12			
Média	33	0,52	0,25
Fase B2			
Média	56	0,98	0,33
Fase B3			
Média	40	0,78	0,29
Fase B4			
Média	85	1,00	0,40

Essa tabela indica que o IVL, tanto na Fase A como na Fase B, apresenta resultados de acordo com o indicado pela literatura. A boa qualidade dos flocos produzidos no tanque de aeração favorecem à etapa de decantação do processo MBBR. Já na figura 5.35 pode-se observar que o IVL não varia muito ao longo do tempo, mesmo em condições de mudança das vazões e das Fases. Também se pode notar, na tabela 5.19, que os valores médios do A/M na Fase B são superiores aos resultados do A/M equivalente, o que indica a existência de mais microrganismos dentro do tanque de aeração, facilitando o aumento da vazão do afluente.

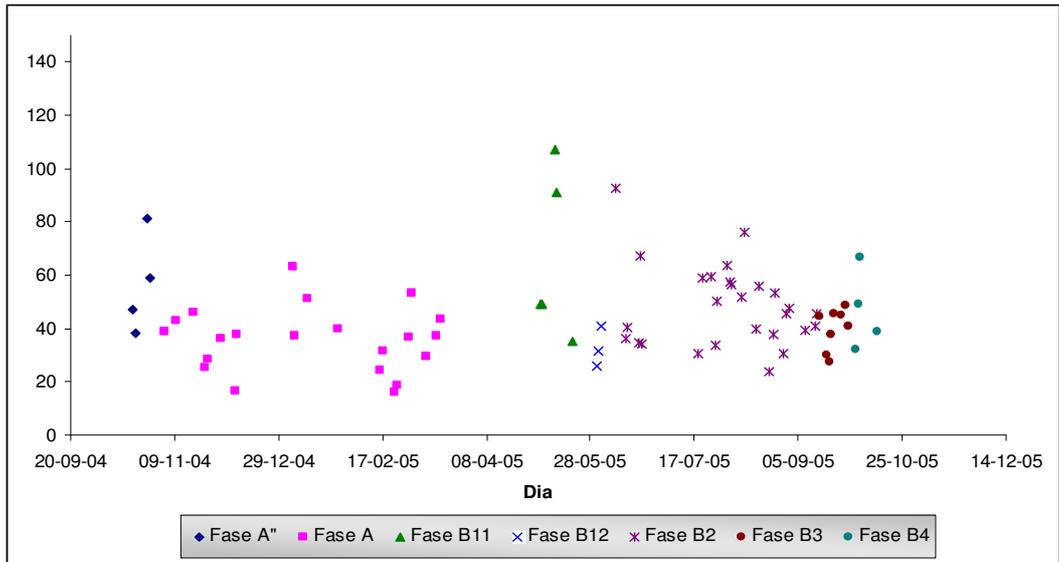


Figura 5.35: Séries Temporais de IVL nas Fases

A figura 5.36 ilustra a série temporal do A/M em ambas as fases, com suas receptivas vazões.

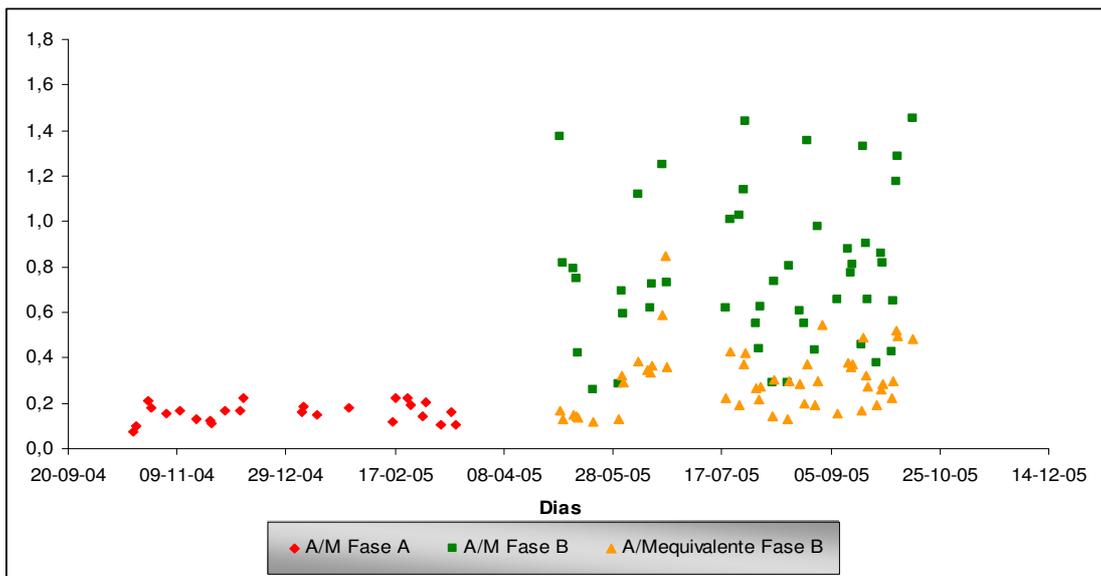


Figura 5.36 Séries Temporais de A/M (Fase A e B) A/M equiv.(Fase B)

Nesse gráfico observa-se a diminuição mencionada anteriormente, considerando os sólidos que se encontram dentro as peças durante a Fase B.

A tabela 5.20 apresenta o resultado estatístico do parâmetro A/M, ilustrado na figura 5.37 através do gráfico *Box – Wiskers*.

	Fase									
	B11	B11 Equiv	B12	B12 Equiv	B2	B2 Equiv	B3	B3 Equiv	B4	B4 Equiv
n	6	6	3	3	28	28	8	8	5	5
Média	0,73	0,14	0,52	0,25	0,98	0,33	0,78	0,29	1,00	0,40
Mín	0,26	0,12	0,28	0,13	0,29	0,13	0,38	0,16	0,43	0,22
Máx	1,37	0,17	0,69	0,32	2,57	0,85	1,33	0,49	1,45	0,52
Mediana	0,77	0,14	0,59	0,29	0,75	0,32	0,81	0,28	1,17	0,48
DP	0,38	0,02	0,21	0,10	0,66	0,15	0,29	0,10	0,44	0,14
10%	0,34	0,12	0,34	0,16	0,44	0,18	0,43	0,19	0,52	0,25
25%	0,50	0,13	0,44	0,21	0,61	0,22	0,61	0,24	0,65	0,29
50%	0,77	0,14	0,59	0,29	0,75	0,32	0,81	0,28	1,17	0,48
75%	0,81	0,15	0,64	0,31	1,13	0,37	0,87	0,33	1,29	0,50
90%	1,09	0,16	0,67	0,31	1,78	0,46	1,03	0,41	1,39	0,51

Tabela 5.20: Resultado Estatístico do parâmetro A/M e A/M equivalente

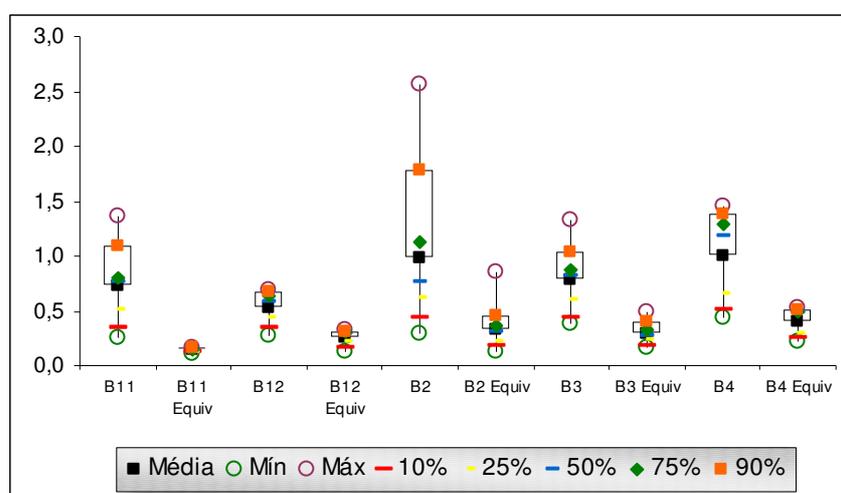


Figura 5.37: Gráfico *Box-Wiskers* de A/M para as Fases

Na figura 5.37 observa-se que, durante a Fase B, as médias para A/M encontram-se em uma faixa entre 0,52 - 1,00 e para A/M equivalente entre 0,14 - 0,40, ratificando a análise feita anteriormente.

Em relação à idade do lodo pode-se afirmar que a forma clássica para calculá-la não é aplicável totalmente, uma vez que parte dos sólidos no Tanque de Aeração se encontra aderido às peças móveis, não se podendo estimar o tempo de detenção celular dessa parcela. Além desse aspecto, a quantidade do lodo efetivamente descartado só pôde ser verificada em uma medição.

A tabela 5.21 resume os dados de tempo de detenção (Td) determinado para cada fase, observando que, à medida que a vazão aumenta, o tempo de detenção diminui.

Tabela 5.21: Resumo de Td

Fase	Qa (l/s)	Qa (l/d)	Qa (m ³ /d)	Td (Hrs)
I	0,45	38880	38,88	12,50
	0,39	33696	33,70	14,42
II	0,59	50976	50,976	9,53
	0,78	67392	67,39	7,21
	0,88	76032	76,03	6,39
	0,95	82080	82,08	5,92

Por último, observam-se na tabela 5.22 os valores médios de OD determinados nessa pesquisa, considerando os três pontos de monitoramento.

Tabela 5.22: Resumo valores médios de OD

Oxigênio Dissolvido		
Superior	Média	Inferior
3,93	3,69	3,30

5.3.2 Discussão de resultados

Na tabela 5.19 observam-se os valores médios para A/M, IVL e IVL equivalente nas Fases.

Com relação ao parâmetro A/M observa-se que existe um decremento nas médias das Fases A (A", A) com relação às Fases B (B11, B12, B2, B3 e B4), devido às condições operacionais adotadas na Fase B, caracterizadas pelo aumento das vazões e das cargas de DBO do afluente ao tanque de aeração. Essas vazões foram aumentadas propositalmente ao longo da pesquisa e na Fase B, disponibilizando-se, porém, maior quantidade de biomassa dentro do tanque, pela existência de sólidos aderidos aos meios suporte, que foram introduzidos nessa fase. Destaca-se que, em ambas as fases, esse parâmetro apresentou-se dentro dos valores estabelecidos pela literatura.

Na figura 5.37 nota-se que a relação A/M equivalente sofre uma notória diminuição, encontrando-se, porém, ainda dentro da faixa aceitável da literatura.

Quanto ao IVL, observa-se que esse índice é bom em ambas as fases, independente das vazões e cargas orgânicas aplicadas nesse trabalho, apresentando boas características de sedimentabilidade. Essa observação leva à conclusão de que a adição de meio suporte no tanque de aeração não afeta seu bom desempenho

operacional, quando considerados os parâmetros IVL e sedimentabilidade, mesmo sob condições de aumento de vazão e carga na unidade.

Segundo a tabela 5.23, os resultados de OD encontram-se entre 3,30 – 3,93 mgO₂/l, valores de acordo com aqueles obtidos por ODEGAARD em estudo no qual recomenda o emprego de MBBR sob condições de OD superiores a 3 mgO₂/l.

5.4 Análise Microbiológica

5.4.1 Apresentação de Resultados

5.4.1.1 Protozoários e Rotíferos

A tabela 5.23 apresenta o resumo dos protozoários predominantes identificados em 3 amostras feitas no Laboratório de Controle e Poluição de Água (LabPol/COPPE). As figuras 5.38 a 5.43 ilustram as principais classes de protozoários e rotíferos encontrados dentro do tanque de aeração e no biofilme. Essas análises foram feitas na Fase B.

Tabela 5.23 Resumo de classes predominantes de Protozoários e Rotíferos

<i>Espécies Predominantes</i>	
<i>Tanque de Aeração</i>	<i>Biofilme</i>
Protozoários (classe ciliata, mastigophora)	Protozoários (classe ciliata, mastigophora)
Metazoários (rotíferos, filo anelida, classe nematada)	Metazoários (rotíferos, filo anelida, classe nematada)



Figura 5.38: Metazoário - Classe Rotífera



Figura 5.39: Protozoário - Classe Ciliado Penduculado (*Epistylis*)



Figura 5.40: Protozoário – Ameba



Figura 5.41: Protozoário - Ciliados livres Nadantes

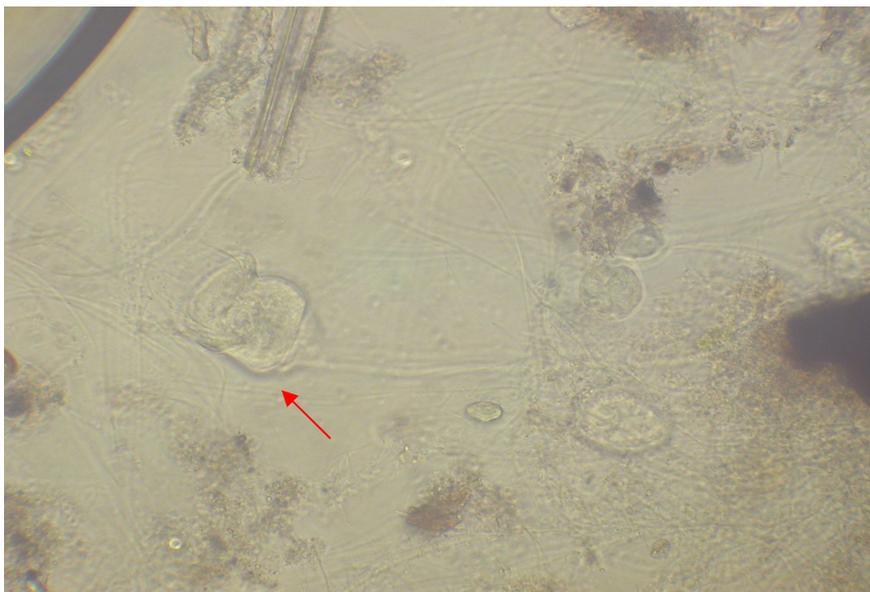


Figura 5.42: Protozoário - Classe Mastigophora



Figura 5.43: Metazoário - Classe Nematoda

5.4.1.2 Bactérias

A tabela 5.24 apresenta o resumo das bactérias que se encontraram predominantemente nas 10 amostras coletadas. Essa análise foi realizada no Laboratório de Zoonoses Bacterianas do Departamento de Bacteriologia, Instituto Oswaldo Cruz/FIOCRUZ. Algumas análises foram feitas em duplicata, com placas encubadas a 37°C e a temperatura ambiente (TAmb), como foi apresentado no capítulo 4, item 4.5.5.

Tabela 5.24: Resumo das bactérias detectadas nas análises microbiológicas

Meio	Local	Bactéria Predominante	Temperatura
Mac Conkey	1,2,3	<i>Serratia</i> sp.	TAmb, 37°C
	1,3	<i>Enterobacter</i> sp.	TAmb, 37°C
	1	<i>Morganella</i> sp.	TAmb, 37°C
	1,2,3	Coliformes	TAmb, 37°C
	2	<i>Klebsiella</i> sp.	TAmb, 37°C
Agar Cetrimide	1,2,3	<i>Serratia</i> sp.	TAmb, 37°C
	1,2,3	Coliformes	TAmb, 37°C
	3	<i>Klebsiella</i> sp.	37°C
Agar Nutriente	2	<i>Chromobacterium violacium</i>	37°C
	1,2,3	<i>Serratia</i> sp.	TAmb, 37°C
	3	Gram positivo	TAmb
	1	<i>Morganella</i> sp.	TAmb
	3	Coliformes	37°C

- 1 Coleta do líquido no tanque de aerção
- 2 Coleta do líquido com os meios de suporte
- 3 Coleta do swab

5.4.2 Discussão de Resultados

5.4.2.1 Protozoários e Rotíferos

As espécies encontradas no tanque de aeração e aquelas observadas no biofilme são similares. A diferença mais notável é a presença em maior quantidade de metazoários no biofilme em relação à biomassa suspensa no tanque de aeração.

Com relação aos protozoários e rotíferos, sempre presentes no processo de lodos ativados convencional, confirma-se sua presença mesmo com a utilização da tecnologia MBBR. Esses microrganismos são do mesmo tipo daqueles observados nos estudos noruegueses.

5.4.2.2 Bactérias

Segundo os resultados indicados na tabela 5.25, as bactérias predominantes no processo são a *Serratia* sp. e os coliformes, que se reproduzem dentro dos três meios analisados. Outro fator importante verificado é que essas bactérias não dependem da temperatura para se reproduzir.

5.4.2.3 Organismos Filamentosos

Durante todo o processo de operação não se detectou qualquer indicação de intumescimento do lodo (*bulking*), o que é uma ótima indicação do comportamento do processo MBBR.

5.5 Análise de Nutrientes

Nessa pesquisa não se analisaram nutrientes, por deficiência instrumental do laboratório de apoio às análises (LEMA). As características de nitrificação na tecnologia MBBR devem ser estudadas em trabalhos futuros por se tratar de um aspecto importante ao processo.

5.6 Caracterização do Lodo de Descarte

5.6.1 Apresentação de Resultados

O descarte de lodo dos decantadores secundários foi realizado diariamente. Os resultados que se apresentam na tabela 5.25 foram referentes às amostragens realizadas com o objetivo de se determinar a concentração de sólidos no lodo descartado. A coleta foi procedida em diferentes instantes posteriores ao início do descarte: 30, 50 e 60 segundos. Nessa etapa também foi determinado o volume total de descarte em ambos os decantadores.

Tabela 5.25: Análises Típicas do lodo descartado (mg/l)

Data	SST			SSV		
	1	2	3	1	2	3
01/11/05	5200	9810	850	2320	4810	423
03/11/05	4807	9659	7447	2180	7043	4007
04/11/05	5804	9210	6902	4444	6825	4939
Média	9560			6226		

1 = 30 seg

2 = 50 seg

3 = 1min

5.6.2 Discussão de Resultados

O instante no qual se observou a maior concentração de teor de sólidos no lodo descartado foi aos 50 segundos de descarte (tabela 5.26). A média do teor de sólidos nesse instante foi utilizada para se determinar a porcentagem de sólidos na recirculação afluyente ao tanque de aeração.

5.7 Recirculação de Lodo

5.7.1 Apresentação de Resultados

Segundo os resultados obtidos no anexo A.5, as vazões médias de recirculação determinadas variaram entre 0,36 l/s (ensaio 1 - relação entre volume e tempo) e 0,39 l/s (ensaio 2 – medição na calha Parshall). A vazão de recirculação, similar nos dois processos utilizados para sua determinação, foi mantida constante durante toda a pesquisa.

5.7.2 Discussão de Resultados

Ao considerar uma vazão de recirculação igual a 0,375 l/s, determinada pela média entre os dois métodos de determinação empregados, e o percentual usual de recirculação para lodos ativados equivalente a 100% da vazão afluyente, podem-se fazer as seguintes observações: (a) para a Fase B11 e B12, a recirculação foi equivalente a 64% desse valor; (b) para a Fase B2, a recirculação foi equivalente a 48% desse valor; (c) para a Fase B3, a recirculação foi equivalente a 43% desse valor; (d) para a Fase B4, a recirculação foi equivalente a 39% desse valor.

5.8 Relação ao atendimento aos Padrões de Lançamento de Efluente

5.8.1 Apresentação de resultados

A tabela 5.26 apresenta as médias das concentrações afluente e efluente (DQO, DBO e SST) para cada uma das fases e vazões utilizadas durante a pesquisa, assim como a carga orgânica em termos de DBO gerada para cada vazão.

Tabela 5.26: Médias das concentrações (DQO, DBO e SST) e carga orgânica para cada vazão nas Fases A e B.

Fase	DQOa (mg/l)	DQOe (mg/l)	DBOa (mg/l)	DBOe (mg/l)	SSTa (mg/l)	SSTe (mg/l)	Q (l/d)	Carga Orgânica DQO (kg/d)	Carga Orgânica DBO (kg/d)	Carga Orgânica SST (kg/d)
Fase A										
A"	409	54	128	30	76	28	38880	15902	4977	2955
A	531	92	168	26	91	23	33696	17893	5661	3066
Fase B										
B11	406	36	145	16	427	9	50112	20345	7266	21398
B12	491	26	227	11	443	28	50112	24605	11375	22200
B2	527	55	215	23	386	35	67392	35516	14489	26013
B3	434	48	155	20	349	35	76032	32998	11785	26535
B4	559	63	246	28	500	29	82080	45883	20192	41040

A tabela 5.27 apresenta as diferentes vazões utilizadas, relacionando os limites impostos pelas legislações estaduais e as concentrações efetivamente obtidas ao longo do período de operação.

Tabela 5.27: Desempenho da unidade, segundo diferentes vazões, comparadas às legislações estaduais

Fase	Rio de Janeiro		São Paulo	Minas Gerais		
	DBO 40mg/l	SST 40mg/l	DBO 60mg/l	DQO 90mg/l	DBO 60mg/l	SST 60mg/l
FASE A						
A"	30	28	30	54	30	28
A	26	23	26	92	26	23
FASE B						
B11	16	9	16	36	16	9
B12	11	28	11	26	11	28
B2	23	35	23	55	23	35
B3	20	35	20	48	20	35
B4	28	29	28	63	28	29

Para avaliação estatística dos resultados foram aplicadas as provas de *T-student*, considerando para tal os seguintes parâmetros: vazão de operação e desempenho da unidade. Os resultados obtidos estão apresentados nos anexos B.11a e B.11b.

5.8.2 Discussão de Resultados

Pode-se verificar com auxílio da tabela 5.27 que a carga orgânica gerada é superior a 80 kgDBO/d para todas as vazões estudadas. Nesse caso, para atendimento dos padrões estabelecidos no estado do Rio de Janeiro, as concentrações máximas de DBO e SST devem ser de 40 mg/l.

Na tabela 5.28 observa-se que as concentrações dos efluentes, tanto na Fase A como na Fase B, atendem aos padrões de lançamento de efluentes dos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais.

A comprovação desses resultados foi possível pela aplicação do teste *T-student*, que permitiu concluir que, durante o período de operação dos sistemas, os efluentes produzidos apresentaram-se, na verdade, como de excelente qualidade e enquadraram-se aos padrões legais vigentes.

6. CONCLUSÕES

Após aproximadamente 13 meses de operação e monitoramento do sistema de lodos ativados com uso de MBBR para tratamento de efluentes sanitários, verificou-se que essa tecnologia foi capaz de fornecer maior capacidade de tratamento, mesmo com meio suporte ocupando apenas 20% do volume do tanque de aeração. Obteve-se como resultado um efluente de muito boa qualidade, atendendo aos padrões dos efluentes nas cargas carbonáceas do estado do Rio de Janeiro e seus estados limítrofes, São Paulo e Minas Gerais. A configuração da unidade de tratamento constituiu uma excelente alternativa de tratamento de esgoto doméstico, particularmente indicada para casos de *upgrade* do sistema, tão comuns com o crescimento das cidades.

Os resultados obtidos nas duas fases operacionais da pesquisa permitiram concluir que:

- O sistema de lodos ativados convencional (Fase A) mostrou-se eficiente na remoção de matéria orgânica do esgoto doméstico, operando com boa performance, como esperado. Os parâmetros típicos do processo convencional foram confirmados, particularmente, como decantador secundário operando sob uma taxa de aplicação superficial de até 23 m³/m².d, obtendo-se concentrações efluentes médias para DQO entre 54-92 mg/l, para DBO entre 26-30 mg/l e para SST entre 33-46 mg/l.
- O uso da tecnologia MBBR (Fase B) na mesma estrutura construída na ETE de lodos ativados mostrou-se bem-sucedido. Esta nova configuração obteve uma relação A/M cerca de 5 vezes maior àquela observada na configuração original. O MBBR foi capaz de suportar uma vazão 2,5 vezes superior àquela aplicada na Fase A, mantendo-se a mesma eficiência de tratamento. Tais observações indicam para uma significativa economia no dimensionamento do tanque de aeração. Os decantadores trabalharam com taxas de aplicação superficial: 15 m³/m².d; 20 m³/m².d; 22 m³/m².d e 24 m³/m².d. O volume de recheio adicionado foi de 10% e 20% do volume do tanque de aeração. Obtiveram-se concentrações efluentes médias para DQO entre 26-63 mg/l, para DBO entre 11-28 mg/l e para SST entre 9-35 mg/l.
- As provas de *T-student* realizadas para avaliação da eficiência, mostram que, em nenhum dos casos, pôde-se afirmar que o aumento da vazão teve como

conseqüência a redução do desempenho da unidade. Pode-se afirmar, então, que as eficiências do processo se mantêm, mesmo com o incremento de vazão e cargas orgânicas, no intervalo das condições investigadas.

- O teste *T-student*, realizado para avaliar o atendimento aos padrões legais utilizados como referência, indica que as concentrações médias obtidas pelas Fases B11, B12, B2, B3 e B4 são menores que as concentrações de lançamento médias permitidas (DBO = 40 mg/l OU DBO = 60 mg/l). Conclui-se, assim, que todas as fases implementadas nessa pesquisa se enquadraram aos limites estabelecidos nos estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais.
- As bactérias e protozoários encontrados no tanque de aeração são os usualmente encontrados no processo convencional de lodos ativados, mostrando e afirmando que os processos biológicos que ocorrem com o uso da tecnologia MBBR são similares aos da tecnologia convencional. Um fato importante a merecer registro é que, durante todo o período do experimento, não se identificou o intumescimento do lodo.
- Na pesquisa foi possível correlacionar, para o efluente, a DBO em suas diferentes formas (global, particulada e solúvel) com os sólidos em suspensão, obtendo-se a seguinte expressão: $DBO_{global} = DBO_{solúvel} + 0,38 SST$.
- Para as peças que compuseram o meio suporte, com $185 \text{ m}^2/\text{m}^3$ de área superficial específica, e para as crescentes vazões e cargas praticadas, obteve-se uma eficiência de remoção de DQO e DBO praticamente constante, evidenciando os aspectos vantajosos da tecnologia MBBR, principalmente para o *upgrade* do processo de lodos ativados.

7. RECOMENDAÇÕES

- Considerando os resultados favoráveis obtidos nessa pesquisa, recomenda-se a continuação do trabalho considerando as seguintes possibilidades: emprego de outros meios suportes com diferentes características físicas, aumento do volume de peças adicionadas ao tanque de aeração (maior percentual de recheio), e maior vazão afluyente.
- Recomenda-se particularmente avaliar a possibilidade de diminuição ou até mesmo a eliminação da vazão de recirculação de lodo, uma vez que a introdução do meio suporte se reflete no aumento efetivo da biomassa no interior do tanque de aeração.
- Visando um melhor conhecimento do comportamento da unidade quanto à transformação dos compostos do nitrogênio, recomenda-se a realização de análises de NTK, amônia, nitrito e nitrato, considerando suas relações com outros parâmetros de controle, tais como oxigênio dissolvido, temperatura e pH.

8. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ADER & LOCKETT (1910). "Oxidation of sewage without filters". *Journal Soc. Cttem. Ind.* Inglaterra, XXXIII, 535.
- ANDREOTTOLA,G; FOLADORI, P; GATTI, G *et al.* (2003). "Upgrading os small overwaded activated sludge plant using a MBBR system". *J. Environ. Sci. Health, part A: Toxic/hazard. Substra. Environ. Eng* 2317.
- ANDREOTTOLA,G; FOLADORI, P; RAGAZZI, M *et al.* (2003). "Experimental comparation between MBBR and activated sludge sistem for the treatment of municipal wastewater". *Water Science and Teccnhology Vol* 41 (4-5). Pp. 375-382.
- ARCEIVALA, S.J. (1981). "*Wastewater Treatment and Disposal*". Marcel Dekker, New York. 892p.
- BARNES, D; BLISS, J.P (1989b) "*Biological Control of Nitrogen is waster treatment*". E. & .N. Spon, London. 146p.
- BORGHEI, S.M; HOSSEINI, S.H, (2004). "*The treatment of phenolic wastewater using a moving bed biofilm reactor*". *Process Biochemistry*, Vol 29, pp 1177-1181.
- BRASIL (2005). Resolução CONAMA nº 357, 17 de março de 2005. *Estabelece a Classificação das águas Doces, Salobras, e Salinas*. Ministério do Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente. Brasília/DF.
- CETESB Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (1989) Manual "*Microbiologia de Lodos Ativados*".
- COMET-AMBRIZ, I; GONZALEZ-MARTINEZ, S and WILDERER P. (2003) "*Comparison of the perfomance of MBBR and SBR system*". *Water Science Techhnology* 47 (12). pp. 155-161.
- COOK, S.C (1983) "*System identification and control of wastewater treatment process in river basin management*". PhD Thesis, Imperial College, University of London, June 1983, London.

- COPAM N° 10 (1986). Deliberação normativa para qualidade das águas e lançamento de efluentes nas coleções de águas em Minas Gerais.
- COSTA, G.A & HOFER, E (1972) “*Isolamento e Identificação de Enterobactérias*” Monografia do Instituto Oswaldo Cruz. 120p.
- DECRETO 8468 (1976) *Decreto de prevenção e controle da poluição do Meio Ambiente*. São Paulo.
- DIRETRIZ N° 215.R-3 (2002). *Diretriz de Controle de Carga Orgânica Biodegradável em Efluentes Líquidos de Origem Não Industrial*. Rio de Janeiro.
- ECKENFELDER Jr. W.W (1980) *Principles of water quality management*. Boston, CBI. 717p.
- EKAMA, G.A; MARAIS, Gv. R (1977) *The activated sludge process*. Part II. Dynamic behaviour. *Water S.A.*, 3 (1), pp 18-50.
- EPA United States Environmental Protection Agency, Cincinnati (1987). *Design manual, phosphorus removal*. Technology transfer. 311p.
- EPA United States Environmental Protection Agency, Cincinnati (1993). *Manual, Nitrogen Control*. *J. Environ. Eng. Div., ASCE*, 103 (EE4), pp. 707-722.
- FRÓES, C.M.V. (1996) “*Avaliação do desempenho de tratamento de esgotos do conjunto habitacional de Morro Alto, com ênfase na teoria do fluxo de sólidos limite*” Dissertação de Mestrado, UFMG.
- FRÓES, C.V; VON SPERLING, M.. (1995) “*Método simplificada para a determinação da velocidade de sedimentação com base no índice volumétrico do lodo*” In.: Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18, Salvador, 17-22 setembro 1995.
- JAHREN, S, J; RINTALA, J, A; ODEGAARD, H (2002). “*Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping wastewater under thermophilic conditions*”. *Water Research*, Vol 36, pp 1067-1075.
- JORDÃO, E.P & PESSOA, C.A. (2005). *Tratamento de Esgotos Domésticos*. 4ª ed. ABES-RJ, 682p.

- LUOSTARINEN, S; LUSTE, S; VALENTIN, L; RINTALA, J (2006). *"Nitrogen removal from on-site treated anaerobic effluents using intermittently aerated moving bed biofilm reactors at low temperatures"*. Water Research, Vol 40, pp 1607-1615.
- MAISUI, K; KIMATA, T (1986) *Performance evaluation of the oxidation ditch process*.
- MARIANNE, D, YVES,C. *et al* (2006) *"Design optimization of a self-cleaning moving-bed bioreactor for seawater denitrification."* Water Research, Vol 40, pp 249-258.
- MARKANTONATOS, P (1998) *"Modelling for the operational control of the oxidation ditch process"* PhD, Thesis, Imperial College, University of London, London.
- METCALF & EDDY (1991). *Wastewater Engineering: Treatment, Disposal and Reuse*. 3rd ed. New Delhi, McGraw-Hill Inc. 1334p.
- NB 570 (1990) Projeto de estações de tratamento de esgoto sanitário. Associação Brasileira de Normas Técnicas. ABNT, 1990.
- NUVOLARI, A; TELLES,D *et al* (2003) Esgoto Sanitário, 1ª Edição. Ed. Edgard Blücher Ltda. São Paulo. 333 pp.
- ODEGARD, H (2006) *"Innovations in wastewater treatment: the moving bed biofilm process."* Waste Science and Technology. Vol 53 (9), pp 17-33.
- ODEGARD, H; RUSTEN, B; and BADIN, H (1993) *"Small wastewater treatment plants based on moving bed biofilm reactor."* Waste Science and Technology. Vol 28 (10), pp 351-359.
- ODEGARD, H; RUSTEN, B; and WESTRUM, T (1994) *"A new moving bed biofilm reactor – application and results."* Waste Science and Technology. Vol 29 (10-11), pp 157-165.
- PASTORELLI, G; ANDREOTTOLA, G *et al* (1997) *"Pilot-plant experimental with moving-bed biofilm reactors."* Waste Science and Technology. Vol 3 (1), pp 43-50.
- QASIM, S (1994) Wastewater Treatment Plant. Planning, design and Operation. The University of Texas at Arlington – Biological Waste Treatment. P 303-378.

- RUSTEN, B; HEM, L. *et al* (1995a) “Nitrification of municipal wastewater in the novel moving bed biofilm reactor.” *Water Environment Research*, Vol 67 (1), pp 75-86.
- RUSTEN, B; Mc COY, M *et al* (1998) “The innovative moving bed biofilm reactor / Solids contact reacration process for secondary treatment of municipal wastewater.” *Water Environment Research*, Vol 70 (5), pp 1083-1089.
- RUSTEN, B; SIDLJUDALEN, J.G *et al* (1994) “Upgrading to nitrogen removal with the KMT moving bed biofilm process.” *Waste Science and Technology*, Vol 29 (12), pp 185-195.
- SAWYER, C.N; Mc CARTY, P.L (1978) *Chemistry for environmental engineering*. 3a Ed. New York, Mc Graw-hill, Inc 532p.
- SEDLAK, R (1991) *Phosphorus and nitrogen removal from municipal wastewater. Principles and practice*. Lewis Publishers. Estados Unidos. 240p.
- SIRGRUN, J, JUKKA, A. *et al* (2002) “Aerobic moving bed biofilm reactor treating thermomechanical pulping whitewater under thermophilic condition.” *Water Research*, Vol 36, pp 1067-1075.
- SPELLMAN, F (1997) *Microbiology for water/wastewater operator*. Technomic Publishing Company. 183p.
- VEROL, A.P.; PAIXÃO, M.C.T. VOLSCHAN JR., I; *et al.* (2005)– *Procedimentos Analíticos e Resultados no Monitoramento de Tratamento de Esgotos*, ABES. 130p.
- VON SPERLING, M (1990) “Optimal Management of the oxidation ditch process” PhD. Thesis, Imperial College, University of London, 1990. 371p.
- VON SPERLING, M (1994a) “Projeto e controle de decantadores secundários através de um novo método para a análise simplificada cada do fluxo de sólidos.” In: VI SILUBESA –Simpósio Luso-Brasileiro de Eng. Sanitária e Ambiental, Florianópolis – SC, 12-16 Junho 1994, Tomo I, pp 479-492.
- VON SPERLING, M (1994b) “A new unified solids flux-based for the design of final clarifiers.” *Description and cimparation with tradicional criterio*. *Water Science and Tecnologu*, 30 (\$). Pp. 57-66.

- VON SPERLING, M (1996) *“Princípios básicos do tratamento de esgoto.”* Vol 2. Belo Horizonte: Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 211p.
- VON SPERLING, M (1997) *“Princípios básicos do tratamento biológico de águas residuais – Lodos Ativados.”* 2ª Ed. Vol 4. Belo Horizonte: Departamento de Eng. Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. 428p.
- VON SPERLING, M; LUMBERS, J.P (1989b) *“Control objectives and the modelling of MLSS in oxidation ditches (discussion).”* Water Science and Technology, 21 (12), pp. 1621-1622.
- WANG, X, J; XIA, S, Q; CHEN, L; ZHAO, J, F; RENAULT, N, J; CHOVELON, J, M (2006). *“Nutrients removal from municipal wastewater by chemical precipitation in a moving bed biofilm reactor”.* Process Biochemistry, Vol 41, pp 824-828.
- WEF & ASCE (1992). *Design of Municipal Wastewater Treatment Plants.* Water Environment Federation / American Society of Civil Engineers. 1592p.
- WEF Water Environment Federation (1998) *Standard Methods for examination of water and wastewater.* 20 ed.

ANEXOS A

ANEXO A.1: Tabela Resumo de dados da Fase Preliminar

Dia	Tanque Aeração		Vazão l/d	Volume litros	A/M	SD30min	IVL
	SST	SSV					
08-07-2004	2847	2760	38880	20250			0
14-07-2004	5027	4620	38880	20250			0
27-07-2004	3680	2610	38880	20250		150	57
10-08-2004	2973	2127	38880	20250		110	52
17-08-2004	2750	2000	38880	20250	0,25	130	65
24-08-2004	858	742	38880	20250	0,66	120	162
31-08-2004			38880	20250		130	
08-09-2004	2325	1555	38880	20250		80	51
14-09-2004	1563	650	38880	20250			0
28-09-2004	3597	2303	38880	20250		160	69
05-10-2004	4503	2847	38880	20250			0
13-10-2004	4175	2600	38880	20250	0,08	175	67

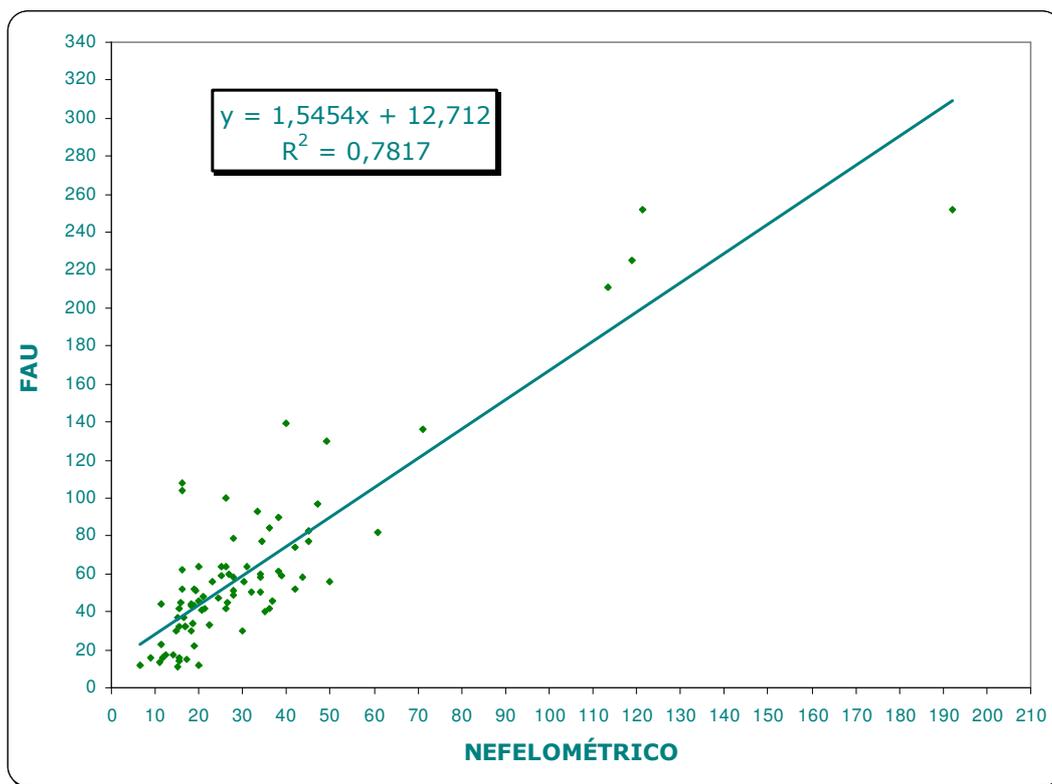
ANEXO A.2: Tabela Resumo de dados da Fase A (Lodos Ativados)

Dia	SSV Efluente	Tanque Aeração		Recirculação		Vazão l/d	Vol. litros	DBO _{part} mg/l	S 1/d	A/M	SD _{30min}	BDOsol	IL	IVL
		SST	SSV	SST	SSV									
Fase A" (Q=0,45 l/s)														
20-10-04	36	3840	2360			38880	20250	25	0,06	0,07	180			47
21-10-04	46	4587	2870			38880	20250	32	0,08	0,10	175			38
27-10-04	20	1820	1202			38880	20250	14	0,12	0,21	148	38		81
28-10-04	11	2383	1580			38880	20250	8	0,15	0,18	140	17		59
Fase A (Q=0,39 l/s)														
04-11-04	26	1903	1130			33696	20250	18	0,12	0,15	74	8		39
10-11-04	21	3243	1958			33696	20250	15	0,15	0,17	140	8		43
18-11-04	36	3463	2120			33696	20250	25	0,10	0,13	160	9		46
24-11-04	38	3230	2047			33696	20250	27	0,11	0,12	82			25
25-11-04	45	3043	2001			33696	20250	32	0,08	0,11	86			28
01-12-04	31	3857	2377			33696	20250	22	0,14	0,17	140	16		36
08-12-04	34	8367	4243			33696	20250	27	0,15	0,17	140	16		17
09-12-04	51	3727	2257			33696	20250	30	0,19	0,22	140	17		38
05-01-05	13	1590	943			25056	20250	9	0,13	0,16	100	12		63
06-01-05	12	2950	1800			38880	20250	8	0,17	0,19	110	6		37
12-01-05	18	1193	1051			33696	20250	13	0,12	0,15	61	3		51
27-01-05	27	1256	696			33696	20250	19	0,16	0,18	50			40
16-02-05	13	1960	1103	5025	3055	33696	20250	9	0,09	0,12	48	7	43	24
17-02-05	26	1897	1047	5043	2753	33696	20250	18	0,20	0,22	60	0	45	32
23-02-05	15	2017	1100	9757	5340	33696	20250	11	0,20	0,22	32	3	25	16
24-02-05	14	2266	1306	9194	5166	33696	20250	10	0,17	0,19	42	7	30	19
02-03-05	5	3273	1720	7685	4160	33696	20250	4	0,12	0,14	120	25	49	37
03-03-05	15	2640	1420	10365	5430	33696	20250	11	0,18	0,20	140	8	31	53
10-03-05	11	3700	1987	9340	4967	33696	20250	8	0,10	0,11	110	5	48	30
15-03-05	16	4320	2267	12513	6437	33696	20250	11	0,14	0,16	160	26	42	37
17-03-05	16	4600	2573	15353	8197	33696	20250	11	0,07	0,11	200	48	37	43

Anexo A.3: Tabela Resumo de dados da Fase B (MBBR)

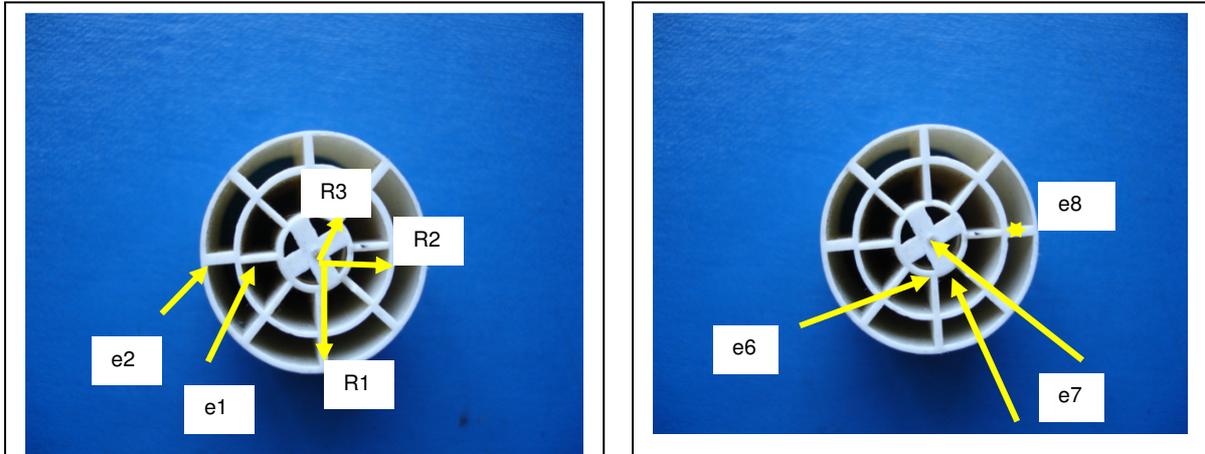
Dia	Efluente SSV mg/l	Tanque Aeração				Recirculação		Vazão l/d	Volume litros	DBOpart mg/l	S 1/d	SD _{30min}	IVL	A/M	A/M equiv
		SST mg/l	SST Equiv	SSV mg/l	SSV Equiv	SST mg/l	SSV mg/l								
Fase B11 (Q= 0,59 l/s;10%V)															
04-05-05	3	487	2462	273	2249	873	797	50976	20250	2	0,28	24	49	1,37	0,17
05-05-05	14	650	2625	380	2355	660	383	50976	20250	10	0,21	32	49	0,81	0,13
10-05-05	5	747	2722	453	2429	6477	3500	50976	20250	4	0,24	200	268	0,79	0,15
11-05-05	5	747	2722	453	2429	6476	3500	50976	20250	4	0,22	80	107	0,75	0,14
12-05-05	8	1650	3625	923	2898	5317	2913	50976	20250	6	0,19	150	91	0,42	0,13
19-05-05	17	2857	4832	1597	3572	9917	5487	50976	20250	12	0,16	100	35	0,26	0,12
Fase B12 (Q= 0,59 l/s;20%V)															
31-05-05	14	1920	3119	1063	2262	4167	2320	50976	20250	10	0,10	50	26	0,28	0,13
01-06-05	28	1833	3032	1030	2229	4617	2633	50976	20250	20	0,24	58	32	0,69	0,32
02-06-05	19	2057	3256	1183	2382	5083	2907	50976	20250	13	0,23	84	41	0,59	0,29
Fase B2 (Q= 0,78 l/s;20%V)															
09-06-05	19	1080	2279	627	1826	630	383	67392	20250	13	0,23	100	93	1,12	0,38
13-06-05	18	312	1511	180	1379	583	357	67392	20250	13	0,23	80	256	2,67	0,35
14-06-05	18	2387	3586	1397	2596	3957	2247	67392	20250	13	0,25	86	36	0,62	0,33
15-06-05	28	2080	3279	1203	2402	6197	3440	67392	20250	20	0,27	84	40	0,72	0,36
20-06-05	32	2023	3222	1060	2259	3930	2187	67392	20250	22	0,44	70	35	1,25	0,59
21-06-05	17	1043	2242	545	1744	2743	1480	76032	20250	12	0,60	70	67	2,71	0,85
22-06-05	18	2037	3236	1153	2352	3643	2057	50976	20250	13	0,27	70	34	0,73	0,36
19-07-05	23	1140	2339	673	1872	1483	880	57024	20250	16	0,14	35	31	0,62	0,22
21-07-05	22	1430	2629	873	2072	3257	1997	67392	20250	15	0,29	84	59	1,01	0,43
25-07-05	18	540	1739	273	1472	953	820	38880	20250	13	0,13	32	59	1,02	0,19
27-07-05	16	947	2146	573	1772	1850	1053	57024	20250	11	0,25	32	34	1,14	0,37
28-07-05	25	833	2032	497	1696	3827	2313	38880	20250	18	0,28	42	50	1,44	0,42
02-08-05	24	1890	3089	1116	2315	4340	2483	67392	20250	17	0,19	120	63	0,55	0,26
03-08-05	31	1920	3119	1123	2322	4407	2517	67392	20250	22	0,15	110	57	0,44	0,21
04-08-05	32	1600	2799	915	2114	4435	2570	67392	20250	22	0,18	90	56	0,63	0,27
09-08-05	30	1927	3126	1120	2319	4870	2770	53568	20250	21	0,10	100	52	0,29	0,14
10-08-05	28	1450	2649	833	2032	2383	1367	53568	20250	20	0,18	110	76	0,74	0,30
16-08-05	23	1697	2896	967	2166	2073	1133	38880	20250	16	0,09	68	40	0,29	0,13
17-08-05	26	1107	2306	697	1896	3290	2043	67392	20250	18	0,20	62	56	0,80	0,29
22-08-05	20	1776	2975	1065	2264	2280	1370	67392	20250	14	0,21	42	24	0,61	0,29
24-08-05	3	1060	2259	680	1879	1920	1200	67392	20250	2	0,13	40	38	0,55	0,20
25-08-05	26	753	1952	453	1652	1740	1350	67392	20250	18	0,25	40	53	1,35	0,37
29-08-05	9	1583	2782	963	2162	3533	2103	67392	20250	6	0,14	48	30	0,44	0,19
30-08-05	32	923	2122	517	1716	3083	1793	38880	20250	22	0,19	42	46	0,98	0,29
01-09-05	38	503	1702	323	1522	910	530	67392	20250	27	0,32	24	48	2,57	0,54
08-09-05	34	610	1809	377	1576	1270	803	67392	20250	24	0,09	24	39	0,65	0,16
13-09-05	30	1470	2669	910	2109	2303	1397	67392	20250	21	0,24	60	41	0,88	0,38
14-09-05	31	1670	2869	1030	2229	2693	1677	67392	20250	22	0,25	76	46	0,77	0,36
Fase B3 (Q= 0,88 l/s;20%V)															
15-09-05	27	1703	2902	1007	2206	4067	2420	76032	20250	19	0,37	76	45	0,81	0,37
19-09-05	43	1103	2302	673	1872	2287	1300	76032	20250	30	0,17	33	30	0,46	0,16
20-09-05	20	1197	2396	703	1902	2867	1447	76032	20250	14	0,51	33	28	1,33	0,49
21-09-05	19	1163	2362	660	1859	2770	1600	76032	20250	13	0,34	44	38	0,90	0,32
22-09-05	27	1400	2599	833	2032	5277	3100	76032	20250	19	0,29	64	46	0,66	0,27
26-09-05	27	2087	3286	1277	2476	3430	2087	76032	20250	19	0,19	94	45	0,38	0,19
28-09-05	26	827	2026	520	1719	1367	864	76032	20250	18	0,24	40	48	0,86	0,26
29-09-05	23	1023	2222	650	1849	2833	1787	76032	20250	16	0,30	42	41	0,81	0,29
Fase B4 (Q= 0,95 l/s;20%V)															
03-10-05	20	2003	3202	1273	2472	5637	3407	82080	20250	26	0,17	64	32	0,43	0,22
04-10-05	37	1550	2749	993	2192	4600	2957	82080	20250	7	0,37	76	49	0,65	0,29
05-10-05	10	1503	2702	957	2156	5380	3293	82080	20250	36	0,00	100	67	1,17	0,52
06-10-05	26	1287	2486	757	1956	4397	2610	82080	20250	18	0,00	310	241	1,29	0,50
13-10-05	19	670	1869	597	1796	1050	640	82080	20250	0	0,00	26	39	1,45	0,48
01-11-05	19	570	1769	313	1512	1270	697	82080	20250	13	0,67	NM		3,06	0,63
03-11-05	18	366	1565	234	1433	953	553	82080	20250	18	1,01	NM		5,23	0,85
07-11-05	25	910	2109	553	1752	2033	1170	82080	20250	0	1,12	NM		2,97	0,94

Anexo A4: Curva de Turbidez
FAU vs Nefelométrico



Fonte: Verol, A.P.; Paixão, M.C.T. Volschan Jr., I; Jordão, E.P. – Procedimentos Analíticos e Resultados no Monitoramento de Tratamento de Esgotos, ABES, 2005.

Anexo A.5: Cálculo da Área da peça



Seção	Forma	R (m)	L (m)	e (m)	n	Área de superfície de contato	Área Total (m ²)
A1	Cilindro	0,023	0,025			1	0,0036
A2	Cilindro	0,016	0,025			2	0,0050
A3	Cilindro	0,01	0,025			2	0,0031
A4	Lamina		0,025	0,004	8	2	0,0016
A5	Lamina		0,025	0,003	8	2	0,0012
A6	Lamina		0,002	0,007	1	1	0,000014
A7	Lamina		0,002	0,003	2	1	0,000012
A8	Espessura		0,025	0,001		8	0,0002
A2"	A2 - (2*A8)						0,0046
A3"	A3 - (2*A8)						0,0027
Área Total							0,0222

* Área Cilindro = $2 * \Pi * R * L$

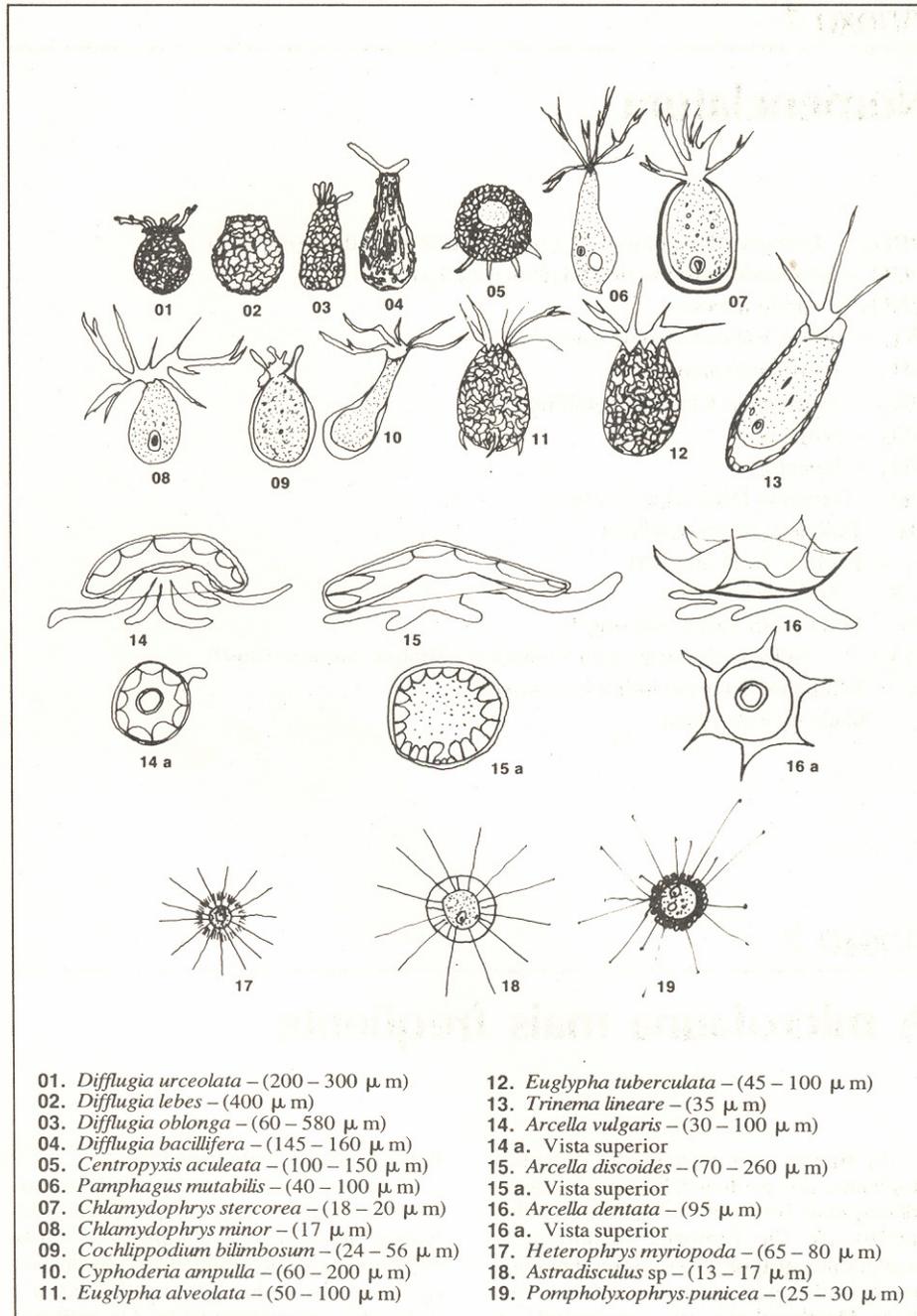
** Área Lâmina = $e * n * L$

Área da superfície da peça (m ²)	Quantidades de peças em volume de 1 m ³	Área / Volume (m ² /m ³)
0,0222	20000	443,50

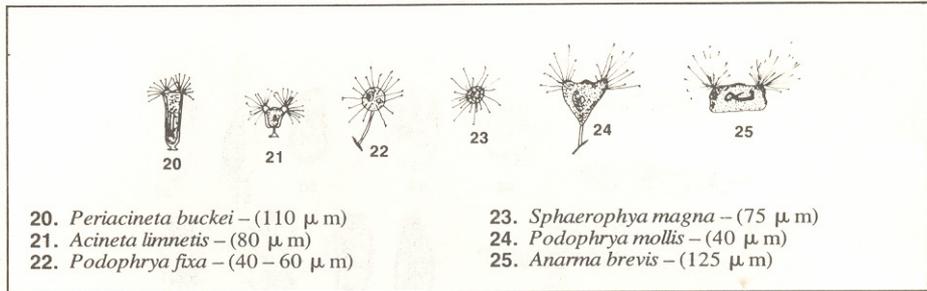
Anexo A.6: Tabela Ensaio de Vazão de Recirculação

Ensaio	Volume (L)	Tempo médio (s)	Vazão de Recirculação (L/s)
1	10	31	0,32
	12	29,8	0,403
		Média	0,36
Ensaio	Altura média (cm)	Vazão de Recirculação (L/s)	
2	3,6	0,386	

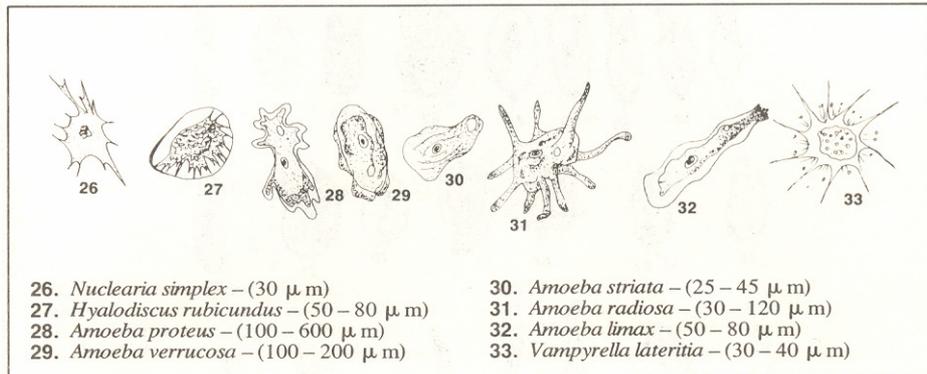
Anexo A7: Figuras de Protozoários : Classe Sarcodina, Ciliata, Mastigophora



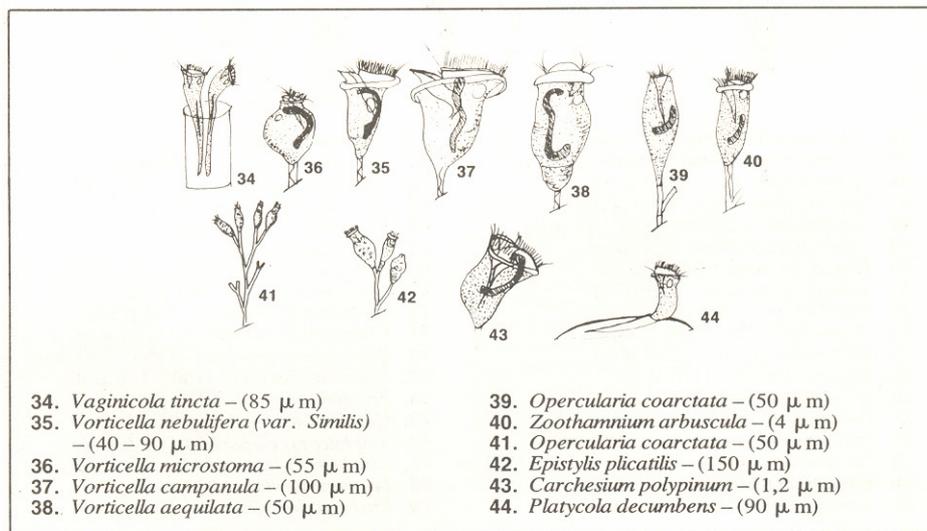
Esquemas 1 a 19 - Filo Protozoa, Classe Sarcodina



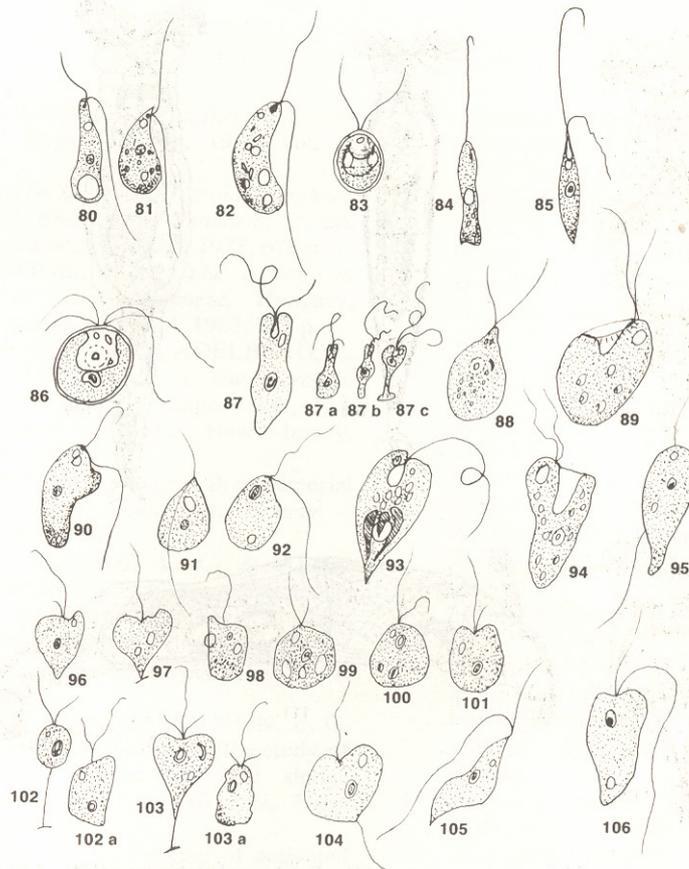
Esquemas 20 a 25 - Filo Protozoa, Classe Ciliata



Esquemas 26 a 33 - Filo Protozoa, Classe Sarcodina



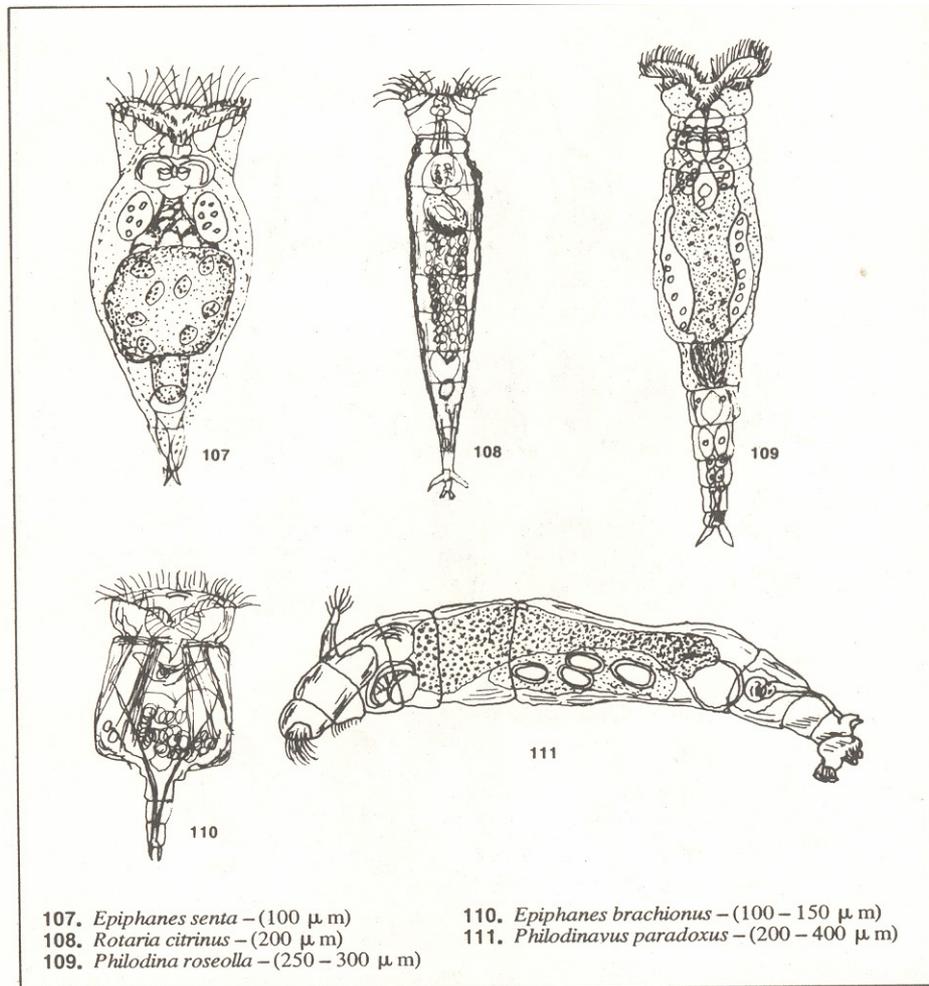
Esquemas 34 a 44 - Filo Protozoa, Classe Ciliata



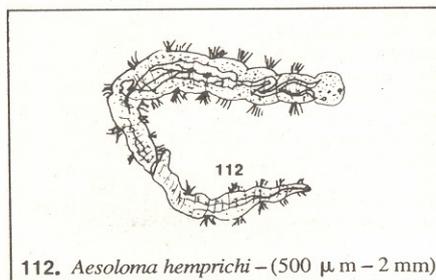
80. *Spiromonas angusta* – (10 μ m)
 81. *Spiromonas socialis* – (10 μ m)
 82. *Bodo* sp – (6 – 15 μ m)
 83. *Chlamydomonas* sp – (25 μ m)
 84. *Peranema trichophorum* – (20 – 110 μ m)
 85. *Heteronema acus* – (40 – 100 μ m)
 86. *Carteria globosa* – (18 – 28 μ m)
 87. *Distigma proteus* – (45 – 110 μ m)
 87 a b c: Mudanças de forma de acordo com o metabolismo
 88. *Polytoma uvella* – (15 – 30 μ m)
 89. *Cyathomonas truncata* – (15 – 30 μ m)
 90. *Bodo caudatus* – (11 – 22 μ m)
 91. *Bodo globosus* – (9 – 13 μ m)
 92. *Bodo lens* – (6 – 7 μ m)
 93. *Euglena viridis* – (35 – 90 μ m)
 94. *Chilomonas paramecium* – (20 – 40 μ m)
 95. *Cercobodo longicauda* – (18 – 36 μ m)
 96. *Oicomonas socialis* – (10 – 15 μ m)
 97. *Oicomonas steinii* – (16 – 17 μ m)
 98. *Oicomonas termo* – (5 – 9 μ m)
 99. *Monas amoebiana* – (12 – 15 μ m)
 100. *Monas vulgaris* – (14 – 16 μ m)
 101. *Monas obliqua* – (6 μ m)
 102. *Monas minima* – (4 – 7 μ m)
 102a. Forma livre natante
 103. *Monas vivipara* – (20 – 40 μ m)
 103a. Forma livre natante
 104. *Cercobodo ovatus* – (15 – 19 μ m)
 105. *Cercobodo craussicauda* – (12 – 16 μ m)
 106. *Cercobodo radiatus* – (10 – 14 μ m)

Esquemas 80 a 106 - Filo Protozoa, Classe Mastigophora

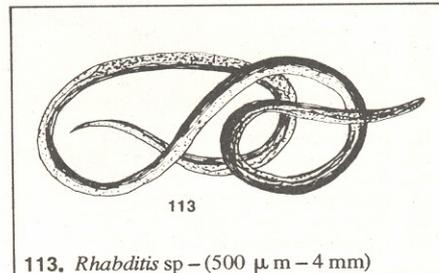
Anexo A8: Figuras de Metazoário: Classe Rotísera, Filo Anelida e Nematoda



Esquemas 107 a 111 - Classe Rotífera



Esquema 112 - Filo Anelida



Esquema 113 - Classe Nematoda

Anexo A9: Tabela de Leitura Presentiva do Método Triagem

LEITURA	IDENTIFICAÇÃO PRESENTIVA
Meio inalterado, com certa alcalinidade no ápice (cor esverdeada ou azulada), presença de gás sulfídrico, ausência de gás e móvel ou imóvel.	Salmonella Edwardsiella Arizona Citrobacter
Reações idênticas as acima citadas sem presença de gás sulfídrico.	Certos tipos de Salmonella, H ₂ S negativo.
Meio sem alteração, no prazo de 24 horas, podendo acidificar em períodos mais longos (fermentação lenta). Ausência de gás sulfídrico. Imóvel ou móvel.	Shigella Escherichia (alkalescens-Dispar) Providencia
Meio inteiramente azul, com produção ou não de gás sulfídrico. Dificuldade na leitura da mobilidade.	Proteus
Camada sólida azul e amarelo-azulado, na porção semi-sólida (ataque a saxaose). Presença de gás sulfídrico.	Proteus vulgaris
Meio Totalmente corado de vermelho, por vezes, podendo apresentar áreas amareladas (redução). Grande produção de gás. Ausência de ácido sulfídrico. Mobilidade presente ou não. Ápice do meio sólido, com discreta alcalinidade na tribu Klebsielleae.	Escherichia Enterobacter Klebsiella Serratia (meio sem gás)
Meio com discreta acidez na profundidade, ligeira alcalinização na superfície. Presença de gás sulfídrico. Móvel.	Citrobacter Arizona
Meio inalterado em 24 horas, com pequena alcalinização na superfície, acentuando-se após de 48 horas de incubação, com forte tonalidade azul-esverdeada à superfície. Ausência ou discreto crescimento no meio semi-sólido.	Pseudomonas
Meio inalterado, com ou sem alcalinidade no ápice.	Alcalignes* Mima Heerellea

* Pseudomonas alcaligenes

Fonte: Costa, G.A & Hofer, E., 1972

ANEXO B

Anexo B.1: Resultados de Concentrações (DBO, DQO e SST) da Fase Preliminar

Dia	DQO		Eficiência (%)	DBO		Eficiência (%)	SST		Eficiência (%)	Tanque Aeração	
	Afluente	Efluente		Afluente	Efluente		Afluente	Efluente		SST	SSV
Fase com Q= 0,45 l/s											
08-07-2004							244			2847	2760
14-07-2004							148			5027	4620
27-07-2004	346	131	62				199			3680	2610
10-08-2004	719	114	84				469			2973	2127
17-08-2004	650	128	80	263	40	85	452			2750	2000
24-08-2004	503	214	57	256	95	63	163			858	742
31-08-2004	365	117	68								
08-09-2004	228	118	48				206			2325	1555
14-09-2004	321	64	80				216			1563	650
28-09-2004	419	67	84				164			3597	2303
05-10-2004	809	333	59				280			4503	2847
13-10-2004	248	51	80	112	32	72	210	30	86	4175	2600
Média	461	134	70	210	55	73	250	30	86	3118	2256

Anexo B.2: Resultados de Concentrações (DBO, DQO e SST) da Fase A

Dia	DQO (mg/l)			DBO (mg/l)			SST (mg/l)		
	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%
Fase A" (Q= 0,45 l/s)									
20-10-2004	327	18	94	88	14	84	270	58	79
21-10-2004	385	88	77	146	29	80	213	73	66
27-10-2004	436	73	83	131	52	60	84	31	63
28-10-2004	489	38	92	147	24	84	520	20	96
Média	409	54	87	128	30	77	272	46	76
Fase A (Q= 0,39 l/s)									
04-11-2004	327	69	79	105	26	75	350	46	87
10-11-2004	981	88	91	196	23	88	582	39	93
18-11-2004	604	131	78	162	34	79	588	49	92
24-11-2004	647	270	58	153	18	88	530	58	89
25-11-2004	674	135	80	132	30	77	422	45	89
01-12-2004	512	102	80	238	38	84	511	50	90
08-12-2004	1678	97	94	429	43	90	645	60	91
09-12-2004	862	180	79	300	47	84	357	74	79
05-01-2005	338	94	72	123	21	83	200	23	89
06-01-2005	414	56	86	175	15	92	403	20	95
12-01-2005	272	36	87	94	16	83	293	30	90
27-01-2005	264	38	86	75	9	89	246	33	87
16-02-2005	290	55	81	78	16	79	231	26	89
17-02-2005	418	73	83	141	18	87	394	30	92
23-02-2005	327	36	89	147	13	91	280	25	91
24-02-2005	535	69	87	152	17	89	318	16	95
02-03-2005	302	94	69	150	29	81	194	8	96
03-03-2005	420	60	86	175	18	90	336	18	95
10-03-2005	373	37	90	127	13	90	241	11	95
15-03-2005	472	109	77	221	37	83	514	16	97
17-03-2005	436	109	75	165	59	64	444	16	96
Média	531	92	81	168	26	84	385	33	91

Anexo B.3: Resultados de Concentrações (DBO, DQO e SST) da Fase B

Dia	DQO mg/l			DBO mg/l			DBOsol mg/l		SST mg/l		
	Afluente	Efluente	%	Afluente	Efluente	%	Efluente	%	Afluente	Efluente	%
Fase II com Q= 0,59 l/s 10%V											
04-05-2005	351	74	79	149	20	87	7	96	390	3	99
05-05-2005	381	36	90	123	17	86	5	96	418	14	97
10-05-2005	516	22	96	143	15	89	14	90	485	5	99
11-05-2005	390	25	94	135	19	86	3	98	595	5	99
12-05-2005	446	33	93	154	14	91	5	97	315	8	97
19-05-2005	349	29	92	165	9	94	6	97	358	19	95
Média	406	37	91	145	16	89	7	96	427	9	98
Fase II com Q= 0,59 l/s 20%V											
31-05-2005	243	27	89	119	10	91	4	97	236	27	89
01-06-2005	449	25	94	283	14	95	8	97	668	36	95
02-06-2005	781	27	97	278	8	97	7	97	426	21	95
Média	491	26	93	227	11	94	6	97	443	28	93
Fase II com Q= 0,78 l/s 20%V											
09-06-2005	245	67	73	211	41	80	9	96	388	29	93
13-06-2005	420	32	92	144	9	94	5	97	562	31	94
14-06-2005	625	50	92	258	14	95	13	95	672	19	97
15-06-2005	849	62	93	261	20	93	17	93	928	37	96
20-06-2005	973	32	97	398	16	96	3	99	116	32	72
21-06-2005	732	30	96	393	18	95	7	98	478	53	89
22-06-2005	1257	45	96	334	18	95	4	99	315	24	92
19-07-2005	349	100	71	148	28	81	0	100	260	46	82
21-07-2005	438	80	82	265	30	89	5	98	334	38	89
25-07-2005	399	39	90	146	9	94	6	96	372	24	94
27-07-2005	494	70	86	232	24	90	10	96	370	27	93
28-07-2005	603	92	85	372	32	92	14	96	628	45	93
02-08-2005	341	45	87	184	16	91	7	96	280	36	87
03-08-2005	383	64	83	149	18	88	12	92	314	47	85
04-08-2005	581	55	91	173	29	83	0	100	538	46	91
09-08-2005	400	36	91	124	9	93	0	100	244	39	84
10-08-2005	745	62	92	232	53	77	18	92	496	38	92
16-08-2005	375	36	90	147	14	90	5	97	236	42	82
17-08-2005	472	40	92	168	19	89	10	94	264	33	88
22-08-2005	624	37	94	194	17	91	11	94	560	31	94
24-08-2005	322	44	86	112	14	88	7	94	316	4	99
25-08-2005	499	49	90	184	17	91	10	95	378	41	89
29-08-2005	482	49	90	126	12	90	8	94	452	13	97
30-08-2005	436	49	89	263	33	87	18	93	284	54	81
01-09-2005	491	70	86	249	47	81	45	82	380	42	89
08-09-2005	253	51	80	74	13	82	11	85	155	34	78
13-09-2005	366	100	73	240	46	81	17	93	268	39	85
01-09-2005	598	65	89	239	23	90	15	94	210	44	79
Média	527	55	88	215	23	89	10	95	386	35	89
Fase II com Q= 0,88 l/s 20%V											
15-09-2005	441	49	89	218	27	88	9	96	370	43	88
19-09-2005	301	63	79	82	10	88	8	90	322	57	82
20-09-2005	755	57	92	249	30	88	22	91	564	20	96
21-09-2005	397	19	95	159	16	90	7	96	378	33	91
22-09-2005	472	18	96	146	11	92	5	97	508	27	95
26-09-2005	591	92	84	128	20	84	4	97	222	35	84
28-09-2005	263	38	86	119	27	77	9	92	203	32	84
29-09-2005	254	51	80	141	16	89	13	91	226	32	86
Média	434	48	88	155	20	87	10	94	349	35	88
Fase II com Q= 0,95 l/s 20%V											
03-10-2005	454	53	88	135	12	91	10	93	270	20	93
04-10-2005	434	51	88	159	33	79	23	86	340	44	87
05-10-2005	462	55	88	277	24	91	21	92	280	13	95
11-10-2005	462	55	88	240	25	90	16	93	250	45	82
13-10-2005	599	55	91	214	20	91	8	96	498	20	96
01-11-2005	516	100	81	236	53	78	27	89	570	30	95
03-11-2005	533	50	91	302	34	89	11	96	500	30	94
07-11-2005	1015	87	91	405	19	95	16	96	1292	26	98
Média	559	63	88	246	28	88	17	93	500	29	93

Anexo B.4: Resultados Complementares (Tanque de aeração)

Dia	pH	Temperatura (°C)	Turbidez		OBSERVAÇÕES
			Nefelométrico	FAU	
21-07-2004	6,11	21,5	91	153	parcialmente nublado
22-07-2004	5,88	20,4	89	151	parcialmente nublado
27-07-2004	6,3	22,5	75	128	sol
28-07-2004	6,74	22,7	116	193	sol
29-07-2004	5,73	22,8	31	60	sol
04-08-2004	8,03	26,3	72	124	sol
05-08-2004	6,45	27,2	90	151	sol
10-08-2004	6,14	24,5	80	136	sol
11-08-2004	6,78	25	52	93	sol
12-08-2004	6,85	24,1	41	76	parcialmente nublado
17-08-2004	5,33	26,8	784	1224	sol
18-08-2004	6,05	27,7	95	160	sol
19-08-2004	6,17	28,3	53	95	sol
24-08-2004	7,27	23,4	90	152	nublado
25-08-2004	7,31	26,8	52	93	sol
26-08-2004	6,92	25,4	47	85	nublado
31-08-2004	6,3	30,1			sol
02-09-2004	6,63	30,1	100	167	sol
08-09-2004	6,38	28,6	80	136	sol
09-09-2004	6,46	29,5	58	102	sol
14-09-2004	7,04	29,2	31	61	sol
15-09-2004	7,41	28,2	33	64	sol
16-09-2004	7,64	24,5	27	54	sol
21-09-2004	7,2	28,5	10	28	sol
22-09-2004	6,89	28,9	19	42	sol
23-09-2004	7,22	29	24	50	sol
28-09-2004	6,66	29,4	30	59	sol
29-09-2004	7,12	28,2	55	98	nublado
06-10-2004	6,4	22,8	33	64	nublado
07-10-2004	6,54	24,8	43	79	sol
13-10-2004	7,21	29,2	26	53	nublado
14-10-2004	6,92	27,2	27	54	nublado
04-11-2004	7,35	33,1	23	48	sol
09-11-2004	6,22	27,3	35	67	sol
11-11-2004	6,25	31,3	16	37	parcialmente nublado
16-11-2004	6,67	24,6	35	67	chuva
17-11-2004	5,88	27,9	31	61	nublado
18-11-2004	6,03	26,8	36	68	nublado
23-11-2004	6,13	28,2	44	81	sol
07-12-2005	6,71	28,7	25	51	nublado
14-12-2005	6,16	29,5	30	59	sol
17-02-2005	6,58	29	22	47	sol
24-02-2005	6,27	31,1	14	34	sol
03-03-2005	6,6	30	18	41	sol
10-03-2005	6,4	29,5	20	44	sol
17-08-2005		25,5	18	41	parcialmente nublado
22-08-2005			18	41	sol
23-08-2005			19	42	sol
24-08-2005		26,4	7	24	chuva
25-08-2005			17	39	chuva
29-08-2005			11	30	sol
30-08-2005		25	19	42	sol
31-08-2005			12	31	sol
06-09-2005	7,2		17	39	parcialmente nublado
08-09-2005	6,7		19	42	parcialmente nublado
13-09-2005	6,6	25	29	57	chuva
14-09-2005	6,86		33	63	chuva
15-09-2005	7,1		23	49	sol
19-09-2005	6,58		22	46	parcialmente nublado
20-09-2005	6,72		11	29	parcialmente nublado
21-09-2005	6,65		12	32	sol
22-09-2005	6,56		19	42	sol
26-09-2005	7,12		11	29	chuva
27-09-2005	6,82		11	29	chuva
28-09-2005	6,96		12	31	parcialmente nublado
29-09-2005	7,06	25,2	10	28	sol
03-10-2005	7,09		38	71	sol
04-10-2005	7,01	26,1	36	69	sol
05-10-2005	6,89		27	54	parcialmente nublado
06-10-2005	7,03		27	54	parcialmente nublado
11-10-2005	6,33		31	61	sol
13-10-2005	6,25		31	61	sol
Média	6,58	26,9	47	85	

ESTUDOS ESTATÍSTICOS

ANEXO B.5: Resultados da Prova de Kolmogorov

Parâmetro		Afluente	Efluente	Eficiência
		Significância Asintótica bilateral	Significância Asintótica bilateral	Significância Asintótica bilateral
DQO	0,59 l/s	0,687	0,327	0,84
	0,78 l/s	0,252	0,477	0,312
	0,88 l/s	0,983	0,995	0,999
	0,95 l/s	0,448	0,123	0,298
DBO	0,59 l/s	0,306	0,964	0,986
	0,78 l/s	0,698	0,215	0,46
	0,88 l/s	0,824	0,881	0,329
	0,95 l/s	0,992	0,894	0,406
SST	0,59 l/s	0,916	0,916	0,616
	0,78 l/s	0,37	0,923	0,778
	0,88 l/s	0,92	0,721	0,981
	0,95 l/s	0,494	0,914	0,523

ANEXO B.6: Análise de Variância

Parâmetros	Afluentes	Efluentes	Eficiência
	Significância	Significância	Significância
DQO	0.405	0.013	0.424
DBO	0.698	0.067	0.515
SST	0.413	0.000	0.007

ANEXO B.7A: Resultados do Teste T-Student para Concentração de DQO

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
DQO FASE B1 = DQOFASE B2	DQO FASE B1 < DQOFASE B2	<u>0,004</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B2
DQO FASE B1 = DQO FASE B3	DQO FASE B1 < DQOFASE B3	0,139	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B3
DQO FASE B1 = DQO FASE B4	DQO FASE B1 < DQOFASE B4	<u>0,003</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B4
DQO FASE B2 = DQO FASE B3	DQO FASE B2 < DQOFASE B3	-	-	Não é possível comparar, pois a concentração da fase B2 é maior do que a concentração da fase B3
DQO FASE B2 = DQO FASE B4	DQO FASE B2 < DQOFASE B4	0,324	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B2 é menor do que a concentração média na FASE B4
DQO FASE B3 = DQO FASE B4	DQO FASE B3 < DQOFASE B4	0,194	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B3 é menor do que a concentração média na FASE B4

Anexo B.7b: Resultados do Teste T-Student para Eficiência de Remoção de DQO

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
EF. FASE B1 = EF. FASE B2	EF. FASE B1 > EF. FASE B2	0,136	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B2
EF. FASE B1 = EF. FASE B3	EF. FASE B1 > EF. FASE B3	0,213	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B3
EF. FASE B1 = EF. FASE B4	EF. FASE B1 > EF. FASE B4	0,167	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4

Anexo B.8A: Resultados do Teste T-Student para Concentração de DBO

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
DBO FASE B1 = DBOFASE B2	DBO FASE B1 < DBOFASE B2	<u>0,041</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B2
DBO FASE B1 = DBO FASE B3	DBO FASE B1 < DBOFASE B3	0,073	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B3
DBO FASE B1 = DBO FASE B4	DBO FASE B1 < DBOFASE B4	<u>0,008</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B4
DBO FASE B2 = DBO FASE B3	DBO FASE B2 < DBOFASE B3	-	-	Não é possível comparar, pois a concentração da fase B2 é maior do que a concentração da fase B3
DBO FASE B2 = DBO FASE B4	DBO FASE B2 < DBOFASE B4	0,340	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B2 é menor do que a concentração média na FASE B4
DBO FASE B3 = DBO FASE B4	DBO FASE B3 < DBOFASE B4	0,153	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B3 é menor do que a concentração média na FASE B4

Anexo B.8B: Resultados do Teste T-Student para eficiência de remoção de DBO

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
EF. FASE B1 = EF. FASE B2	EF. FASE B1 > EF. FASE B2	0,294	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B2
EF. FASE B1 = EF. FASE B3	EF. FASE B1 > EF. FASE B3	0,088	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B3
EF. FASE B1 = EF. FASE B4	EF. FASE B1 > EF. FASE B4	0,271	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4
EF. FASE B2 = EF. FASE B3	EF. FASE B1 > EF. FASE B2	0,392	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B2 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4
EF. FASE B2 = EF. FASE B4	EF. FASE B2 > EF. FASE B4	0,702	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B2 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4
EF. FASE B3 = EF. FASE B4	EF. FASE B3 > EF. FASE B4	-	-	Não é possível comparar, pois a eficiência da fase B3 é menor do que a eficiência da fase B4

Anexo B.9: Resultados do Teste T-Student para Concentração de DBOsol

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
DBOsol FASE B1 = DBOsol FASE B2	DBOsol FASE B1 < DBOsol FASE B2	0,213	P- valor > 0,05 rejeita H ₁ não	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B2
DBOsol FASE B1 = DBOsol FASE B3	DBOsol FASE B1 < DBOsol FASE B3	0,176	P- valor > 0,05 rejeita H ₀ não	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B3
DBOsol FASE B1 = DBOsol FASE B4	DBOsol FASE B1 < DBOsol FASE B4	<u>0,001</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média na FASE B4
DQO FASE B2 = DQO FASE B3	DBOsol FASE B2 < DBOsol FASE B3	0,851	P- valor > 0,05 rejeita H ₀ não	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B2 é menor do que a concentração média na FASE B3
DQO FASE B2 = DQO FASE B4	DBOsol FASE B2 < DBOsol FASE B4	0,068	P- valor > 0,05 rejeita H ₀ não	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B2 é menor do que a concentração média na FASE B4
DQO FASE B3 = DQO FASE B4	DBOsol FASE B3 < DBOsol FASE B4	<u>0,045</u>	P- valor > 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE B3 é menor do que a concentração média na FASE B4

Anexo B.10A: Resultados do Teste T-Student para Concentração de SST

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
SST FASE B1 = SST FASE B2	SST FASE B1 < SST FASE B2	0,000	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE A é menor do que a concentração média na FASE B
SST FASE B1 = SST FASE B3	SST FASE B1 < SST FASE B3	0,003	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE A é menor do que a concentração média na FASE C
SST FASE B1 = SST FASE B4	SST FASE B1 < SST FASE B4	0,031	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concentração média final na FASE A é menor do que a concentração média na FASE D
SST FASE B2 = SST FASE B3	SST FASE B2 < SST FASE B3	0,929	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a concentração média final na FASE B é menor do que a concentração média na FASE C
SST FASE B2 = SST FASE B4	SST FASE B2 < SST FASE B4	-	-	Não é possível comparar, pois a concentração da fase B é maior do que a concentração da fase D
SST FASE B3 = SST FASE B4	SST FASE B3 < SST FASE B4	-	-	Não é possível comparar, pois a concentração da fase C é maior do que a concentração da fase D

Anexo B.10B: Resultados do Teste T-Student para Eficiência de Remoção de SST

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
EF. FASE B1 = EF. FASE B2	EF. FASE B1 > EF. FASE B2	0,003	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B2
EF. FASE B1 = EF. FASE B3	EF. FASE B1 > EF. FASE B3	0,003	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B3
EF. FASE B1 = EF. FASE B4	EF. FASE B1 > EF. FASE B4	0,114	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B1 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4
EF. FASE B2 = EF. FASE B3	EF. FASE B1 > EF. FASE B2	0,892	P- valor > 0,05 não rejeita H ₀	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B2 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4
EF. FASE B2 = EF. FASE B4	EF. FASE B2 > EF. FASE B4	0,150	-	Não se pode afirmar que a EFICIÊNCIA FASE B2 é maior do que a EFICIÊNCIA na FASE B4
EF. FASE B3 = EF. FASE B4	EF. FASE B3 > EF. FASE B4	0,147	-	Não é possível comparar, pois a eficiência da fase B3 é menor do que a eficiência da fase B4

Anexo B.11A: Resultados do Teste T-Student para Concentração de DBO em Relação aos Parâmetros de Lançamento

Para 40 mg/l

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
DBO FASE B1 > Parametro Lancamento	DBO FASE B1 < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B2 > Parametro Lancamento	DBO FASE B2 < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B2 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B3 > Parametro Lancamento	DBO FASE B3 < Parametro Lancamento	<u>0,00000275</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B3 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B4 > Parametro Lancamento	DBO FASE B4 < Parametro Lancamento	<u>0,01396845</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B4 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento

Para 60 mg/l

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
DBO FASE B1 > Parametro Lancamento	DBO FASE B1 < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B1 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B2 > Parametro Lancamento	DBO FASE B2 < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B2 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B3 > Parametro Lancamento	DBO FASE B3 < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B3 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B4 > Parametro Lancamento	DBO FASE B4 < Parametro Lancamento	<u>0,00000391</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B4 é menor do que a concentração média do parametro de lancamento

Anexo B.11B: Resultados do Teste T-Student para Concentração de SST em Relação aos Parâmetros de Lançamento

H ₀	H ₁	P-valor	Resultado	Conclusão
DBO FASE A > Parametro Lancamento	DBO FASE A < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE A é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE B > Parametro Lancamento	DBO FASE B < Parametro Lancamento	<u>0,00000000</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE B é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE C > Parametro Lancamento	DBO FASE C < Parametro Lancamento	<u>0,00001612</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE C é menor do que a concentração média do parametro de lancamento
DBO FASE D > Parametro Lancamento	DBO FASE D < Parametro Lancamento	<u>0,00000178</u>	P- valor < 0,05 rejeita H ₀	Afirma-se com 95% de confiança que a concntrração média final na FASE D é menor do que a concentração média do parametro de lancamento

Anexo B.12 : Tabela de resumo com os dados afluentes e efluentes usados para o cálculo da tabela 5.17

Data	DQO MBBR		DBO MBBR		SST MBBR	
	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente	Afluente	Efluente
04-05-2005	351	74	149	20	390	3
05-05-2005	381	36	123	17	418	14
10-05-2005	516	22	143	15	485	5
11-05-2005	390	25	135	19	595	5
12-05-2005	446	33	154	14	315	8
19-05-2005	349	29	165	9	358	19
31-05-2005	243	27	119	10	236	27
01-06-2005	449	25	283	14	668	36
02-06-2005	781	27	278	8	426	21
09-06-2005	245	67	211	41	388	29
13-06-2005	420	32	144	9	562	31
14-06-2005	625	50	258	14	672	19
15-06-2005	849	62	261	20	928	37
20-06-2005	973	32	398	16	116	32
21-06-2005	732	30	393	18	478	53
22-06-2005	1257	45	334	18	315	24
19-07-2005	349	100	148	28	260	46
21-07-2005	438	80	265	30	334	38
25-07-2005	399	39	146	9	372	24
27-07-2005	494	70	232	24	370	27
28-07-2005	603	92	372	32	628	45
02-08-2005	341	45	184	16	280	36
03-08-2005	383	64	149	18	314	47
04-08-2005	581	55	173	29	538	46
09-08-2005	400	36	124	9	244	39
10-08-2005	745	62	232	53	496	38
16-08-2005	375	36	147	14	236	42
17-08-2005	472	40	168	19	264	33
22-08-2005	624	37	194	17	560	31
24-08-2005	322	44	112	14	316	4
25-08-2005	499	49	184	17	378	41
29-08-2005	482	49	126	12	452	13
30-08-2005	436	49	263	33	284	54
01-09-2005	491	70	249	47	380	42
08-09-2005	253	51	74	13	155	34
13-09-2005	366	100	240	46	268	39
14-09-2005	598	65	239	23	210	44
15-09-2005	441	49	218	27	370	43
19-09-2005	301	63	82	10	322	57
20-09-2005	755	57	249	30	564	20
21-09-2005	397	19	159	16	378	33
22-09-2005	472	18	146	11	508	27
26-09-2005	591	92	128	20	222	35
28-09-2005	263	38	119	27	203	32
29-09-2005	254	51	141	16	226	32
03-10-2005	454	53	135	12	270	20
04-10-2005	434	51	159	33	340	44
05-10-2005	462	55	277	24	280	13
11-10-2005	462	55	240	25	250	45
13-10-2005	599	55	214	20	498	20
01-11-2005	516	100	236	53	570	30
03-11-2005	533	50	302	34	500	30
07-11-2005	1015	87	405	19	1292	26

Anexo B.13: Coeficiente x para cada vazão utilizada na Fase B

Dia	DBO (mg/l)	DBOsol	SST (mg/l)	x
	Efluente	mg/l	Efluente	
Fase B11				
05-05-05	17	5	14	0,84
10-05-05	15	14	5	0,26
12-05-05	14	5	8	1,14
19-05-05	9	6	19	0,20
Fase B1				
31-05-05	10	4	27	0,23
01-06-05	14	8	36	0,15
02-06-05	8	7	21	0,05
Fase B2				
09-06-05	41	9	29	1,11
13-06-05	9	5	31	0,13
14-06-05	14	13	19	0,04
15-06-05	20	17	37	0,07
20-06-05	16	3	32	0,39
21-06-05	18	7	53	0,21
22-06-05	18	4	24	0,57
19-07-05	28	0	46	0,61
21-07-05	30	5	38	0,65
25-07-05	9	6	24	0,12
27-07-05	24	10	27	0,51
28-07-05	32	14	45	0,39
02-08-05	16	7	36	0,26
03-08-05	18	12	47	0,14
04-08-05	29	0	46	0,63
09-08-05	9	0	39	0,24
10-08-05	53	18	38	0,93
16-08-05	14	5	42	0,21
17-08-05	19	10	33	0,27
22-08-05	17	11	31	0,19
24-08-05	14	7	4	1,75
25-08-05	17	10	41	0,17
29-08-05	12	8	13	0,31
30-08-05	33	18	54	0,28
01-09-05	47	45	42	0,05
08-09-05	13	11	34	0,06
13-09-05	46	17	39	0,74
14-09-05	23	15	44	0,18
Fase B3				
15-09-05	27	9	43	0,42
19-09-05	10	8	57	0,04
20-09-05	30	22	20	0,40
21-09-05	16	7	33	0,27
22-09-05	11	5	27	0,22
26-09-05	20	4	35	0,46
28-09-05	27	9	32	0,56
29-09-05	16	13	32	0,09
Fase B4				
03-10-05	12	10	20	0,10
04-10-05	33	23	44	0,23
05-10-05	24	21	13	0,23
11-10-05	25	16	45	0,20
13-10-05	20	8	20	0,60
01-11-05	53	27	30	0,87
03-11-05	34	11	30	0,77
07-11-05	19	16	26	0,12

Anexo B.14: Sólidos em Suspensão Totais e Voláteis da Fase B

Dia	Sólidos em Suspensão		Sólidos em Suspensão equivalente	
	Totais	Voláteis	Totais	Voláteis
Fase B11				
04-05-05	487	273	2462	2249
05-05-05	650	380	2625	2355
10-05-05	747	453	2722	2429
11-05-05	747	453	2722	2429
12-05-05	1650	923	3625	2898
19-05-05	2857	1597	4832	3572
Média	1189	680	3165	2655
Fase B12				
31/05/05	1920	1063	3119	2262
06-01-05	1833	1030	3032	2229
06-02-05	2057	1183	3256	2382
Média	1937	1092	3136	2291
Fase B2				
06-09-05	1080	627	2279	1826
13/06/05	312	180	1511	1379
14/06/05	2387	1397	3586	2596
15/06/05	2080	1203	3279	2402
20/06/05	2023	1060	3222	2259
21/06/05	1043	545	2242	1744
22/06/05	2037	1153	3236	2352
19/07/05	1140	673	2339	1872
21/07/05	1430	873	2629	2072
25/07/05	540	273	1739	1472
27/07/05	947	573	2146	1772
28/07/05	833	497	2032	1696
08-02-05	1890	1116	3089	2315
08-03-05	1920	1123	3119	2322
08-04-05	1600	915	2799	2114
08-09-05	1927	1120	3126	2319
08-10-05	1450	833	2649	2032
16/08/05	1697	967	2896	2166
17/08/05	1107	697	2306	1896
22/08/05	1776	1065	2975	2264
24/08/05	1060	680	2259	1879
25/08/05	753	453	1952	1652
29/08/05	1583	963	2782	2162
30/08/05	923	517	2122	1716
09-01-05	503	323	1702	1522
09-08-05	610	377	1809	1576
13/09/05	1470	910	2669	2109
14/09/05	1670	1030	2869	2229
Média	1350	791	2549	1990
Fase B3				
15/09/05	1703	1007	2902	2206
19/09/05	1103	673	2302	1872
20/09/05	1197	703	2396	1902
21/09/05	1163	660	2362	1859
22/09/05	1400	833	2599	2032
26/09/05	2087	1277	3286	2476
28/09/05	827	520	2026	1719
29/09/05	1023	650	2222	1849
Média	1313	790	2512	1990
Fase B4				
10-03-05	2003	2472	3202	2472
10-04-05	1550	2192	2749	2192
10-05-05	1503	2156	2702	2156
10-11-05	1287	1956	2486	1956
13-10-05	670	1796	1869	1796
01-11-05	570	1512	1769	1512
03-11-05	366	1433	1565	1433
07-11-05	910	1752	2109	1752
Média	1107	1909	2307	1909

Anexo B.15: Tabela de resumo dos parâmetros A/M e IVL da Fase A

Día	A/M	IVL
Fase A"		
20-10-04	0,07	47
21-10-04	0,10	38
27-10-04	0,21	81
28-10-04	0,18	59
Média	0,14	56
Fase A"		
04-11-04	0,15	39
10-11-04	0,17	43
18-11-04	0,13	46
24-11-04	0,12	25
25-11-04	0,11	28
01-12-04	0,17	36
08-12-04	0,17	17
09-12-04	0,22	38
05-01-05	0,16	63
06-01-05	0,19	37
12-01-05	0,15	51
27-01-05	0,18	40
16-02-05	0,12	24
17-02-05	0,22	32
23-02-05	0,22	16
24-02-05	0,19	19
02-03-05	0,14	37
03-03-05	0,20	53
10-03-05	0,11	30
15-03-05	0,16	37
17-03-05	0,11	43
Média	0,16	36

Anexo B.16: Tabela de resumo dos parâmetros A/M e IVL da Fase B

Día	IVL	A/M	A/M equivalente
Fase B11			
04-05-05	49	1,37	0,17
05-05-05	49	0,81	0,13
10-05-05	268	0,79	0,15
11-05-05	107	0,75	0,14
12-05-05	91	0,42	0,13
19-05-05	35	0,26	0,12
Média	100	0,73	0,14
Fase B12			
31-05-05	26,04	0,28	0,13
01-06-05	31,64	0,69	0,32
02-06-05	40,84	0,59	0,29
Média	33	0,52	0,25
Fase B2			
09-06-05	92,59	1,12	0,38
13-06-05	256,41	2,67	0,35
14-06-05	36,03	0,62	0,33
15-06-05	40,38	0,72	0,36
20-06-05	34,60	1,25	0,59
21-06-05	67,15	2,71	0,85
22-06-05	34,37	0,73	0,36
19-07-05	30,70	0,62	0,22
21-07-05	58,74	1,01	0,43
25-07-05	59,26	1,02	0,19
27-07-05	33,81	1,14	0,37
28-07-05	50,40	1,44	0,42
02-08-05	63,49	0,55	0,26
03-08-05	57,29	0,44	0,21
04-08-05	56,25	0,63	0,27
09-08-05	51,90	0,29	0,14
10-08-05	75,86	0,74	0,30
16-08-05	40,07	0,29	0,13
17-08-05	56,01	0,80	0,29
22-08-05	23,65	0,61	0,29
24-08-05	37,74	0,55	0,20
25-08-05	53,12	1,35	0,37
29-08-05	30,32	0,44	0,19
30-08-05	45,50	0,98	0,29
01-09-05	47,71	2,57	0,54
08-09-05	39,34	0,65	0,16
13-09-05	40,82	0,88	0,38
14-09-05	45,51	0,77	0,36
Média	56	0,98	0,33
Fase B3			
15-09-05	44,63	0,81	0,37
19-09-05	29,92	0,46	0,16
20-09-05	27,57	1,33	0,49
21-09-05	37,83	0,90	0,32
22-09-05	45,71	0,66	0,27
26-09-05	45,04	0,38	0,19
28-09-05	48,37	0,86	0,26
29-09-05	41,06	0,81	0,29
Média	40	0,78	0,29
Fase B4			
03-10-05	31,95	0,43	0,22
04-10-05	49,03	0,65	0,29
05-10-05	66,53	1,17	0,52
06-10-05	240,87	1,29	0,50
13-10-05	38,81	1,45	0,48
Média	85	1,00	0,40