AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E CARACTERIZAÇÃO DE PARÂMETROS EM LAGOA AERADA SEGUIDA DE LAGOA DE SEDIMENTAÇÃO

Olivia Souza de Matos

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. Isaac Volschan Junior, D.Sc.

_____

Prof. Eduardo Pacheco Jordão, D.Sc.

_____

Prof. Geraldo Lippel Sant'anna Junior, D.Sc.

_____

Prof. Marcos Von Sperling D.Sc.

RIO DE JANEIRO, RJ – BRASIL
AGOSTO DE 2005

DE MATOS, OLIVIA SOUZA

Avaliação do Desempenho e Caracterização de Parâmetros em Lagoa Aerada seguida de Lagoa de Sedimentação. [Rio de Janeiro] 2005

IX, 62 p. 29,7 cm (COPPE/UFRJ,

M.Sc., Engenharia Civil, 2005)

Dissertação - Universidade Federal do

Rio de Janeiro, COPPE

1. Lagoa Aerada, 2. Lagoa de

Sedimentação, 3.Análise de Desempenho,

4. Determinação de Parâmetros

I. COPPE/UFRJ II. Título (série).

Este trabalho é dedicado a meus pais, Julio Cezar Garcia de Matos Junior e Teresa Cristina Souza Mattoso, a meus avós, Telmo de Jesus Souza e Therezinha Frota de Souza e aos meus irmãos, Otavio Souza de Matos e Eduardo Bittencourt de Souza Mattoso.

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 de registrar a minha enorme gratidão para com elas.

Primeiramente agradeço ao meu orientador, Isaac Volschan Junior, pelos conhecimentos transmitidos e pelo acompanhamento da produção da tese. Parte do resultado que está sendo atingido com esta tese deve ser atribuído a ele.

Agradeço também ao meu orientador, José Paulo Soares de Azevedo, por todas as oportunidades oferecidas ao longo deste tempo no Laboratório de Hidráulica Computacional, e a quem também devo muito.

Gostaria de registrar a minha admiração para com meu professor Eduardo Pacheco Jordão que, através de seu talento, conhecimento e inteligência, também tem inspirado e contribuído ativamente para a minha formação.

À equipe do LEMA (Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ) por toda dedicação e empenho durante todo este tempo.

Aos operadores do Centro Experimental, Paulo Cezar e Marcelo, que com tanta responsabilidade, ajudaram a conduzir a unidade.

Aos colegas e funcionários do LHC e DRHIMA, entre os quais destaco a amiga de todas as horas, Patrícia Weibert Fonseca.

Gostaria também de agradecer à CAPES pelo apoio através do pagamento de bolsa de mestrado.

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

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO E CARACTERIZAÇÃO DE PARÂMETROS EM LAGOA AERADA SEGUIDA DE LAGOA DE SEDIMENTAÇÃO

Olivia Souza de Matos

Agosto/2005

Orientadores: José Paulo Soares de Azevedo
Isaac Volschan Junior

Programa: Engenharia Civil

Lagoas aeradas são classificadas como facultativas ou de mistura completa em função da densidade de potência dos equipamentos de aeração. O presente documento discute o desempenho de uma lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de sedimentação quando submetida a variações no tempo de detenção hidráulica. Verifica condições ideais de misturação e de disponibilidade de oxigênio dissolvido, alcançadas pelo uso de um Aerador Tipo Jato. Analisa o desempenho do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação em relação às concentrações efluentes obtidas e eficiências de remoção de DBO, DQO e SST e em relação aos padrões de lançamento de efluentes vigentes nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais. Determina parâmetros do processo, dentre eles os coeficientes global e específico de remoção de matéria orgânica para as fases experimentais e avalia a influência exercida pela concentração de sólidos em suspensão voláteis presente na massa líquida.

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

ASSESSMENT OF THE PERFORMANCE AND CHARACTERIZATION OF PARAMETERS IN AN AERATED POND FOLLOWED BY SEDIMENTATION POND

Olivia Souza de Matos

August/2005

Advisors: José Paulo Soares de Azevedo
Isaac Volschan Junior

Department: Civil Engineering

The classification given to aerated ponds as being facultative or complete mixing depends on the aeration equipment power level. The present document analyzes the performance of a completely mixed aerated pond followed by a sedimentation pond when subjected to hydraulic detention time variations. It verifies ideal mixing conditions and dissolved oxygen availability, reached when a Spurt Aerador Type is used. It analyzes the system performance formed by an aerated pond followed by a sedimentation pond according to the effluent concentrations obtained and efficiencies of BOD, COD and suspended solids. Its performance in relation to the effluent discharge standards of Rio de Janeiro, São Paulo and Minas Gerais states has also been analyzed. It determines parameters of the process, such as the global and specific coefficients of organic matter removal for the experimental phases and evaluates the influence exerted by the volatile suspended solids concentration in the liquid mass.

Índice

1) Introdução e Objetivos 1
1.1) Introdução 1
1.2) Objetivos 2
1.2.1) Objetivo Geral 2
1.2.2) Objetivos Específicos 2
2) Revisão Bibliográfica 3
2.1) Terminologia e Classificação das Lagoas de Estabilização 4
2.2) Aspectos Gerais das Lagoas Aeradas 4
2.3) Características do Processo Lagoa Aerada seguida de Lagoa de Sedimentação 6
2.3.1) Profundidade 6
2.3.2) Tempo de Detenção Hidráulica 6
2.3.3) Relação entre SST, SSV e DBO 7
2.3.4) Coeficientes de Remoção de Matéria Orgânica (K e k') 8
2.4) Requisitos de Oxigênio e Energéticos 10
2.5) Dispositivos de Aeração 11
2.6) Acumulação de Lodo 12
2.7) Referências de Casos 13
3) Materiais e Métodos 17
3.1) Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ 17
3.2) Tratamento Preliminar 19
3.3) Características do Esgoto Afluente ao CETE/UFRJ 19
3.4) Constituição do Esgoto Bruto Afluente às Unidades Experimentais 20
3.5) Características da Unidade 21
3.5.1) Fases Experimentais e Condições Operacionais 24
3.5.2) Operação, Monitoramento e Controle 24
4) Resultados e Discussão 29
4.1) Análise do Desempenho do Processo em Relação às Concentrações Efluentes e Eficiências de Remoção 36
4.2) Análise do Desempenho do Processo em Relação ao Atendimento aos Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos 47
4.3) Avaliação das Condições de Mistura da Lagoa Aerada 52
4.4) Determinação de Parâmetros do Processo 54
4.4.1) Coeficiente de remoção de matéria orgânica (K) 54
4.4.2) Coeficiente de remoção específica de matéria orgânica (k') 56

4.4.3) Relação entre SST, SSV e DBO 57
4.5) Análise Quantitativa e Qualitativa do Lodo Sedimentado.....58
Referências Bibliográficas 62

Lista de Símbolos

DBO: demanda bioquímica de oxigênio (mg/l)

DQO: demanda química de oxigênio (mg/l)

SST: sólidos em suspensão totais (mg/l)

SSV ou X_{av}: sólidos em suspensão voláteis (mg/l)

SSF: sólidos em suspensão fixos (mg/l)

S_0: concentração de DBO total afluente (mg/l)

S: concentração de DBO solúvel efluente (mg/l)

K: coeficiente de remoção de matéria orgânica solúvel (d^{-1})

k': coeficiente específico de remoção de DBO solúvel (l/mg.d)

t: tempo de detenção hidráulica (d)

a: coeficiente de consumo de oxigênio (KgO_2/KgDBO removida)

R.O: requisitos de oxigênio (KgO_2/d)

OD: oxigênio dissolvido (mg/l)

Y: coeficiente de produção celular (mgX_{av}/mgDBO)

K_d: coeficiente de decaimento bacteriano (expresso em d^{-1})

Capítulo 1: Introdução e Objetivos

1.1. Introdução

De acordo com o Censo Demográfico de 2000 (IBGE, 2000), 77,82% dos domicílios particulares permanentes do país são abastecidos por rede geral de água e 62,2% são atendidos por rede coletora de esgotos ou por fossa séptica.

De acordo com a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), dentre as quatro clássicas áreas do saneamento ambiental - abastecimento de água, esgotamento sanitário, drenagem urbana e coleta e disposição de resíduos sólidos urbanos - o esgotamento sanitário é a que tem menor presença nos 5.507 municípios brasileiros; apenas 52,2% são servidos por algum tipo de esgotamento sanitário.

O Diagnóstico dos Serviços de Água e Esgotos (CIDADES, 2002) demonstra que, quase a metade da população brasileira não é atendida por sistemas de esgotos; que 75% de todo o esgoto sanitário coletado nas cidades é despejado "in natura"; e que 60% dos esgotos de todo o país são lançados sem tratamento nos mananciais de água.

Em face do contexto apresentado, os sistemas de lagoas de estabilização constituem-se em uma tecnologia para o tratamento de esgotos cujas principais vantagens são o baixo custo de implantação, operação e manutenção e a facilidade operacional.

Dentre as modalidades do sistema de lagoas de estabilização, as lagoas aeradas de mistura completa seguidas por lagoas de sedimentação destacam-se por, comparativamente, requererem menores áreas superficiais e, dentre as desvantagens, o emprego de equipamentos eletromecânicos e requisitos de energia elétrica relativamente elevados.

Segundo a Pesquisa Nacional de Saneamento Básico (IBGE, 2000), 4,4% dos distritos brasileiros que possuem alguma unidade de tratamento de esgotos empregam o processo de lagoa aerada. As lagoas aeradas podem ser aplicadas para o pós-tratamento de efluentes de Reatores UASB, tecnologia que atualmente vem encontrando larga aplicabilidade no país para o tratamento de esgotos sanitários. O Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ (CETE/UFRJ) é dotado de uma unidade de lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação nunca antes investigada.

O presente trabalho constitui assim, o primeiro projeto de pesquisa aplicado à unidade do CETE/UFRJ e, nesse sentido, tem como objetivo avaliar o comportamento e o desempenho do processo de tratamento em função de características próprias locais, quais sejam, características do esgoto bruto afluente, das condições ambientais, e da configuração do reator biológico.

O alcance do objetivo do presente projeto de pesquisa foi delineado em função de diferentes condições operacionais impostas à unidade, principalmente caracterizadas pela variação do tempo de detenção hidráulica do processo.

1.2. Objetivos

1.2.1. Objetivo Geral

Avaliar o comportamento e o desempenho do sistema de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de sedimentação quando submetido a três diferentes tempos de detenção hidráulica.

1.2.2. Objetivos Específicos

- Avaliar as condições de mistura da lagoa aerada de mistura completa;
- Avaliar o desempenho do sistema em relação às concentrações efluentes e eficiências de remoção de DBO, DQO e SST;
- Avaliar o desempenho do sistema em relação aos padrões de lançamento de efluentes vigentes nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais;
- Determinar parâmetros clássicos e usuais do processo de lagoa aerada;
- Avaliar quantitativa e qualitativamente o lodo sedimentado na lagoa de sedimentação.

Capítulo 2: Revisão Bibliográfica

Segundo OLIVEIRA (1999), as condições meteorológicas e climáticas no Brasil são geralmente muito favoráveis ao processo de lagoas de estabilização. Considera também a disponibilidade de grandes extensões de áreas ainda existente nas cidades como outro fator que favorece a adoção do sistema para o tratamento de esgotos sanitários.

É grande a parcela da população brasileira não atendida por sistemas de coleta e transporte de esgotos, e maior ainda é a parcela cujos esgotos não são adequadamente tratados o que, conseqüentemente, resulta em comprometimento da qualidade de água dos corpos d'água. Os recursos disponíveis para investimento em programas de saneamento básico são limitados, o que torna necessária a busca da máxima eficiência de retorno dos recursos aplicados.

Os processos de tratamento são relativamente dispendiosos, em função das suas especificidades, tanto do ponto de vista da construção como de operação e manutenção. Dentre os sistemas de tratamento, as lagoas de estabilização, em função de sua simplicidade, da eficiência de remoção de poluentes que alcança, e do baixo custo de construção e operação, se apresentam como solução de larga aplicabilidade para a realidade nacional.

VON SPERLING (2002) menciona que as lagoas de estabilização são bastante indicadas para regiões de clima quente e países em desenvolvimento devido à disponibilidade de área superficial em um grande número de localidades, clima favorável com temperatura e insolação elevadas, simplicidade operacional e utilização de pouco ou nenhum equipamento.

De acordo com RAMADAN E PONCE (2003), as lagoas de estabilização estão tendo prioridade de escolha para o tratamento de esgotos sanitários também em muitas partes do mundo. Na Europa, por exemplo, as lagoas são usadas freqüentemente em comunidades rurais pequenas, para populações de até 2000 habitantes, embora maiores sistemas existam na França (quase 3000 lagoas de estabilização), Espanha e Portugal. Nos Estados Unidos, um terço de todas as plantas de tratamento de esgotos é composto por lagoas de estabilização servindo geralmente a populações de até 5.000 habitantes.

2.1. Terminologia e Classificação das Lagoas de Estabilização

De forma geral, JORDÃO E PESSÔA (1995) classificam as lagoas de estabilização da seguinte forma:

- Lagoas Anaeróbias; nas quais predominam processos de fermentação anaeróbia;
- Lagoas Facultativas; onde ocorrem, simultaneamente, processos de fermentação anaeróbia, oxidação aeróbia e redução fotossintética, nas quais a zona anaeróbia de atividade bêntica é sobreposta por uma zona aeróbia de atividade biológica próxima à superfície;
- Lagoas Estritamente Aeróbias; onde o equilíbrio entre oxidação e fotossíntese garante condições aeróbias em todo o meio;
- Lagoas Aeradas; facultativas ou de mistura completa seguidas de lagoa de sedimentação, nas quais o oxigênio é introduzido no meio líquido por meio de sistema artificial de aeração;
- Lagoas de Maturação; usadas para o polimento do efluente previamente tratado, nas quais obtém-se principalmente redução de indicadores de contaminação fecal e sólidos em suspensão; e
- Lagoas com Macrófitas; também utilizadas para o polimento final do efluente de lagoas, com o objetivo de reduzir nutrientes, sólidos em suspensão, matéria orgânica remanescente e, em determinados casos, metais.

2.2. Aspectos Gerais das Lagoas Aeradas

As lagoas aeradas assemelham-se construtivamente às lagoas de estabilização facultativas. São obras de terra com o objetivo de construção de grandes volumes para reservação dos esgotos, nas quais predominam os serviços de aterro ou de escavação, dependendo do nível de implantação das unidades, acima ou abaixo do terreno original.

As lagoas aeradas, diferentemente das lagoas de estabilização facultativas, não são processos estritamente naturais, e assim dependem da introdução artificial do oxigênio requerido pelos organismos decompositores da matéria orgânica solúvel e finamente particulada.

Segundo JORDÃO E PESSÔA (1995), devido ao fornecimento contínuo de oxigênio e à capacidade de misturação dos equipamentos de aeração, nas lagoas aeradas permite-se adotar maiores profundidades e menores tempos de detenção sendo, portanto, menor o requisito de área em comparação com os outros tipos de lagoas de estabilização.

A energia de aeração define a agitação da massa líquida em total ou parcial suspensão, e assim as lagoas aeradas podem ser classificadas como do tipo lagoas aeradas facultativas ou lagoas aeradas de mistura completa seguidas de lagoas de sedimentação.

No primeiro caso, a formação e separação dos flocos biológicos ocorrem na própria lagoa aerada. A densidade de potência de aeração é limitada e compreendida entre 0,75 e 1,5 W/m³, o que permite a sedimentação de sólidos na própria unidade. No segundo caso, a formação de flocos biológicos ocorre também na lagoa aerada mas, no entanto, a densidade de potência de aeração maior ou igual a 3,0 W/m³ impede a sedimentação de sólidos, obrigando-a a acontecer, posteriormente e em seguida, na lagoa de sedimentação.

A potência dos equipamentos de aeração é responsável pela agitação e misturação da massa líquida, perfazendo a desejada mistura do reator biológico, e pela transferência de massa de oxigênio necessária à manutenção de concentração de oxigênio dissolvido em torno de 2,0 mg/l.

Segundo VON SPERLING (2002) e JORDÃO E PESSÔA (1995), as eficiências de remoção do processo de lagoas aeradas estão em geral compreendidas entre 80 e 90% de SST, 65 e 80% de DQO e entre 50 e 95% de DBO, dependendo da modalidade adotada: aerada facultativa ou aerada seguida de lagoas de sedimentação. KÖNIG *et al* (2002) reportam a obtenção de eficiências de remoção de DBO e SST de 84% e 73% e de 77% e 71%, respectivamente, nas lagoas aeradas de Campo Grande (PB) e Patos (PB).

Considerando que o presente projeto de pesquisa foi desenvolvido numa unidade de tratamento constituída de lagoa aerada de mistura completa seguida de lagoa de sedimentação, a revisão da bibliografia seguinte limita-se aos aspectos inerentes aos objetivos específicos do trabalho e ao tipo de processo de tratamento em questão.

2.3. Características do Processo Lagoa Aerada seguida da Lagoa de Sedimentação

2.3.1. Profundidade

VON SPERLING (2002) comenta que apesar do principal critério de projeto das lagoas aeradas ser o tempo de detenção hidráulica, a profundidade da lagoa deve ser criteriosamente selecionada de forma a satisfazer os requisitos do sistema de aeração, em termos de mistura e de oxigenação. JORDÃO E PESSÔA (1995) recomendam valores compreendidos entre 2,5 e 5,0 m e VON SPERLING (2002), entre 2,5 e 4,0 m.

2.3.2. Tempo de Detenção Hidráulica

Segundo JORDÃO E PESSÔA (1995), existe um tempo de detenção mínimo abaixo do qual a lagoa aerada tem o seu desempenho seriamente comprometido. Por outro lado, trabalhos de pesquisa em laboratório e medições em escala real indicam que após um certo tempo de detenção é negligenciável a obtenção de maior remoção da matéria orgânica solúvel.

Assim, tempos de detenção acima de 4 dias não produzem melhoras significativas nos resultados do efluente das lagoas aeradas, sendo razoável admitir-se tempos de detenção compreendidos entre 3 e 4 dias (JORDÃO E PESSÔA, 1995) ou entre 2 e 4 dias (VON SPERLING, 2002).

O gráfico da Figura 2.1 ilustra a variação da concentração efluente de DBO solúvel em função da variação do tempo de detenção hidráulica para lagoas aeradas (MALINA, ALÉM E MUÑOZ, *apud* JORDÃO E PESSÔA, 1995).

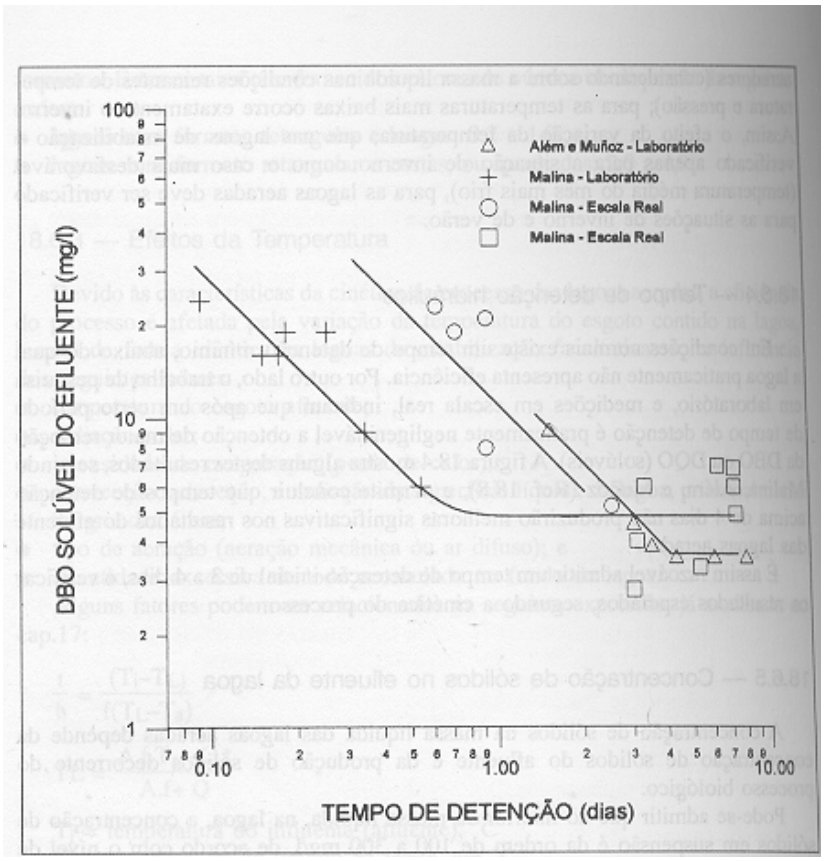


Figura 2.1 – Variação da concentração efluente de DBO solúvel em função da variação do tempo de detenção hidráulica

Para as lagoas de sedimentação admite-se tempos de detenção hidráulica de 1 a 2 dias (JORDÃO E PESSÔA, 1995).

2.3.3. Relação entre SST, SSV e DBO no efluente

Segundo JORDÃO E PESSÔA (1995), a concentração total de DBO do efluente da lagoa aerada corresponde ao somatório entre a DBO solúvel e a DBO particulada, obedecendo assim à expressão (1). Segundo Rich (2003), em efluentes de lagoas aeradas de mistura completa, a concentração de DBO solúvel é geralmente inferior a 10 mg/L, sendo a maior parcela da DBO total devida à DBO particulada.

- *DBO total = DBO solúvel + DBO particulada* (1)

- *DBO total = DBO solúvel + [SSV x (DBO particulada/SSV)]*

A literatura indica que a DBO correspondente à matéria em suspensão volátil seja da ordem de 0,5 a 0,7 mgDBO/mgSSV (JORDÃO E PESSÔA, 1995) ou de 0,4 a 0,8 mgDBO/mgSSV (VON SPERLING, 2002)

A concentração de sólidos em suspensão voláteis (X_{av}) no efluente da lagoa aerada é dada pela equação (2):

- $X_{av} = (Y (S_0-S)) / (1+K_d.t))$ (2)

onde:

- Y: coeficiente de produção celular, que representa a quantidade de biomassa produzida por unidade de substrato utilizado, expresso em $mgX_{av}/mgDBO$, compreendido entre 0,4 e 0,8 (METCALF & EDDY, *apud* VON SPERLING, 2002);

- K_d: coeficiente de decaimento bacteriano, que representa a taxa de mortandade da biomassa durante o metabolismo endógeno, expresso em d^{-1}, valor usualmente compreendido entre 0,03 e 0,08 (METCALF & EDDY, *apud* VON SPERLING, 2002)

VON SPERLING (2002) indica que nas lagoas aeradas de mistura completa a relação entre SSV e SST seja da ordem de 0,7 a 0,8 mgSSV/mgSST, enquanto JORDÃO E PESSÔA (1995) indicam valores compreendidos entre 0,6 a 0,8 mgSSV/mgSST. Estes valores permitem correlacionar a DBO particulada à concentração de SST, segundo o intervalo de valores compreendido entre 0,3 a 0,6 mgDBO/mgSST. JORDÃO E PESSÔA (1995) sugerem a concentração de SST na massa líquida em suspensão variando entre 100 e 300 mg/l.

2.3.4 – Coeficientes de remoção de matéria orgânica (K e k')

A cinética de remoção da matéria orgânica em lagoas aeradas de mistura completa obedece ao modelo de dispersão total ideal expresso pela equação (3).

- $S = S_0 / (1+K.t)$ (3)

onde:

- S: concentração de DBO solúvel efluente, em mg/l;
- S_0: concentração de DBO total afluente, que inclui a DBO solúvel e a DBO particulada, em mg/l;
- K: coeficiente de remoção de matéria orgânica solúvel, em d^{-1}
- t: tempo de detenção, em d.

O coeficiente de remoção de matéria orgânica solúvel, K, é função da biomassa ativa no processo, representada pela concentração de X_{av}. Assim é, que no caso das lagoas aeradas de mistura completa, em função da maior concentração de biomassa no reator biológico, são comparativamente mais elevados os valores do coeficiente K que nos demais sistemas de lagoas de estabilização.

O coeficiente K é compreendido pela composição do coeficiente específico de remoção de DBO solúvel – k', expresso em l/mg.d, e a concentração de sólidos em suspensão voláteis - X_{av}, expressa em mg/l, como indicado na equação (4). Assim, pode-se notar que quanto maior a concentração de biomassa (X_{av}), maior o coeficiente K e, conseqüentemente, maior a eficiência na remoção de DBO.

- $K = k'.\ X_{av}$ (4)

Para a determinação do coeficiente K, JORDÃO E PESSÔA (1995) citam a importância da influência da temperatura. De acordo com a Lei de Arrhenius, a correção do coeficiente K para a temperatura de 20ºC obedece à expressão (5). Os valores de θ usualmente recomendados compreendem-se entre 1,015 e 1,085, sendo o valor de 1,035 mais comumente praticado.

- $Kt = K_{20}.\theta^{(T-20)}$ *(5)*

Segundo VON SPERLING (2002), para lagoas aeradas de mistura completa, valores típicos de K_{20^oC} situam-se entre 1,0 e 1,5 d^{-1}. Observa-se na Tabela 2.1, adaptada de JORDÃO E PESSÔA (1995), que as sugestões de diversos autores quanto aos valores dos coeficientes k'e K_{20^oC} apresentam grande variação; salienta-se que estes valores

referem-se genericamente ao processo de lagoas aeradas, e não especificamente à lagoa aerada de mistura completa.

Tabela 2.1: Coeficientes de remoção de matéria orgânica em lagoas aeradas

Autor	k' (l/mg.d)	K_{20^oC} (d^{-1})
Metcalf e Eddy	-	2-10
Tchobanoglous	-	2,5
Mara	-	5,0
McKinney	0,08	-
Yanez	-	-
Balasha	0,031	6,7
Flecckseder	-	8,1
Arceivala	-	0,254*
Kouzell-Katsiri	-	2,7-4,8
Além-Munõz	0,052	-
CRWR, U.Texas	0,21	8,0

*** Segundo Arceivala, coeficiente de remoção de matéria orgânica total**

2.4. Requisitos de Oxigênio e Energéticos

Segundo JORDÃO E PESSÔA (1995), o oxigênio nas lagoas aeradas é necessário à síntese e ao crescimento dos organismos e à fase de respiração endógena. A transferência de oxigênio para a massa d'água ocorre pela difusão de ar comprimido ou pela exposição da mesma ao ar atmosférico, e a conseqüente criação de interfaces atmosfera-líquido.

Dentre as condições que devem ser satisfeitas, incluem-se a manutenção uniformemente distribuída de concentração de OD superiores a 2,0 mg/l.

A quantidade de oxigênio a ser transferida pelos dispositivos de aeração para a estabilização aeróbia da matéria orgânica é usualmente igual à DBO total última (DBO_u) removida, podendo ser desconsiderado o consumo de oxigênio não exercido devido aos sólidos em suspensão voláteis efluentes do sistema. De acordo com VON SPERLING (2002), a relação DBO_u/DBO nos esgotos brutos situa-se entre 1,2 e 1,5. Os requisitos de oxigênio (KgO_2/d) podem ser então calculados pela expressão (6):

- $RO = (a.Q.(S_0-S))/1000$ (6)

onde:

- a: coeficiente de consumo de oxigênio, compreendido entre 1,1 a 1,4 $kgO_2/kgDBO$ removida;
- Q: vazão afluente, em m^3/d
- S: concentração de DBO solúvel efluente, em mg/l;
- S_0: concentração de DBO total afluente que inclui a DBO solúvel e a DBO particulada, em mg/l;

Para garantia da energia necessária à manutenção da mistura completa no reator biológico, as lagoas aeradas de mistura completa devem apresentar valores de densidade de potência - energia introduzida pelos aeradores por unidade de volume do reator - maiores que 3 W/m^3 (VON SPERLING, 2002). JORDÃO E PESSÔA (1995) indicam a razoabilidade de valores compreendidos entre 3 e 4 W/m^3.

YÁNEZ (1993) sugere que a densidade de energia requerida depende da dimensão da lagoa aerada, decrescendo o valor requerido em função do aumento do volume.

ECKENFELDER, *apud* YÁNEZ (1993) recomenda densidade de 20 W/m^3; FLECKSEDER E MALINA, *apud* YÁNEZ (1993) indicam 20 W/m^3 para uma lagoa de 500 m^3 e 10 W/m^3 para 2000 m^3; BALASHA E SPERBER, *apud* YÁNEZ (1993) reportam a densidade de 3 a 4 W/m^3 para uma lagoa de 14.000 m^3.

2.5. Dispositivos de Aeração

De acordo com JORDÃO E PESSÔA (1995), os dispositivos de aeração utilizados em lagoas aeradas podem ser do tipo mecanizados de aeração superficial e do tipo ar difuso por meio de insufladores de ar.

Os aeradores mecânicos superficiais podem ser classificados em função do eixo, como do tipo vertical, horizontal e inclinado; e função do posicionamento, como fixo, em estrutura de concreto armado e flutuante; e em função da velocidade de rotação do rotor, como de baixa rotação - menor do que 150 rpm - e de alta rotação - em torno de 1.700 rpm. Os dispositivos de difusão de ar podem ser classificados como elementos discos e tubos e jatos de ar. As fotos das Figuras 2.2 a 2.7 ilustram os diversos dispositivos de aeração utilizados em lagoas aeradas.

Figura 2.2 – Aerador tipo Jato

Figura 2.3- Aerador mecânico

Figura 2.4 – Aerador mecânico superficial flutuante

Figura 2.5 – Aerador mecânico superficial em estrutura de concreto armado

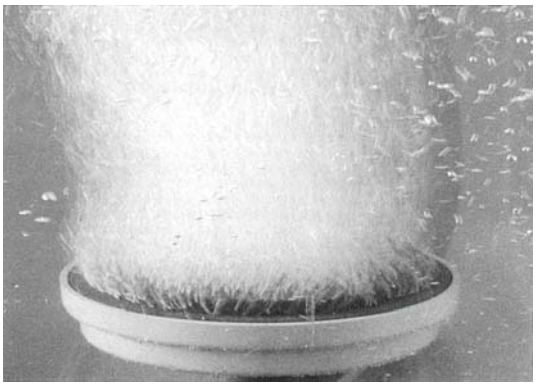


Figura 2.6 – Disco poroso – ar difuso

Figura 2.7 – Tubo poroso – ar difuso

2.6. Acúmulo de Lodo

Lagoas de estabilização acumulam lodo ao longo dos anos em virtude da sedimentação de sólidos nelas introduzidos pelos esgotos brutos. No processo de lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação, o acúmulo de lodo ocorre na última unidade, sendo a parcela

de sólidos orgânicos sedimentados continuamente eliminada por liquefação e gaseificação no ambiente anaeróbio.

A fração orgânica decomposta pela ação de microrganismos anaeróbios é transformada em subprodutos gasosos, principalmente CH_4 e CO_2; em subprodutos solúveis intermediários da decomposição e que retornam ao meio líquido; e em subprodutos sólidos remanescentes à degradação anaeróbia. A fração inorgânica também sedimentada permanece no interior da lagoa de sedimentação acumulando-se e formando um lençol de lodo.

A correta determinação da quantidade de lodo acumulado em lagoas primárias é extremamente importante para dirimir dúvidas existentes quanto à necessidade ou não de se remover lodo após alguns anos de funcionamento e, se necessária esta remoção, estimar sua freqüência.

A literatura, no entanto, pouca referência faz ao acúmulo de lodo em lagoas aeradas, principalmente no caso de lagoas de sedimentação. GONÇALVES *et al* (1997) reportam o acúmulo de 2,86 cm de lodo por ano para o caso de uma lagoa de sedimentação com 0,85 m de profundidade, 22 anos de operação, sob a vazão de 15 l/s, na qual obteve-se a seguinte composição físico-química para o lodo sedimentado: sólidos totais (5,8%), sólidos voláteis (54,8% ST), pH (5,9), DQO (939 mg/g peso seco), NTK (39,5 mg/g peso seco) e P total (9,6 mg/g peso seco). ARCEIVALA, *apud* VON SPERLING (2002) indica para lagoas aeradas facultativas taxa de acúmulo de lodo de 0,03 a 0,08 m^3/hab.ano.

As observações de ARCEIVALA, *apud* YÁNEZ (1993) e MARAIS, *apud* YÁNEZ (1993) sobre a redução da taxa de acumulação de lodo ao longo do tempo em lagoas de estabilização facultativas devem ser mencionadas, uma vez que os mesmos princípios tendem a ocorrer no caso das lagoas de sedimentação.

2.7. Referências de Casos

Baseada na modalidade lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação, destacam-se no Brasil, as seguintes estações de tratamento de esgotos:

- ETE Rio do Peixe – Garça (SP), responsável pelo tratamento de 53% do esgoto produzidos no município (Figura 2.8). *Fonte: site SAAE – Serviço Autônomo de Águas e Esgotos de Garça/SP*

Figura 2.8 – ETE rio do Peixe

- ETE Cristina - Santa Luzia (MG), com capacidade de tratamento de 110 l/s, para atendimento a 70.000 habitantes (Figura 2.9). *Fonte: site COPASA – http://www.copasa.com.br*

Figura 2.9 – ETE Cristina

- ETE Teresina – Teresina (PI), responsável pelo atendimento a 12% da população da capital piauiense (Figura 2.10). *Fonte: site Agespisa – Águas e Esgotos do Piauí - www.agespisa.com.br*

Figura 2.10 – ETE Teresina

- ETE Jundiaí – Jundiaí (SP), para atendimento à população de aproximadamente 330 mil habitantes, além do importante parque industrial municipal, totalizando a vazão de 70 mil m^3/dia e a carga orgânica de 60 tonDBO/dia, equivalente a 1 milhão de habitantes (Figura 2.11). *Fonte: site CSJ – Companhia de Saneamento de Jundiaí – www.saneamento.com.br*

Figura 2.11 – ETE Jundiaí

- CETREL - Camaçari (BA), cuja unidade de equalização atual operou parcialmente como lagoa aerada com densidade de potência de 5 W/m^3 e tempo de detenção de 1,5 dia. *Fonte: JORDÃO E PESSÔA (1995)*

- ETE Distrito Industrial – Natal (RN), reformulada e agora constituída de 2 lagoas aeradas em série seguidas de 1 lagoa de polimento (Figura 2.12). *Fonte: http:://www.caern.com.br*

Figura 2.12 – ETE Distrito Industrial

- ETE Recanto das Emas (em construção) – Brasília, com capacidade de tratamento de 320 l/s estando atualmente tratando 71 l/s (Figura 2.13). *Fonte: site Caesb – Companhia de Saneamento Ambiental do Distrito Federal – http://www.caesb.df.gov.br/sisesg.asp*

Figura 2.13 – ETE Recanto das Emas

Capítulo 3: Materiais e Métodos

3.1. Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ

A unidade experimental da pesquisa, objeto do presente trabalho, é uma das 13 unidades experimentais que compõem o Centro Experimental de Tratamento de Esgotos da UFRJ - CETE/UFRJ.

O CETE/UFRJ tem como missão atender os objetivos acadêmicos de ensino e pesquisa dos cursos de graduação e pós-graduação da UFRJ voltados à engenharia de recursos hídricos, sanitária e ambiental. Consiste em uma central de operações, processos e tecnologias dotada das seguintes unidades de tratamento de esgotos: grade de barras, desarenador por gravidade, decantação primária convencional, decantação primária quimicamente assistida, reator UASB, tanque séptico, filtro anaeróbio, filtro biológico percolador, lodos ativados, lagoa aerada, lagoa de sedimentação, lagoa facultativa e lagoa de maturação. As Figuras 3.1 e 3.2 apresentam respectivamente a vista geral e o fluxograma esquemático do CETE/UFRJ.

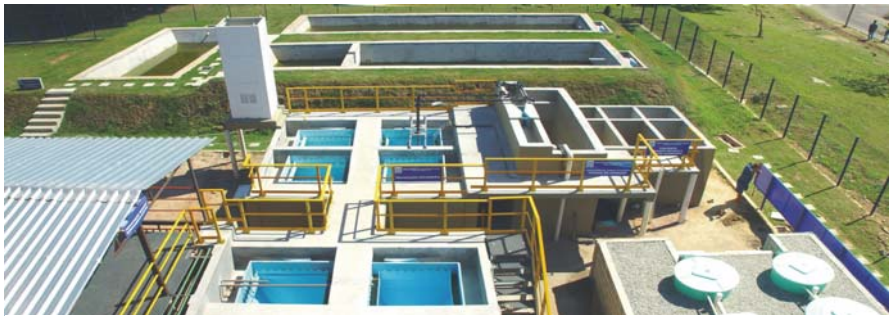


Figura 3.1: Vista geral do CETE/UFRJ

O CETE/UFRJ localiza-se na Cidade Universitária (Ilha do Fundão), próximo à estação elevatória de esgotos do Fundão, unidade responsável pela recepção dos esgotos coletados em todo campus da UFRJ e pelo recalque destes para a ETE Penha, unidade de tratamento do sistema de esgotamento sanitário da Penha (CEDAE).

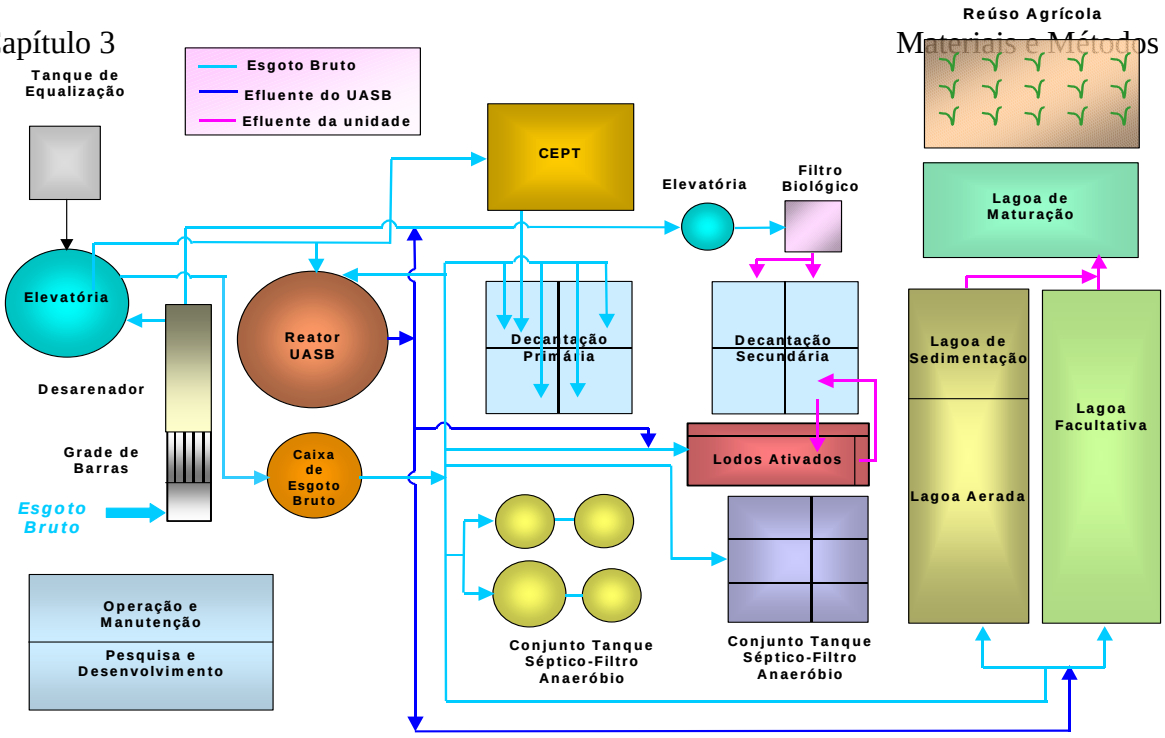


Figura 3.2: Fluxograma esquemático do CETE/UFRJ.

Através de uma bomba submersa instalada no canal de grades da estação elevatória do Fundão, parcela dos esgotos gerados na Cidade Universitária - aproximadamente 5,0 l/s, é recalcada para o tratamento preliminar do CETE/UFRJ. A Figura 3.3 ilustra a unidade de gradeamento e a estação elevatória do Fundão.

Figura 3.3: Vista da unidade de gradeamento e da estação elevatória do Fundão.

3.2. Tratamento Preliminar

O esgoto afluente ao CETE/UFRJ é tratado, preliminarmente, através de uma grade de barras médias e de um desarenador por gravidade, ambas as unidades instaladas em um mesmo canal. O efluente do tratamento preliminar escoa gravitariamente para o poço da estação elevatória de esgoto bruto, unidade responsável pelo recalque dos esgotos para a caixa de carga piezométrica do CETE/UFRJ. A Figura 3.4 ilustra as unidades do tratamento preliminar.

Figura 3.4: Grade de barras e desarenador

3.3. Características do Esgoto Afluente ao CETE/UFRJ

O esgoto afluente ao CETE/UFRJ é típico de campi universitários, apresentando composição físico-química diferenciada da composição usual dos esgotos sanitários, podendo ser classificando como um “esgoto fraco”.

Na Tabela 3.1 são apresentadas as estatísticas básicas relativas à composição físico-química do esgoto afluente ao CETE/UFRJ.

Tabela 3.1: Composição físico-química (mg/l) do esgoto afluente ao CETE/UFRJ

Estatística	DQO	DBO	SST	SSF	SSV
Quantidade de Dados	100	58	72	70	70
Média	186	112	63	13	49
Mínimo	39	29	18	0	12
Máximo	457	198	111	31	95
Coeficiente de Variação	0,32	0,35	0,27	0,49	0,29
Desvio padrão	60	40	17	7	14

3.4. Constituição do Esgoto Bruto Afluente às Unidades Experimentais

Considerando a composição físico-química do esgoto afluente ao CETE/UFRJ e visando adequá-la às características usuais dos esgotos sanitários, promove-se imediatamente após o tratamento preliminar, a adição de lodo estabilizado anaerobicamente e desidratado mecanicamente (30% de teor de sólidos) ao esgoto bruto afluente.

O lodo adicionado é proveniente da Estação de Tratamento de Esgotos da Alegria (ETE Alegria – CEDAE). Mensalmente, 1 caminhão-basculante dispõe 7,0 m^3 de lodo desidratado nas instalações do CETE/UFRJ. Diariamente, às 07:00, 11:00 e 15:00 horas são adicionados aproximadamente 54 litros de lodo ao esgoto afluente totalizando a adição diária de 162 litros.

Previamente à adição, o lodo é solubilizado em um tanque de equalização e, para tanto, adiciona-se esgoto já em circulação nas instalações do CETE/UFRJ. A vazão de lodo solubilizado é adicionada, diariamente, das 08:00 às 17:00 horas, segundo vazão equivalente a 10% da vazão de esgoto afluente ao CETE/UFRJ. A adição é fisicamente realizada no poço da estação elevatória de esgoto bruto. As fotografias das Figuras 3.5 a 3.9 ilustram as instalações e os procedimentos para a adição de lodo solubilizado ao esgoto afluente do CETE/UFRJ.

Figura 3.5: Tanque de armazenamento do lodo

Figura 3.6: Vista geral das instalações para a adição de lodo

Figura 3.7: Tanque de equalização

Figura 3.8: Vista do Tanque de equalização e da estação elevatória

Figura 3.9: Poço da estação elevatória e adição de lodo solubilizado

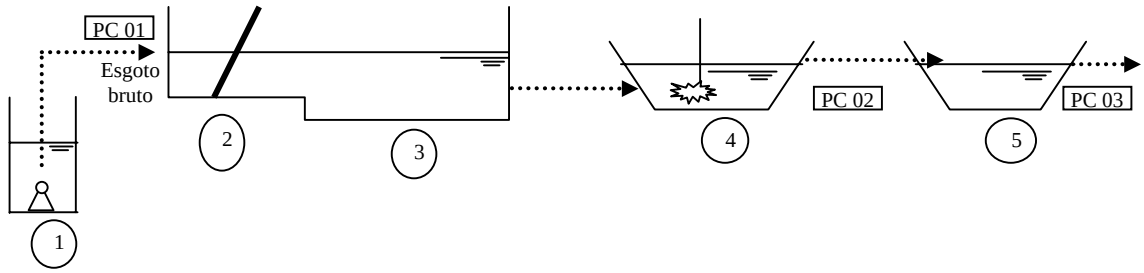
O procedimento permite a elevação das concentrações dos diferentes parâmetros físico-químicos para patamares similares aos encontrados nos esgotos sanitários e, assim, a constituição do esgoto bruto efetivamente afluente às unidades experimentais do CETE/UFRJ. Na Tabela 3.2 são indicados os resultados alcançados. Para efeito do presente trabalho, denomina-se como esgoto bruto, o líquido resultante da mistura entre o esgoto afluente ao CETE/UFRJ e o lodo solubilizado.

Tabela 3.2: Composição físico-química do esgoto bruto afluente à unidade experimental de pesquisa.

Estatística	DQO	DBO	SST	SSF	SSV
Quantidade de Dados	103	49	79	79	79
Média	446	177	295	110	182
Mínimo	86	63	84	11	9
Máximo	1111	601	1073	457	617
Coeficiente de Variação	0,40	0,51	0,52	0,68	0,51
Desvio padrão	179	89	152	75	93

3.5. Características da Unidade

Desde a caixa de carga piezométrica, o esgoto bruto então escoa gravitariamente para a unidade experimental de pesquisa, cujo fluxograma é apresentado na Figura 3.10.



1 – Elevatória de esgoto bruto
2 – Grade de barras
3 – Desarenador
4 – Lagoa Aerada de Mistura Completa
5 – Lagoa de Sedimentação
PC 01 – Ponto de coleta 01 (esgoto bruto, ou seja, mistura entre o esgoto afluente ao CETE Poli/UFRJ e o lodo solubilizado)
PC 02 – Ponto de coleta 02 (efluente lagoa aerada de mistura completa)
PC 03 – Ponto de coleta 03 (efluente da lagoa de sedimentação)

Figura 3.10: Fluxograma da Unidade Experimental

A lagoa aerada do CETE/UFRJ é constituída por um tanque de seção vertical trapezoidal, construído em concreto armado e envolto em taludes de terra. A lagoa apresenta as seguintes dimensões: extensão de 10,10m e largura de 3,80m na borda superior, profundidade total de 2,40m e profundidade útil de 2,20m. Os taludes internos apresentam a declividade de 1:3. As fotografias das Figuras 3.11 e 3.12 ilustram a lagoa aerada do CETE/UFRJ.

O volume da lagoa aerada é de 62 m³. O sistema de aeração consiste em um aerador tipo jato, marca AMBIO, dotado de uma bomba de recirculação de 3,5 cv. O sistema além de garantir a quantidade de oxigênio requerida pelos organismos para a decomposição da matéria orgânica solúvel e finamente particulada, permite a manutenção da massa líquida em total suspensão, perfazendo a densidade de potência de 42 W/m³.

Figura 3.11 – Lagoa Aerada do CETE /UFRJ

Figura 3.12 – Aerador Tipo Jato de 3,5 cv

O esgoto afluente aflui à unidade através de uma calha contendo um medidor Thompson e um medidor Parshall de 1”, conforme ilustra a fotografia da Figura 3.13. O objetivo do vertedor Thompson é somente de confirmar as vazões obtidas pelo medidor Parshall.

Figura 3.13 – Calha Parshall

A lagoa de sedimentação, unidade subseqüente à lagoa aerada, apresenta as seguintes dimensões: extensão de 3,60m e largura de 3,60m na borda superior, profundidade total de 2,40m e profundidade útil de 2,20m. Da mesma forma, as declividades dos taludes internos são de 1:3. O volume da lagoa de sedimentação é de 20 m^3. A fotografia da Figura 3.14 ilustra a lagoa de sedimentação do CETE /UFRJ.

Figura 3.14 – Lagoa de Sedimentação do CETE /UFRJ

3.5.1.Fases Experimentais e Condições Operacionais

As fases experimentais diferem em função das condições operacionais impostas à unidade durante o desenvolvimento do projeto de pesquisa, de acordo com a variação do tempo de detenção hidráulica, como demonstrado na Tabela 3.3.

Tabela 3.3: Fases Experimentais e Condições Operacionais

Fase	Vazão (m^3/dia)	Tempo de Detenção (dia)	Tempo de Detenção (dia)
		Lagoa Aerada	Lagoa Sedimentação
A	13	4,8	1,5
B	26	2,4	0,8
C	43	1,4	0,5

3.5.2. Operação, Monitoramento e Controle

As condições de mistura da lagoa aerada de mistura completa foram semanalmente avaliadas visando à configuração dos perfis transversal e longitudinal das concentrações de sólidos em suspensão totais (SST) e voláteis (SSV) e de oxigênio dissolvido (OD) na massa líquida. A disponibilidade de oxigênio dissolvido foi mensurada no campo através de oxímetro portátil, marca SHOTT.

A avaliação de desempenho do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação se baseou no monitoramento do esgoto bruto afluente segundo amostras compostas horárias, coletadas 2 vezes por semana, no período compreendido entre 8:00 e 17:00

horas e no monitoramento dos esgotos efluentes da lagoa aerada e da lagoa de sedimentação, segundo amostras simples, coletadas 2 vezes por semana, às 15:00 horas. O programa de monitoramento constou da análise dos seguintes parâmetros físico-químicos: temperatura, pH, turbidez, DQO, DBO e SST. Todas as análises foram processadas no Laboratório de Engenharia do Meio Ambiente da Escola Politécnica da UFRJ (LEMA-UFRJ), de acordo com o que preconiza o Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater (20ª edição). A Tabela 3.4 apresenta o elenco de parâmetros físico-químicos analisados, sua respectiva freqüência de amostragem e métodos e equipamentos utilizados.

Tabela 3.4: Programa de Monitoramento da Lagoa Aerada e de Sedimentação do CETE /UFRJ

Parâmetro	Frequência			Método	Equipamento	Quantidade de amostras analisadas
	Afluente	Efluente L.A	Efluente L.S			
DBO	2 x semana	2 x semana	2 x semana	Diluições	Incubadora DBO 20º	99
DBO filt	Análises pontuais			Diluições	Incubadora DBO 20º	24
DQO	2 x semana	2 x semana	2 x semana	Refluxo Aberto	Bloco Digestor	126
SST	2 x semana	2 x semana	2 x semana	Gravimétrico	Bomba de vácuo/Estufa 103º/Mufla 550ºC	123
SSV	2 x semana	2 x semana	2 x semana	Gravimétrico	Bomba de vácuo/Estufa 103º/Mufla 550ºC	123
pH	2 x semana	2 x semana	2 x semana	Potenciométrico	Potenciômetro	138
Turbidez	2 x semana	2 x semana	2 x semana	FAU (HACH)	DR 2010 Espectrofotômetro	135
Temperatura	2 x semana	2 x semana	2 x semana	-	-	138
OD	2 x semana	2 x semana	2 x semana	Oximétrico	Oxímetro	342

A Figura 3.15 indica os pontos de monitoramento das condições de mistura da lagoa aerada. Para a coleta de amostras nas diferentes profundidades da lagoa aerada utilizou-

se um instrumento tipo “amostrador de coluna”, como ilustra a fotografia da Figura 3.16.

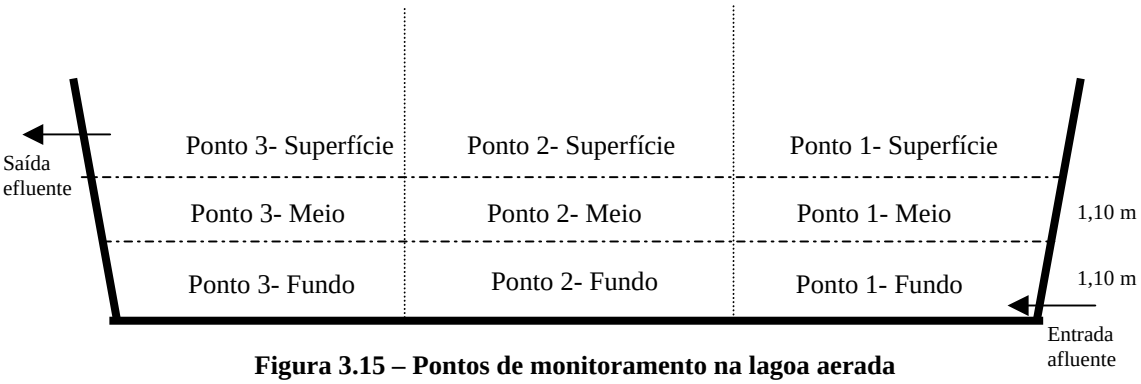


Figura 3.15 – Pontos de monitoramento na lagoa aerada

Figura 3.16 – “Amostrador de coluna”

Para mensuração da quantidade de lodo acumulado no fundo da lagoa de sedimentação, dois dispositivos para acumulação de lodo foram idealizados e constituídos por béqueres adaptados. Os mesmos foram instalados no interior da unidade. Quando necessária a remoção, eram içados por hastes de cordas presas a eles. A Figura 3.17 ilustra o dispositivo de acumulação de lodo.

Figura 3.17 – Dispositivo de acúmulo do lodo

A operação da unidade experimental foi continuamente assistida ao longo do projeto de pesquisa. Verificava-se diariamente a vazão afluente e mantinha-se limpa a calha Parshall para a adequada medição da vazão, cujo controle era realizado por meio de registro de manobra instalado na tubulação afluente. As fotografias das Figuras 3.18 a 3.20 ilustram algumas das atividades rotineiras de operação e manutenção da unidade experimental.

Figura 3.18– Limpeza da calha Parshall

Figura 3.19 – Medição de OD com oxímetro portátil

Figura 3.20– Coleta de amostra no vertedor efluente da lagoa de sedimentação

Capítulo 4: Resultados e Discussão

O presente capítulo encontra-se organizado de forma a atender aos objetivos específicos previamente definidos, da seguinte forma:

- Análise do desempenho do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação em relação às concentrações efluentes e às eficiências de remoção de DBO, DQO e SST;
- Análise do desempenho do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação em relação aos padrões de lançamento de efluentes vigentes nos Estados do Rio de Janeiro, São Paulo e Minas Gerais;
- Avaliação das condições de mistura da lagoa aerada;
- Determinação de parâmetros clássicos e usuais do processo da lagoa aerada;
- Análise quantitativa e qualitativa do lodo sedimentado na lagoa de sedimentação.

A Tabela 4.1 apresenta os resultados do monitoramento das concentrações afluentes ao sistema e das concentrações efluentes da lagoa aerada e da lagoa de sedimentação, enquanto a Tabela 4.2 apresenta os respectivos resultados das eficiências de remoção do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação. Ambos os casos têm como referência os seguintes parâmetros físico-químicos: DBO, DQO e SST.

Os gráficos das Figuras 4.1, 4.3, 4.5 ilustram as séries temporais dos resultados das concentrações afluentes e efluentes de cada unidade, enquanto os gráficos das Figuras 4.2, 4.4, e 4.6 ilustram as séries temporais das eficiências de remoção.

Complementarmente, na Tabela 4.3 são apresentados os resultados obtidos em relação à turbidez, temperatura e pH do esgoto bruto afluente e efluente ao sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação.

Os gráficos apresentados foram desenvolvidos por meio da Planilha Microsoft Excel “Modelo_Planilha_Afluente_Efluente.xls” (VON SPERLING, 2005). Os testes estatísticos tiveram como ferramenta de suporte o programa SIGMA PLOT.

Tabela 4.1 – Concentrações afluentes e efluentes de DQO, DBO e SST

Mês	Nº	Amostra	Fase	DQO (mg/l)			DBO (mg/l)			SST (mg/l)		
				Afl.	L.A.	L.S.	Afl.	L.A.	L.S.	Afl.	L.A.	L.S.
Julho	1	1/7/04	A	481	166	83	-	74	21	-	128	11
	2	6/7/04		523	138	46	-	48	32	-	27	13
	3	8/7/04		498	92	55	-	39	18	244	29	12
	4	13/7/04		357	89	62	-	41	17	194	24	18
	5	15/7/04		409	38	10	-	15	8	240	8	2
	6	20/7/04		414	66	28	-	30	14	286	3	2
	7	22/7/04		434	-	-	-	21	20	278	13	5
	8	27/7/04		346	84	75	-	-	-	199	19	3
	9	29/7/04		-	-	-	-	23	14	174	74	27
Agosto	10	3/8/04		510	78	69	-	23	13	-	-	-
	11	5/8/04		447	155	49	222	43	16	151	14	2
	12	10/8/04		718	181	67	150	41	21	218	33	3
	13	12/8/04		-	-		-	-	-	468	31	7
	14	17/8/04		650	110	28	263	83	12	452	31	12
	15	19/8/04		429	67	19	137	51	9	130	34	5
	16	24/8/04		-	-		-	-	-	-	-	-
	17	26/8/04		-	-		168	36	24	167	29	13
	18	31/8/04		-	-		-	56	-	220	33	16
Setem	19	2/9/04		-	-		-	-	-	-	-	-
	20	9/9/04		333	190	76	107	32	24	-	-	-
	21	14/9/04		-	-		-	-	-	-	-	-
	22	16/9/04		-	-		-	-	-	-	-	-
	23	21/9/04		403	112	66	173	36	18	284	53	10
	24	23/9/04		281	86	57	106	50	21	207	69	32
	25	28/9/04		419	105	57	162	66	27	264	91	25
Outub	26	5/10/04		809	190	95	-	-	-	280	138	18
	27	7/10/04		355	178	96	-	-	-	-	-	-
	28	14/10/04		338	94	9	119	52	6	-	-	-
	29	19/10/04		-	129	37	-	83	15	-	194	17
	30	21/10/04		385	298	88	-	-	-	-	-	-
	31	26/10/04		254	182	73	-	-	-	-	-	-
	32	28/10/04		489	169	75	147	77	13	520	183	29
Nove.	33	17/11/04	B	643	371	143	-	-	-	303	206	48
	34	22/11/04		371	249	111	135	82	26	248	105	5
	35	24/11/04		647	351	54	153	72	4	-	-	-
	36	29/11/04		282	128	51	182	53	22	220	190	36
Dez.	37	1/12/04		512	256	102	238	111	29	512	181	13
	38	6/12/04		428	166	48	137	112	28	632	136	29
	39	8/12/04		862	255	39	-	-	-	357	178	13
	40	13/12/04		440	94	76	-	-	-	-	76	12
Fev.	41	28/2/05		344	86	34	105	34	22	306	27	16
Mar.	42	2/3/05		302	151	-	150	54	-	194	37	-
	43	3/3/05		420	100	-	175	57	-	336	18	-
Jan.	44	3/1/05	C	739	148	92	211	61	44	692	50	20
	45	5/1/05		338	150	94	123	69	38	200	34	18
	46	10/1/05		-	-	-	-	-	-	-	-	-
	47	12/1/05		-	-	-	-	-	-	293	-	29
	48	17/1/05		576	58	38	127	22	18	483	-	20
	49	24/1/05		250	134	96	80	35	24	353	-	40
	50	26/1/05		-	-	-	-	-	-	455	21	12
	51	31/1/05		-	-	-	-	-	-	251	39	11
Fev.	52	2/2/05		294	118	98	-	-	-	243	17	11
	53	14/2/05		269	211	77	-	-	-	286	54	1
	54	16/2/05		291	127	91	78	30	17	231	28	12
	55	17/2/05		418	145	-	141	37	-	394	53	-
Mar.	56	14/3/05		400	109	55	121	45	19	530	23	3
Abr.	57	11/4/05		-	-	-	186	-	-	-	-	-
	58	12/4/05		-	-	-	190	-	-	-	-	-
	59	13/4/05		-	-	-	143	-	-	-	-	-

Afl.: Esgoto bruto afluente à lagoa aerada

L.A: Esgoto efluente da lagoa aerada e afluente à lagoa de sedimentação

L.S: Esgoto efluente da lagoa de sedimentação

Tabela 4.2 – Eficiências de remoção de DQO, DBO e SST do sistema

Mês	Nº	Amostra	Fase	E DQO (%)	E DBO (%)	E SST (%)
Julho	1	1/7/04	A	83	-	-
	2	6/7/04		91	-	-
	3	8/7/04		89	-	95
	4	13/7/04		83	-	91
	5	15/7/04		98	-	99
	6	20/7/04		93	-	99
	7	22/7/04		-	-	98
	8	27/7/04		78	-	98
	9	29/7/04		-	-	85
Agosto	10	3/8/04		86	-	-
	11	5/8/04		89	93	99
	12	10/8/04		91	86	99
	13	12/8/04		-	-	99
	14	17/8/04		96	96	97
	15	19/8/04		96	93	96
	16	24/8/04		-	-	-
	17	26/8/04		-	86	92
	18	31/8/04		-	-	93
Setem	19	2/9/04		-	-	-
	20	9/9/04		77	78	-
	21	14/9/04		-	-	-
	22	16/9/04		-	-	-
	23	21/9/04		84	90	96
	24	23/9/04		80	80	85
	25	28/9/04		86	84	91
Outub	26	5/10/04		88	-	94
	27	7/10/04		73	-	-
	28	14/10/04		97	95	-
	29	19/10/04		-	-	-
	30	21/10/04		77	-	-
	31	26/10/04		71	-	-
	32	28/10/04		85	91	94
Nove.	33	17/11/04	B	78	-	84
	34	22/11/04		70	81	98
	35	24/11/04		92	97	-
	36	29/11/04		82	88	84
Dez.	37	1/12/04		80	88	97
	38	6/12/04		89	80	95
	39	8/12/04		95		96
	40	13/12/04		83	-	-
Fev.	41	28/2/05		90	79	95
Mar.	42	2/3/05		-	-	-
	43	3/3/05		-	-	-
Jan.	44	3/1/05	C	88	79	97
	45	5/1/05		72	69	91
	46	10/1/05		-	-	-
	47	12/1/05		-	-	90
	48	17/1/05		93	86	96
	49	24/1/05		62	70	89
	50	26/1/05		-	-	97
	51	31/1/05		-	-	96
Fev.	52	2/2/05		67	-	95
	53	14/2/05		71	-	100
	54	16/2/05		69	78	95
	55	17/2/05		-	-	-
Mar.	56	14/3/05		86	84	99
Abr.	57	11/4/05		-	-	-
	58	12/4/05		-	-	-
	59	13/4/05		-	-	-

Tabela 4.3 – Monitoramento dos parâmetros físicos

Dia	pH	Temp. (ºC)	Turbidez (FAU)	pH	Temp. (ºC)	Turbidez (FAU)	pH	Temp. (ºC)	Turbidez (FAU)
	Afluente			Lagoa Aerada			Lagoa de Sedimentaçao		
21/jul	7,1	22,2	105,1	7,2	21,4	6,9	7,2	21,4	6,9
22/jul	6,9	20,4	118,5	7,2	20,7	4,3	7,2	20,7	4,3
27/jul	6,7	23,7	121,5	7,0	23,6	5,9	7,0	23,6	5,9
28/jul	6,9	22,4	133,8	7,0	22,6	5,1	7,0	22,6	5,1
29/jul	6,9	22,3	133,0	7,1	23,0	5,0	7,1	23,0	5,0
3/ago	7,0	25,2	-	7,2	25,5	-	7,2	25,5	-
4/ago	7,0	26,1	133,0	7,0	27,7	8,3	7,0	27,7	8,3
5/ago	7,0	26,1	159,0	7,2	28,2	12,5	7,2	28,2	12,5
10/ago	6,9	24,4	130,3	7,4	25,7	22,5	7,4	25,7	22,5
11/ago	7,1	24,7	132,0	7,4	25,8	8,5	7,4	25,8	8,5
12/ago	7,1	24,1	170,0	7,5	23,4	11,0	7,5	23,4	11,0
17/ago	6,9	26,7	184,0	7,1	27,5	6,5	7,1	27,5	6,5
18/ago	6,9	27,1	150,0	7,2	27,7	6,0	7,2	27,7	6,0
19/ago	6,8	27,6	166,0	7,3	29,8	5,5	7,3	29,8	5,5
24/ago	6,9	23,6	205,0	7,3	22,7	20,0	7,3	22,7	20,0
25/ago	7,1	27,1	175,0	7,3	28,3	11,0	7,3	28,3	11,0
26/ago	7,0	25,2	163,0	7,4	25,7	11,5	7,4	25,7	11,5
31/ago	6,9	29,5	140,0	7,6	28,5	11,5	7,6	28,5	11,5
2/set	6,8	27,5	175,0	7,6	30,1	19,0	7,6	30,1	19,0
8/set	6,8	27,3	155,0	7,0	30,6	15,0	7,0	30,6	15,0
9/set	6,9	28,2	135,0	7,0	30,4	38,0	7,0	30,4	38,0
14/set	6,9	28,4	133,0	7,2	31,3	15,0	7,2	31,3	15,0
15/set	7,0	26,9	125,0	7,8	29,7	11,0	7,8	29,7	11,0
16/set	7,0	25,6	123,0	7,4	25,4	30,0	7,4	25,4	30,0
21/set	6,7	27,9	160,0	7,2	30,0	9,0	7,2	30,0	9,0
22/set	6,9	28,9	170,0	7,8	31,7	12,0	7,8	31,7	12,0
23/set	6,8	28,2	120,0	7,5	31,4	17,0	7,5	31,4	17,0
28/set	6,6	29,5	120,0	6,8	32,2	6,0	6,8	32,2	6,0
29/set	6,6	30,0	169,0	7,1	29,5	17,0	7,1	29,5	17,0
6/out	6,8	23,4	110,0	6,7	22,8	10,0	6,7	22,8	10,0
7/out	6,9	24,9	135,0	6,8	25,5	14,0	6,8	25,5	14,0
13/out	6,8	29,1	130,0	8,2	31,2	15,0	8,2	31,2	15,0
14/out	6,8	27,6	155,0	7,6	28,2	14,0	7,6	28,2	14,0
4/nov	6,6	30,8	95,0	6,9	33,4	10,0	6,9	33,4	10,0
9/nov	6,8	27,4	153,0	7,1	27,8	23,0	7,1	27,8	23,0
11/nov	6,8	28,8	130,0	7,0	33,4	14,0	7,0	33,4	14,0
16/nov	6,7	25,1	59,0	6,5	24,8	27,0	6,5	24,8	27,0
17/nov	6,6	27,1	140,0	6,1	28,2	19,0	6,1	28,2	19,0
18/nov	6,8	26,8	142,0	6,2	27,1	33,0	6,2	27,1	33,0
23/nov	7,1	26,5	106,0	6,1	29,1	13,0	6,1	29,1	13,0
7/dez	6,7	28,6	130,0	6,4	31,5	60,0	6,6	32,8	18,0
14/dez	6,7	29,6	189,0	6,9	30,3	70,0	8,0	31,0	21,0
17/fev	6,9	27,9	173,0	7,2	30,2	46,0	7,1	30,3	15,0
24/fev	6,4	30,3	141,0	7,4	33,1	25,0	7,5	33,7	10,0
6/abr	6,4	30,1	160,0	7,5	31,0	32,0	7,5	31,5	15,0
13/abr	6,6	29,9	130,0	7,1	31,1	61,0	7,7	31,0	24,0

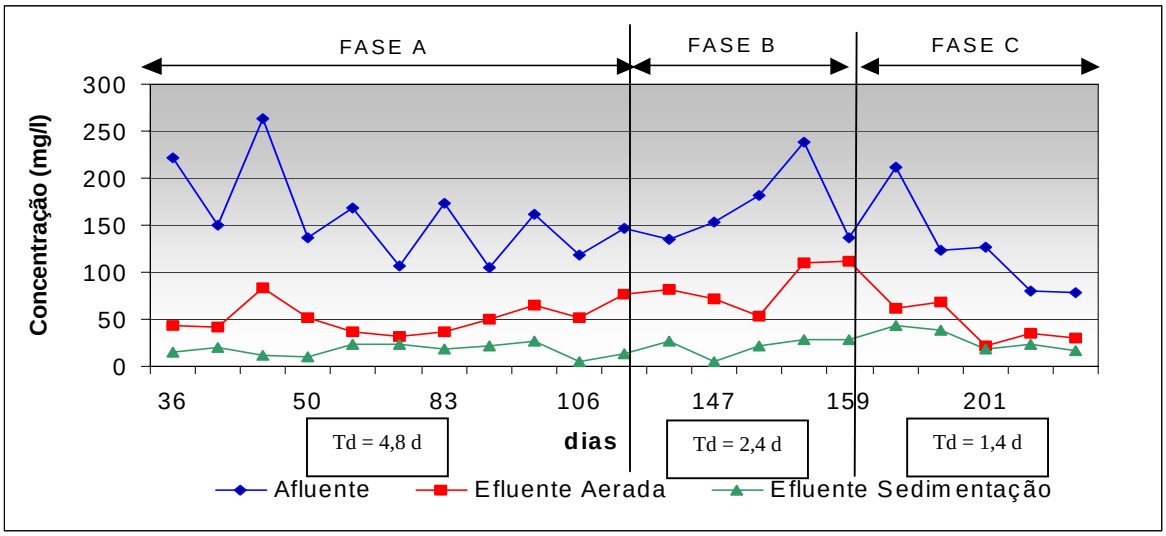


Figura 4.1: Série temporal das concentrações afluentes e efluentes de DBO

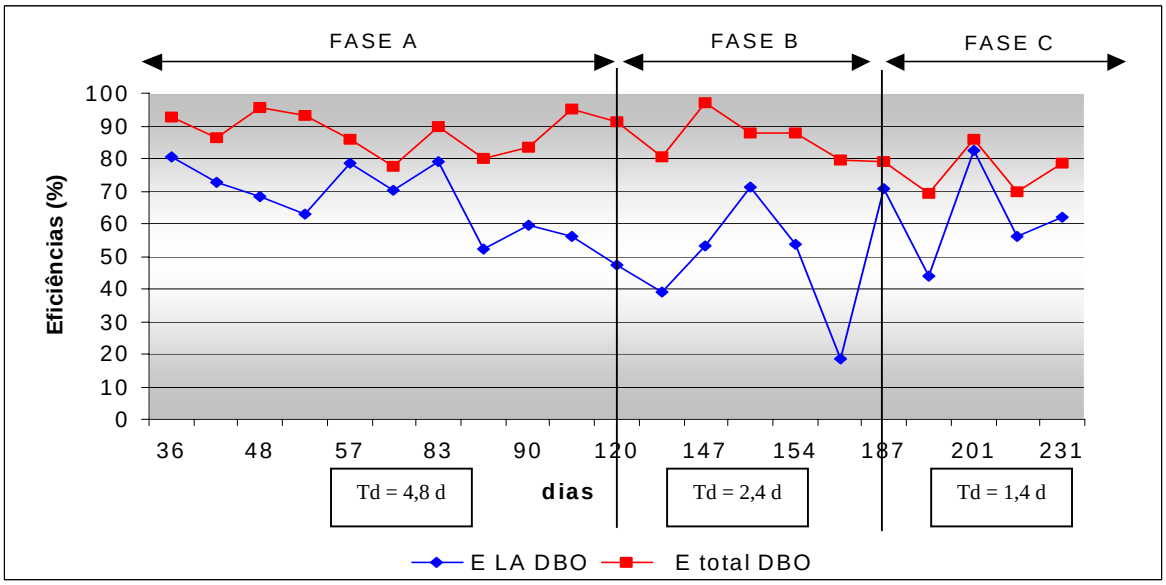


Figura 4.2: Série temporal da eficiência de remoção de DBO

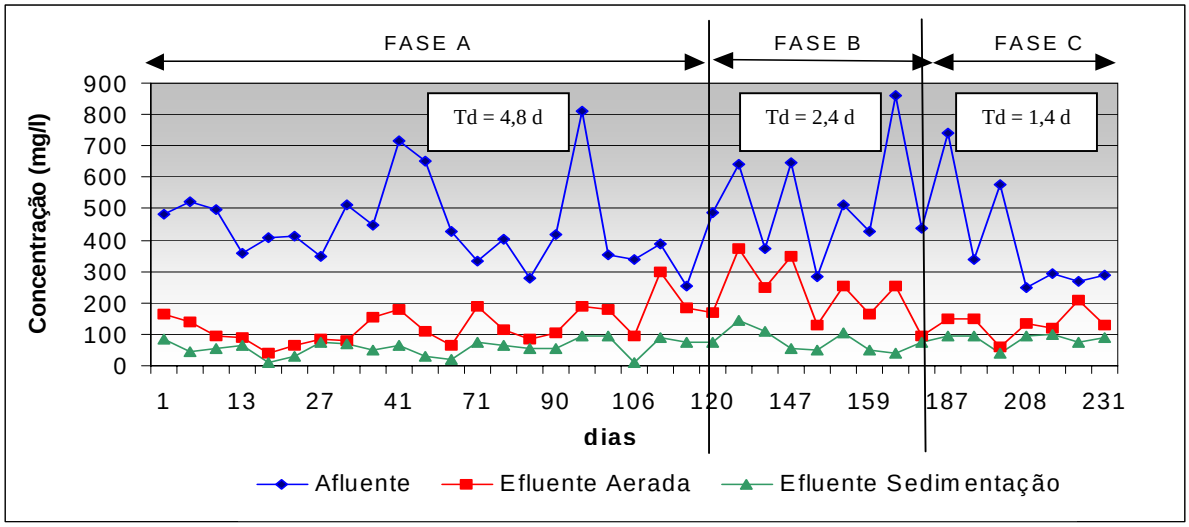


Figura 4.3: Série temporal das concentrações afluentes e efluentes de DQO

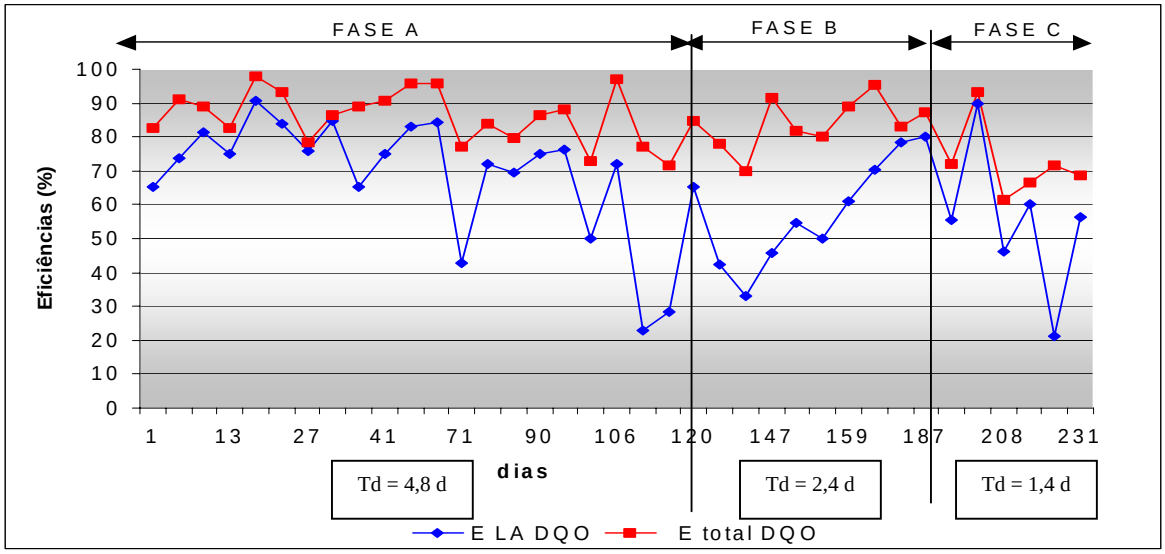


Figura 4.4: Série temporal da eficiência de remoção de DQO

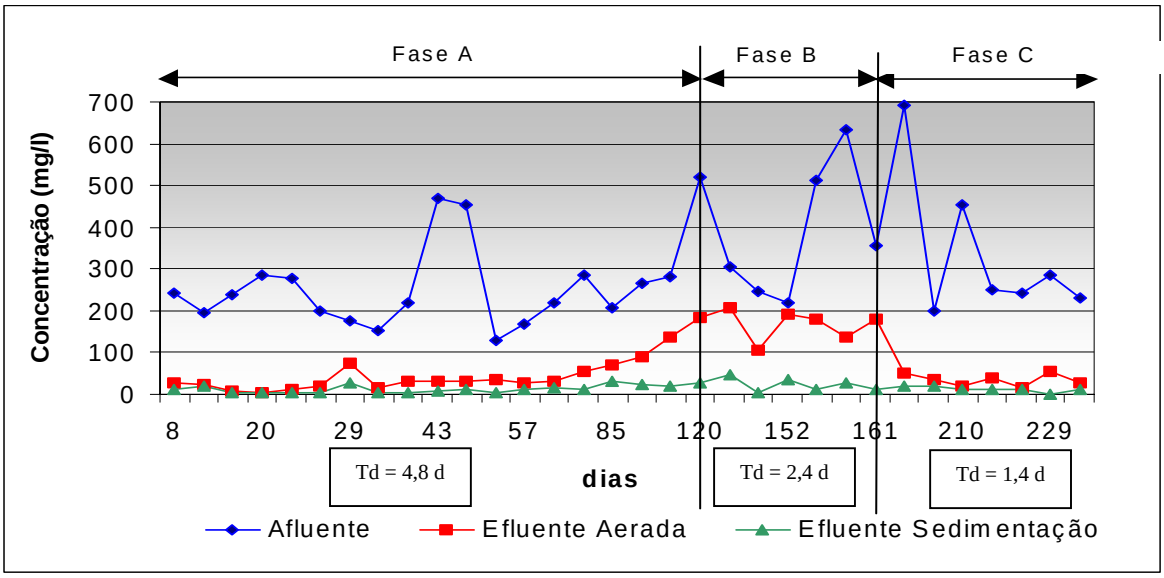


Figura 4.5: Série temporal das concentrações afluentes e efluentes de SST

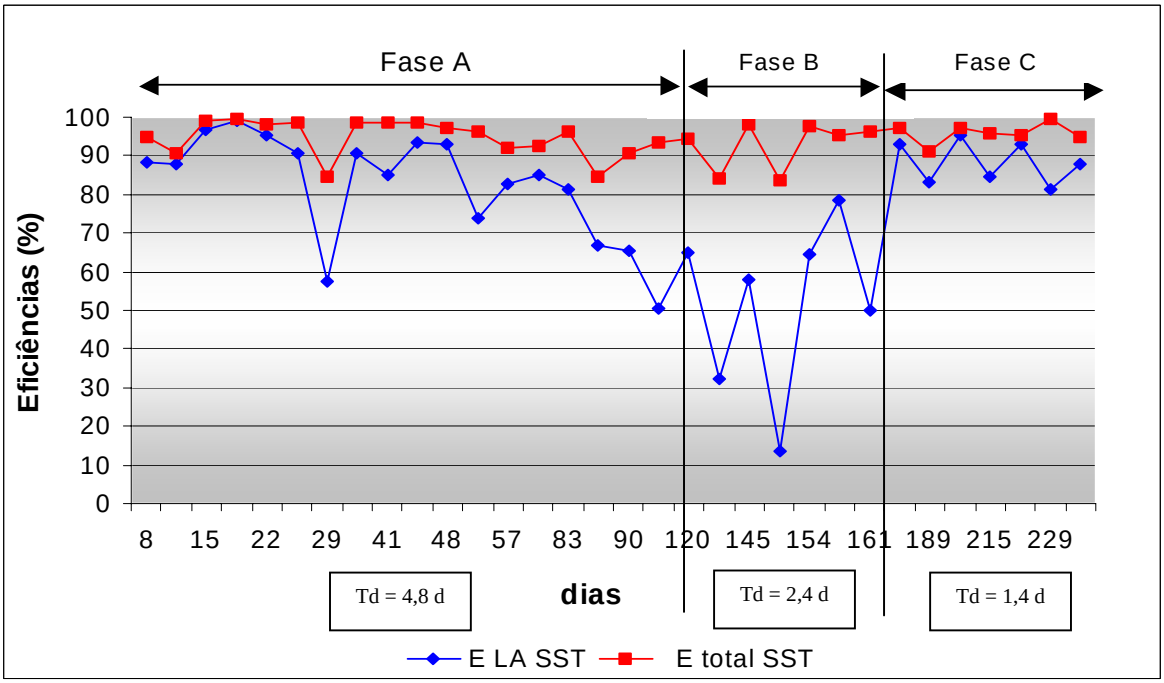


Figura 4.6: Série temporal da eficiência de remoção de SST

Como ilustra a Figura 4.5, as concentrações efluentes de SST da lagoa aerada da Fase B aumentaram quando comparadas à Fase A do experimento devido à diminuição do tempo de detenção hidráulica da unidade. Ao analisarmos a Fase C, com tempo de detenção ainda menor, observamos uma diminuição das concentrações efluentes

também comparando com a Fase B. Uma das possíveis explicações para este acontecimento deve-se ao provável arraste de biomassa na lagoa aerada em função do aumento da vazão nesta fase experimental.

4.1. Análise do Desempenho do Processo em Relação às Concentrações Efluentes e Eficiências de Remoção

As Tabelas 4.4 a 4.12 apresentam em relação aos parâmetros DBO, DQO e SST, os resumos das estatísticas descritivas das concentrações afluentes e efluentes de cada unidade do sistema de tratamento e das respectivas eficiências de remoção, obtidos em cada uma das 3 fases experimentais. Posteriormente às tabelas, os gráficos Box and Whiskers das Figuras 4.7 a 4.18 ilustram as estatísticas descritivas. As análises realizadas e os gráficos apresentados tiveram como ferramenta de suporte a Planilha Microsoft Excel "Modelo_Planilha_Afluente_Efluente.xls" (VON SPERLING, 2005).

Tabela 4.4 – Estatísticas descritivas das concentrações de DBO afluentes ao sistema

Fase	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mediana (mg/l)	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Med. + d. padrão	Med. - d. padrão	Percentis 10% (mg/l)	Percentis 25% (mg/l)	Percentis 50% (mg/l)	Percentis 75% (mg/l)	Percentis 90% (mg/l)
A	11	159	106	263	150	48	0,30	207	111	107	128	150	170	222
B	8	159	105	238	151	40	0,25	199	119	126	137	151	176	199
C	7	126	78	211	123	45	0,36	171	81	79	100	123	134	169

Tabela 4.5 – Estatísticas descritivas das concentrações efluentes de DBO

Fase	Unidade	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mediana (mg/l)	Desvio padrão	Coeficiente de Variação	Med. + d. Padrão	Med. - d. padrão	Percentis 10% (mg/l)	Percentis 25% (mg/l)	Percentis 50% (mg/l)	Percentis 75% (mg/l)	Percentis 90% (mg/l)
A	Aerada	22	46	15	83	42	20	0,43	66	26	23	33	42	55	77
B		8	72	34	112	64	28	0,39	100	44	47	54	64	89	111
C		7	43	22	69	37	17	0,40	60	26	27	32	37	53	64
A	Sedimentação	21	17	6	32	17	6	0,37	23	11	9	13	17	21	24
B		6	22	4	29	24	9	0,41	31	13	13	22	24	28	28
C		6	27	17	44	22	11	0,43	38	16	17	19	22	34	41

Tabela 4.6: Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de DBO

Fase	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Coeficiente de Variação	Mediana (mg/l)	Desvio padrão
A	11	88	78	96	0,07	90	6
B	6	85	79	97	0,08	84	7
C	6	78	69	86	0,09	79	7

Tabela 4.7 – Estatísticas descritivas das concentrações de DQO afluentes ao sistema

Fase	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mediana (mg/l	Desvio padrão	Coeficiente de variação	Med. + d. padrão	Med. - d. padrão	Percentis 10% (mg/l)	Percentis 25% (mg/l)	Percentis 50% (mg/l)	Percentis 75% (mg/l)	Percentis 90% (mg/l)
A	23	447	254	809	419	133	0,30	580	314	334	356	419	493	625
B	11	477	282	862	428	176	0,37	653	301	302	358	428	577	647
C	9	397	250	739	338	163	0,41	560	234	265	291	338	418	609

Tabela 4.8 – Estatísticas descritivas das concentrações efluentes de DQO

Fase	Unidade	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mediana (mg/l)	Desvio padrão	Coeficiente de Variação	Med. + d. Padrão	Med. - d. padrão	Percentis 10% (mg/l)	Percentis 25% (mg/l)	Percentis 50% (mg/l)	Percentis 75% (mg/l)	Percentis 90% (mg/l)
A	Aerada	23	130	38	298	112	59	0,45	189	71	69	87	112	174	189
B		11	201	86	371	166	102	0,51	303	99	94	114	166	255	351
C		9	133	58	211	134	41	0,31	174	92	99	118	134	148	163
A	Sedimentação	23	57	9	96	62	26	0,45	83	31	21	42	62	75	87
B		9	73	34	143	54	38	0,51	111	35	38	48	54	102	117
C		8	80	38	98	92	22	0,28	102	58	50	71	92	95	97

Tabela 4.9: Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de DQO

Fase	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Coeficiente de Variação	Mediana (mg/l)	Desvio padrão
A	22	86	71	98	0,09	86	8
B	9	84	70	95	0,09	83	8
C	8	76	62	93	0,15	72	11

Tabela 4.10 – Estatísticas descritivas das concentrações de SST afluentes ao sistema

Fase	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mediana (mg/l)	Desvio padrão	Coeficiente de Variação	Med. + d. Padrão	Med. - d. padrão	Percentis 10% (mg/l)	Percentis 25% (mg/l)	Percentis 50% (mg/l)	Percentis 75% (mg/l)	Percentis 90% (mg/l)
A	19	262	130	520	240	108	0,41	370	154	164	196	240	282	455
B	9	345	194	632	306	142	0,41	487	203	215	248	306	357	536
C	12	368	200	692	323	148	0,40	516	220	233	249	323	462	525

Tabela 4.11 – Estatísticas descritivas das concentrações efluentes de SST

Fase	Unidade	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Mediana (mg/l)	Desvio padrão	Coeficiente de Variação	Med. + d. Padrão	Med. - d. padrão	Percentis 10% (mg/l)	Percentis 25% (mg/l)	Percentis 50% (mg/l)	Percentis 75% (mg/l)	Percentis 90% (mg/l)
A	Aerada	22	57	3	194	32	56	0,97	113	1	13	25	32	73	137
B		10	115	18	206	121	73	0,63	188	42	26	47	121	180	192
C		9	35	17	54	34	14	0,40	49	21	20	23	34	50	53
A	Sedimentação	22	13	2	32	12	9	0,72	22	4	2	5	12	18	27
B		8	21	5	48	15	15	0,69	36	6	10	13	15	31	40
C		11	16	1	40	12	11	0,70	27	5	3	11	12	20	29

Tabela 4.12: Estatísticas descritivas das eficiências de remoção de SST

Fase	Quantidade de dados (um)	Média (mg/l)	Mínimo (mg/l)	Máximo (mg/l)	Coeficiente de Variação	Mediana (mg/l)	Desvio padrão
A	19	95	85	99	0,05	96	5
B	7	93	84	98	0,07	95	6
C	11	95	89	100	0,04	96	4

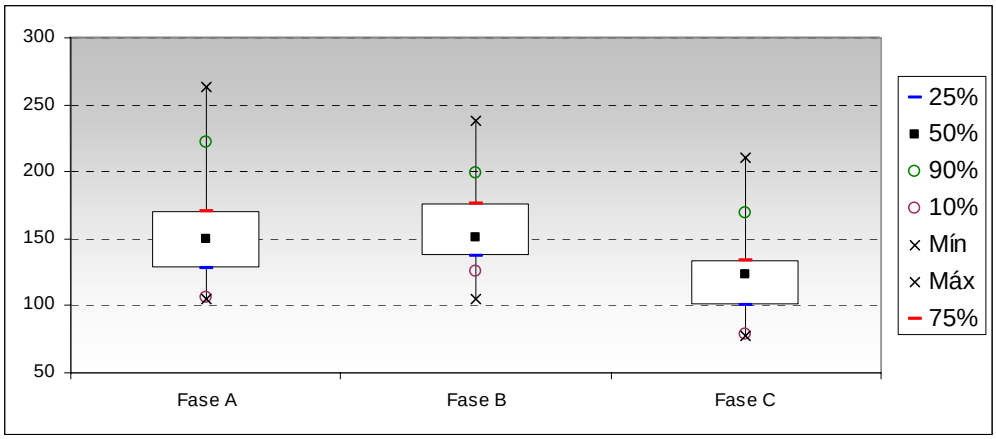


Figura 4.7 – Box and Whiskers das concentrações afluentes de DBO nas 3 fases experimentais

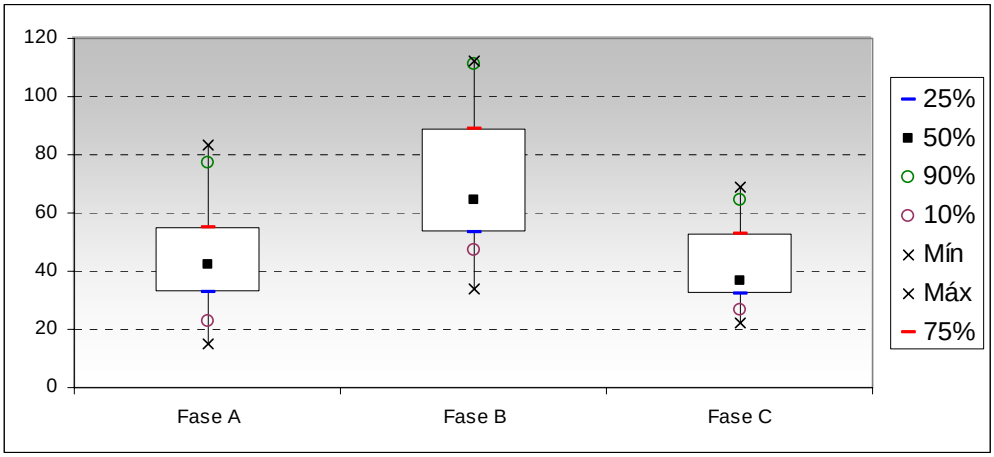


Figura 4.8 – Box and Whiskers das concentrações efluentes de DBO da lagoa aerada nas três fases experimentais

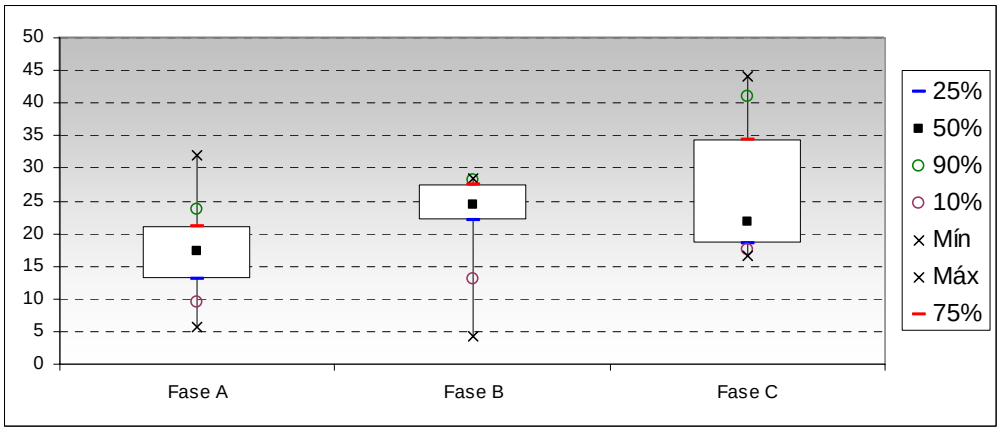


Figura 4.9 – Box and Whiskers das concentrações efluentes de DBO da lagoa de sedimentação nas três fases experimentais

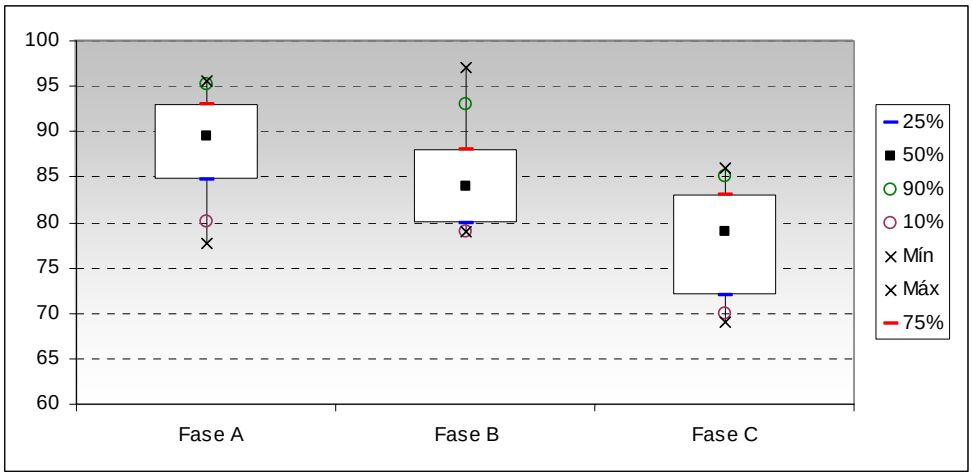


Figura 4.10 – Box and Whiskers das eficiências de remoção de DBO do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação nas três fases experimentais

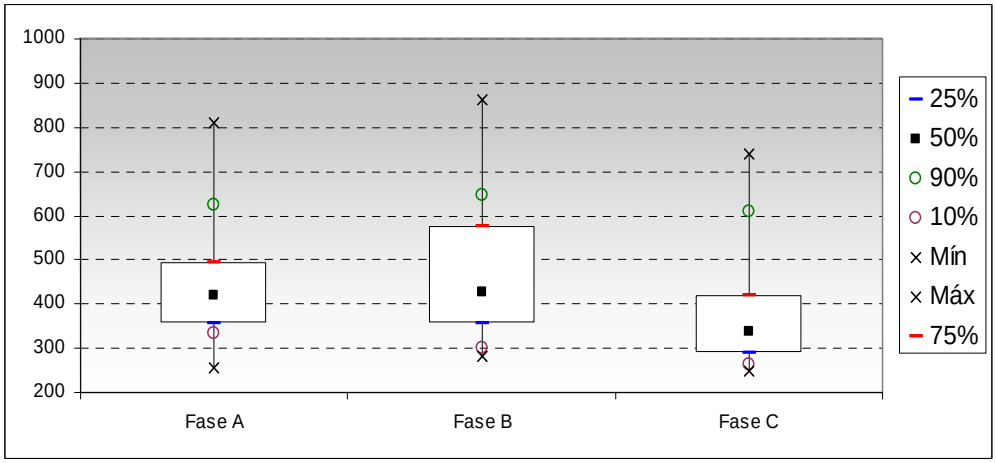


Figura 4.11– Box and Whiskers das concentrações afluentes de DQO nas três fases experimentais

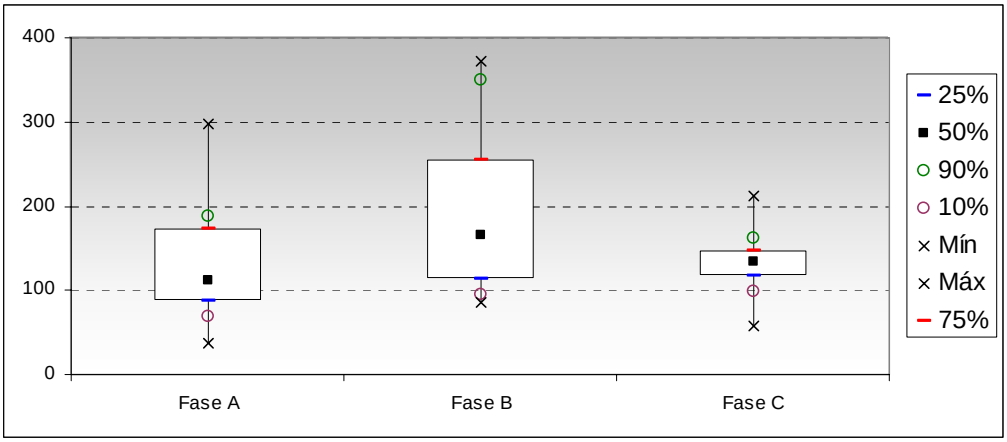


Figura 4.12 – Box and Whiskers das concentrações efluentes de DQO da lagoa aerada nas três fases experimentais

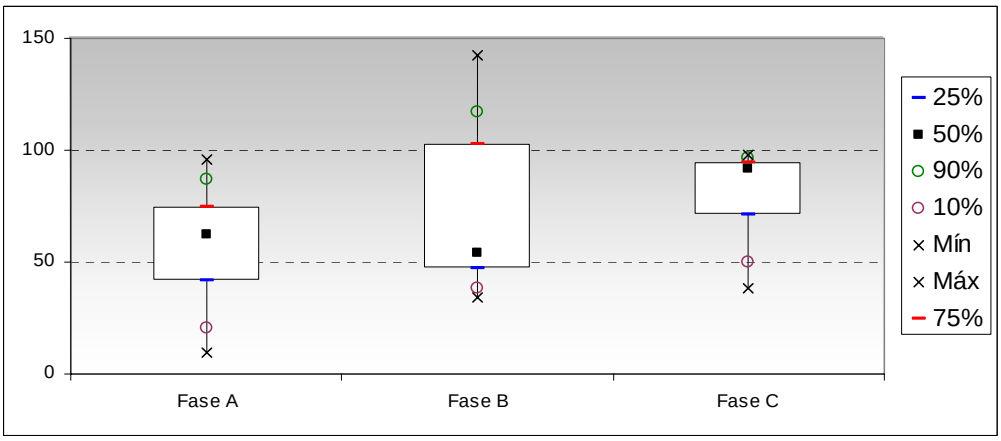


Figura 4.13 – Box and Whiskers das concentrações efluentes de DQO da lagoa de sedimentação nas três fases experimentais

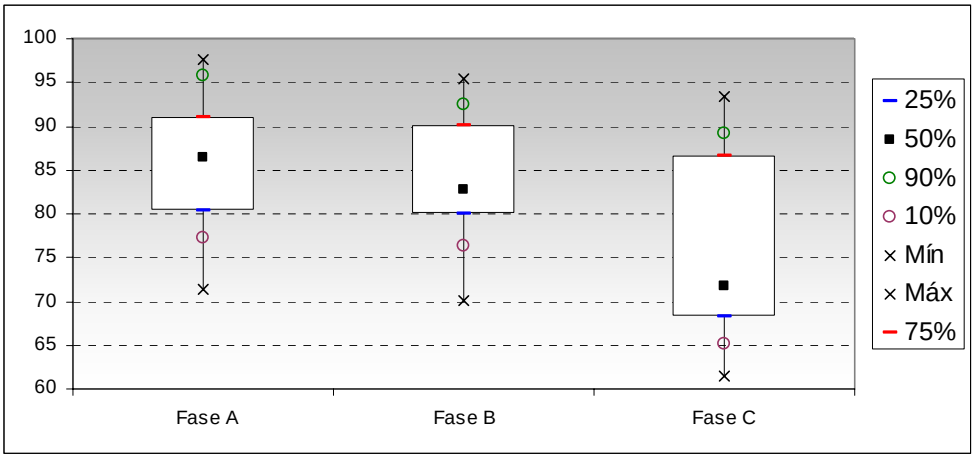


Figura 4.14 – Box and Whiskers das eficiências de remoção de DQO do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação nas três fases experimentais

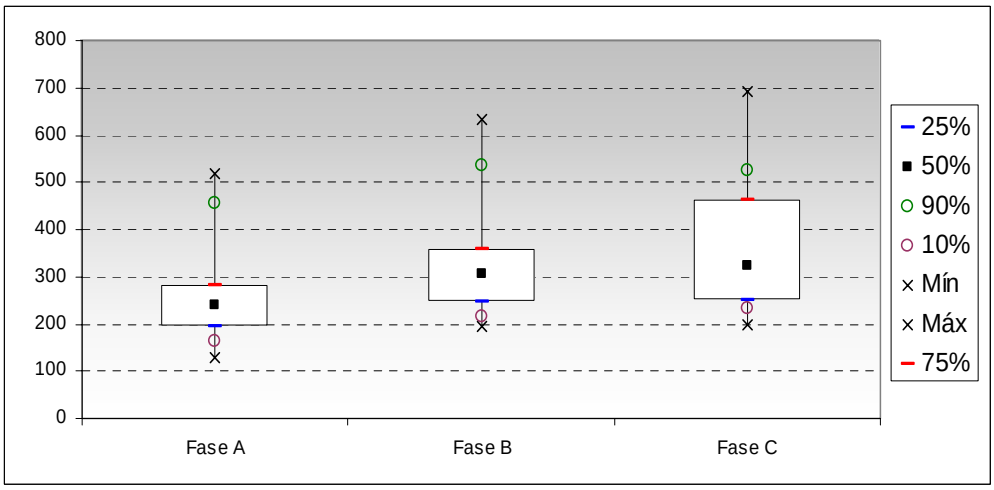


Figura 4.15 – Box and Whiskers das concentrações afluentes de SST nas três fases experimentais

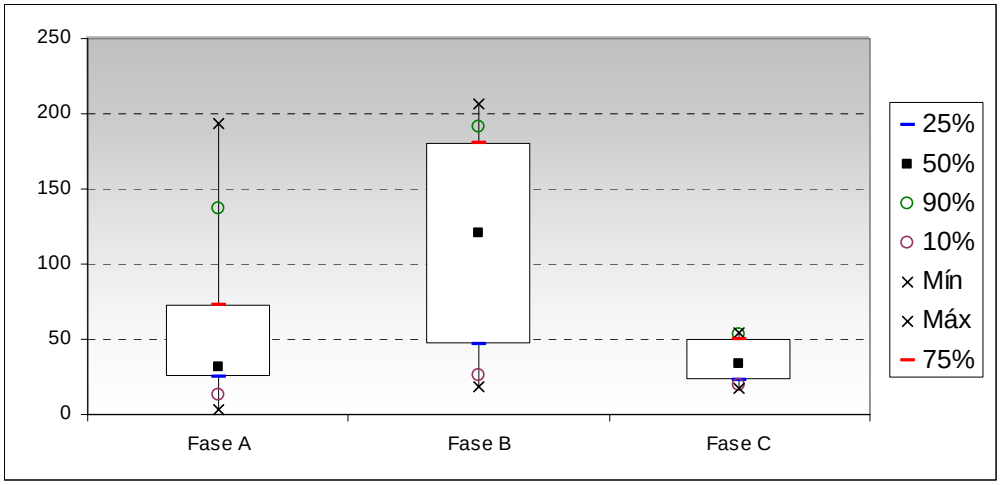


Figura 4.16 – Box and Whiskers das concentrações efluentes de SST da lagoa aerada nas três fases experimentais

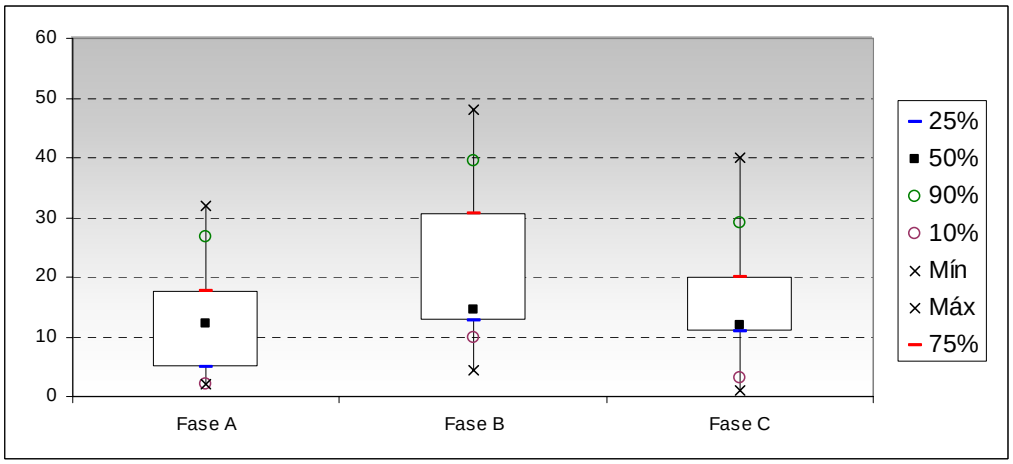


Figura 4.17 – Box and Whiskers das concentrações efluentes de SST da lagoa de sedimentação nas três fases experimentais

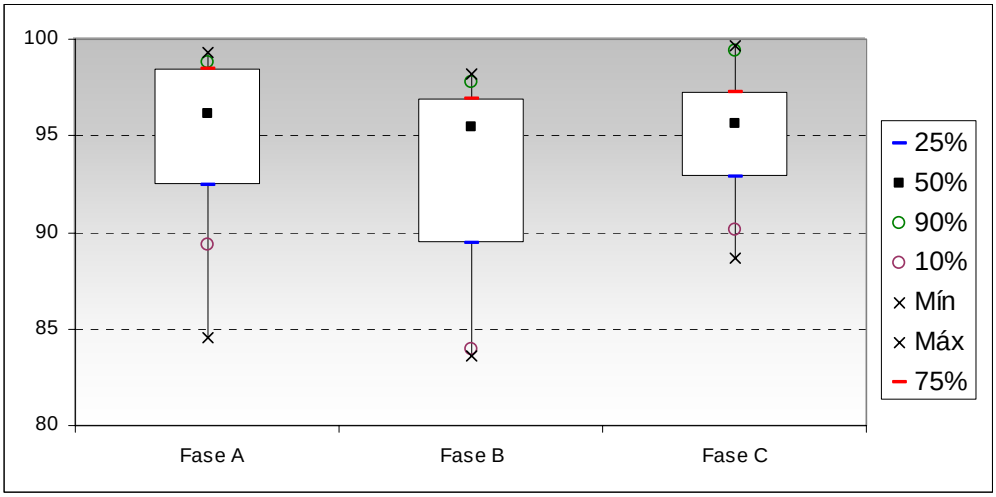


Figura 4.18 – Box and Whiskers das eficiências de remoção de SST do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação nas três fases experimentais

Analisando-se as Tabelas 4.4 a 4.12 e os gráficos das Figuras 4.7 a 4.18, verifica-se que:

- Na Fase A, quando utilizou-se o tempo de detenção hidráulica de 4,8 dias, obtiveram-se para o sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação as concentrações médias efluentes de DBO, DQO e SST, de respectivamente, 17mg/l, 57mg/l e 13mg/l. Neste caso, 75% das concentrações efluentes de DBO, DQO e SST foram respectivamente inferiores a 21mg/l, 75mg/l e 18mg/l e 90% inferiores a 24mg/l, 87mg/l, 27mg/l, resultados que indicam o bom desempenho da unidade para esta condição operacional.

- Ainda em relação à Fase A verifica-se a obtenção de eficiências médias de remoção de 88% de DBO, 86% de DQO e 95% de SST.

- Para a Fase B, quando utilizado tempo de detenção hidráulica de 2,4 dias, verificou-se para os mesmos parâmetros, a obtenção de concentrações médias efluentes de respectivamente 22mg/l, 73mg/l e 21mg/l. No caso, 75% das concentrações efluentes ficaram abaixo de 28mg/l, 102mg/l e 31mg/7l, e 90% abaixo de 28mg/l, 117mg/l e 40mg/l.

- Na Fase B foram verificadas eficiências médias de remoção de 85% de DBO, 84 % de DQO e 93% de SST.

- Para a Fase C, para o tempo de detenção hidráulica de 1,4 dias, os valores das concentrações médias efluentes do sistema foram de 27mg/l, 80mg/l e 16mg/l, sendo 75% das concentrações efluentes inferiores à 34mg/l, 95mg/l e 20mg/l e 90% inferiores à 41mg/l, 97mg/l e 29mg/l.

- Ainda em relação a Fase C verifica-se a obtenção de eficiências médias de remoção de 78% de DBO, 76% de DQO e 95% de SST.

Em relação ao desempenho do sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação, há a compreensão preliminar que a diminuição do tempo de detenção do sistema, resulte em perda de qualidade do efluente tratado. De fato, a média aritmética e os percentis de 10%, 25%, 50%, 75 % e 90% sugerem o melhor desempenho da Fase A quando comparada às outras fases B e C.

Depois de testada e verificada a normalidade das amostras (teste de Kolmogorov-Smirnov), os resultados das concentrações efluentes de DBO, DQO e SST foram submetidos a testes estatísticos paramétricos tipo t-student, sendo comparadas as 3 fases experimentais, da seguinte forma: Fases A e B, Fases B e C e Fases A e C. Os resultados dos testes realizados para verificação de diferenças significativas das concentrações efluentes de DBO, DQO e SST nas 3 fases experimentais estão apresentados no Anexo A.

Dos 9 testes estatísticos realizados (3 fases experimentais comparadas segundo cada parâmetro - DBO, DQO e SST), foi rejeitada a hipótese nula (concentrações médias não sendo significativamente diferentes) no caso das concentrações de DBO e DQO das Fases A e C, indicando que a Fase A (4,8 dias) apresentou melhor resultado que a Fase C (1,4 dias), com um nível de confiança de 95%. O teste estatístico confirma a sugestão anterior de melhor desempenho da unidade nesta fase operacional.

O fato corrobora a compreensão de que a diminuição do tempo de detenção hidráulica contribui para o comprometimento da qualidade do efluente tratado, embora possam ser considerados muito satisfatórios os resultados das estatísticas descritivas das concentrações efluentes das outras duas fases operacionais.

Destaca-se ainda que o teste estatístico ao indicar não haver diferença significativa entre os resultados das fases A e B, serve como orientação para a adequação da admissão do tempo de detenção hidráulica de 2,4 dias e a otimização do processo estudado.

Os valores médios das concentrações efluentes de DBO solúvel obtidas ao longo das três fases experimentais são destacadas e adaptadas ao gráfico da Figura 4.19, que relaciona o comprometimento da qualidade do efluente tratado em função do aumento do tempo de detenção hidráulica. As concentrações efluentes de DBO solúvel correspondem em média, a aproximadamente 42% da concentração de DBO total, como indicam as Tabelas 4.17, 4.18 e 4.19 apresentadas mais adiante no item 4.4.3.

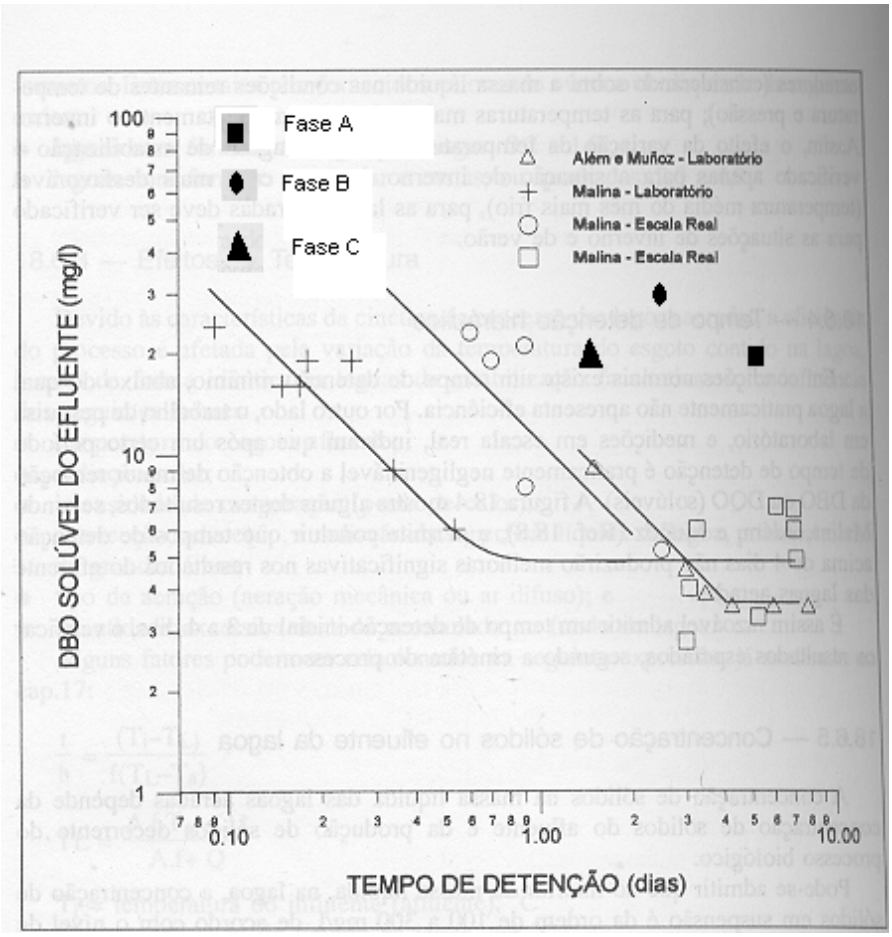


Figura 4.19 – Gráfico DBO solúvel efluente da lagoa aerada x tempo de detenção hidráulica modificado, adaptado de Jordão e Pessôa (1995)

4.2. Análise do Desempenho do Processo em Relação ao Atendimento aos Padrões de Lançamento de Efluentes Líquidos

Para a análise em relação aos padrões de lançamento de efluentes líquidos foram considerados os instrumentos legais vigentes nos estados do Rio de Janeiro, Minas Gerais e São Paulo, respectivamente Diretriz FEEMA-RJ DZ.215-R.3, Deliberação COPAM n° 10 (1986) e CETESB-SP Decreto n° 8468 (1976).

A Diretriz FEEMA-RJ DZ.215-R.3 estabelece para o controle de carga orgânica biodegradável em efluentes líquidos de origem não industrial, concentrações efluentes máximas e concomitantes de DBO e SST de 40mg/l, para carga orgânica afluente superior a 80 kgDBO/dia; e concentrações efluentes máximas e concomitantes de DBO e SST de 60mg/l, para carga orgânica afluente inferior a 80 kgDBO/dia.

A Deliberação Normativa COPAM n° 10 estabelece normas e padrões para qualidade das águas e lançamento de efluentes nas coleções de água impondo concentrações efluentes máximas e concomitantes de 60 mg/l de DBO e SST e de 90 mg/l de DQO.

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 concentração efluente máxima de 60 mg/l de DBO.

A Tabela 4.13 apresenta para cada uma das fases experimentais, a quantidade relativa de resultados que se encontram de acordo com os padrões estabelecidos pelas diferentes legislações estaduais. Observa-se que a avaliação considera o atendimento aos valores máximos permissíveis preconizados pelos padrões vigentes, sem considerar a obrigatoriedade do atendimento concomitante e considerando tal obrigatoriedade, quando for o caso.

Tabela 4.13 – Índice de atendimento (%) aos citados padrões estaduais de lançamento de efluentes

Fases	DBO 40mg/l	SST 40mg/l	DBO SST 40mg/l (RJ)	DBO 60mg/l (SP)	SST 60mg/l	DBO SST 60mg/l (RJ)	DQO 90mg/l	DBO SST 60mg/l (MG)	DQO 90mg/l (MG)
A	100	100	100	100	100	100	91	100	
B	100	88	100	100	100	100	67	60	
C	83	100	100	100	100	100	38	33	
Total	97	98	97	100	100	100	75	77	

1) As colunas de DBO e SST ≤ 40mg/l e DBO e SST ≤ 60mg/l dizem respeito à legislação vigente no estado do Rio de Janeiro, enquanto a coluna de DBO ≤ 60mg/l diz respeito à legislação de São Paulo e a de DBO e SST ≤ 60mg/l e DQO ≤ 90mg/l, à de Minas Gerais.

Vale mencionar que a análise dos índices relativos aos padrões que requerem concomitância de atendimento em relação a 2 ou 3 parâmetros de qualidade (DBO e SST ou DBO, DQO e SST) pode considerar um universo de amostras inferior ao universo de amostras considerado por ocasião da análise do índice de atendimento individual a cada parâmetro. A razão deve-se ao fato de que algumas amostras não foram obrigatoriamente submetidas às analises de todos os 3 parâmetros DBO, DQO e SST. Na Tabela 4.1 pode-se, por exemplo, verificar que no dia 14/10/2004 (Amostra 28) somente as análises de DQO e DBO foram realizadas.

A análise dos resultados em relação ao atendimento aos padrões de lançamento de efluentes líquidos encontra-se organizada de acordo com as fases experimentais.

4.2.1 - Fase A

Nesta condição operacional verifica-se o pleno atendimento à Diretriz FEEMA-RJ DZ.215-R.3, quando obteve-se em 100% das amostras, concentrações efluentes inferiores aos padrões vigentes, mesmo aquele mais restritivo que impõe a concomitância de concentrações máximas de 40 mg/l de DBO e 40 mg/l de SST.

Assim, os resultados da Fase A também atendem à legislação vigente no Estado de São Paulo, que somente leva em consideração a concentração efluente máxima de DBO de 60mg/l.

No entanto, em relação à legislação do Estado de Minas Gerais, em função da exigência do atendimento à concentração máxima efluente de 90 mg/l de DQO, o índice de atendimento ao padrão de lançamento é limitado a 91%. Quando considerado o atendimento concomitante aos parâmetros DBO, DQO e SST, respeitada a particularidade do universo da amostra, o índice é de 100%.

4.2.2 - Fase B

Durante a Fase B, verifica-se o pleno atendimento à Diretriz FEEMA-RJ DZ.215-R.3, quando obteve-se em 100% das amostras, concentrações efluentes inferiores aos padrões vigentes, mesmo aquele mais restritivo que impõe a concomitância de concentrações máximas de 40 mg/l de DBO e 40 mg/l de SST.

Assim, em relação à legislação vigente no Estado de São Paulo (concentração máxima efluente de DBO de 60 mg/l), o índice de atendimento ao padrão de lançamento também é de 100%.

No entanto, em relação à legislação do Estado de Minas Gerais, em função da exigência do atendimento à concentração máxima efluente de 90 mg/l de DQO, o índice de atendimento ao padrão de lançamento é limitado a 60%.

4.2.3 - Fase C

Como nas fases anteriores, nesta condição operacional verifica-se o pleno atendimento à Diretriz FEEMA-RJ DZ.215-R.3, quando obteve-se em 100% das amostras concentrações efluentes inferiores aos padrões vigentes, mesmo aquele mais restritivo.

Da mesma forma, os resultados da Fase C também atendem à legislação vigente no Estado de São Paulo.

Em relação à legislação do Estado de Minas Gerais, em função da exigência do atendimento à concentração máxima efluente de 90 mg/l de DQO, o índice de atendimento ao padrão de lançamento é limitado a 33%.

A seguir, os gráficos Box and Whiskers das Figuras 4.20, 4.21 e 4.22 ilustram a relação entre as concentrações efluentes obtidas nas 3 fases experimentais e os padrões de lançamento de efluentes vigentes nos Estados do Rio de Janeiro, de São Paulo e de Minas Gerais, desconsiderada a obrigatoriedade do atendimento concomitante.

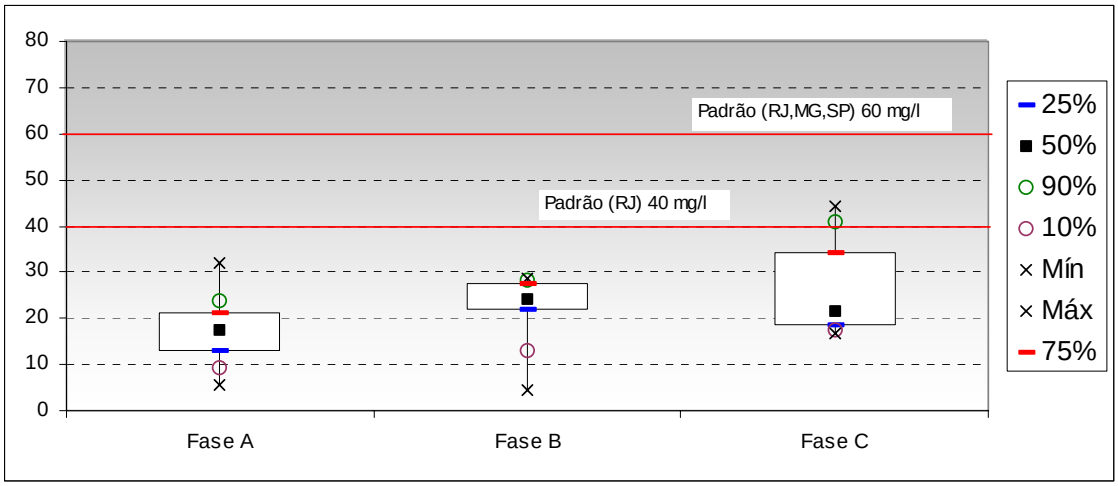


Figura 4.20 – Comparação entre as concentrações efluentes de DBO e os padrões de lançamento estaduais

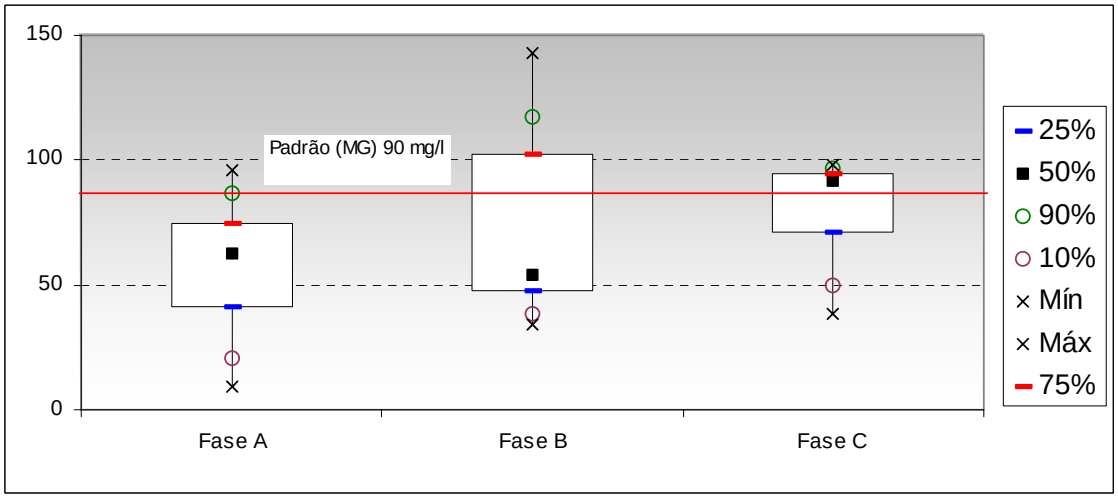


Figura 4.21 – Comparação entre as concentrações efluentes de DQO e os padrões de lançamento estaduais

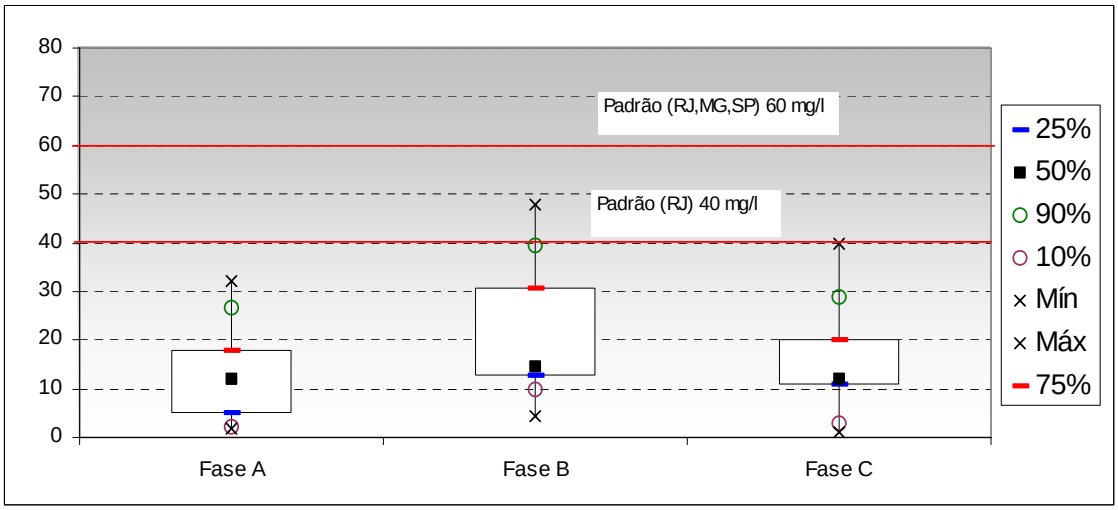


Figura 4.22 – Comparação entre as concentrações efluentes de SST e os padrões de lançamento estaduais

Os gráficos das Figuras 4.23, 4.24 e 4.25 ilustram para cada uma das 3 fases operacionais, a freqüência relativa da ocorrência das concentrações efluentes de DBO, DQO e SST, expressa em função do índice de atendimento.

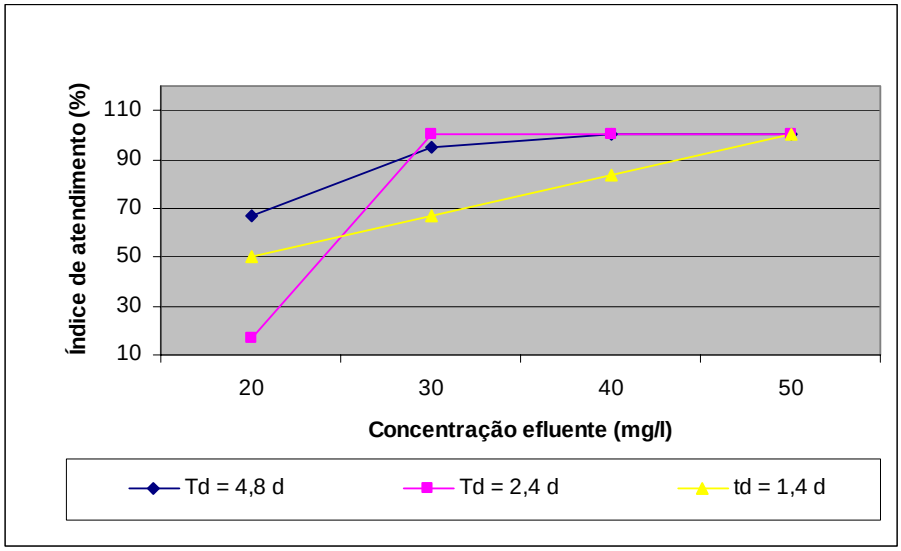


Figura 4.23 – Freqüência relativa da ocorrência das concentrações efluentes de DBO

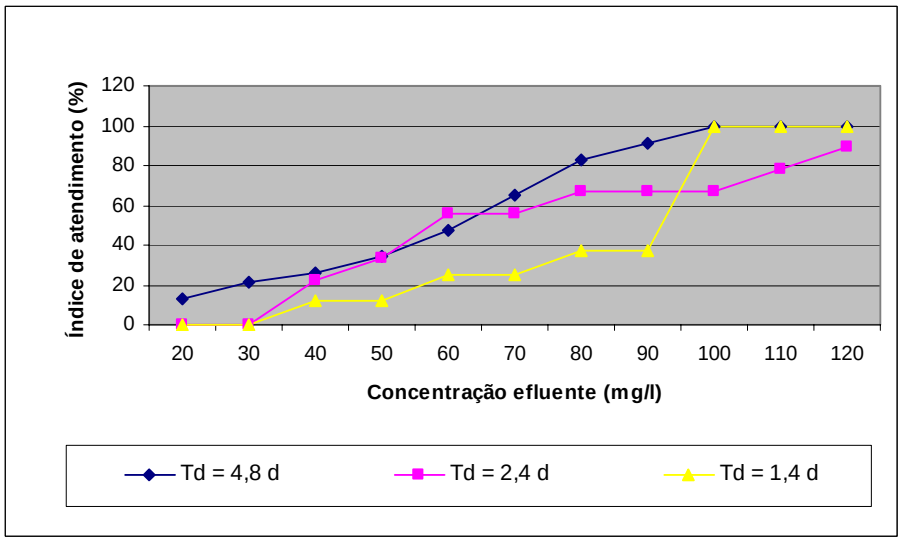


Figura 4.24 – Freqüência relativa da ocorrência das concentrações efluentes de DQO

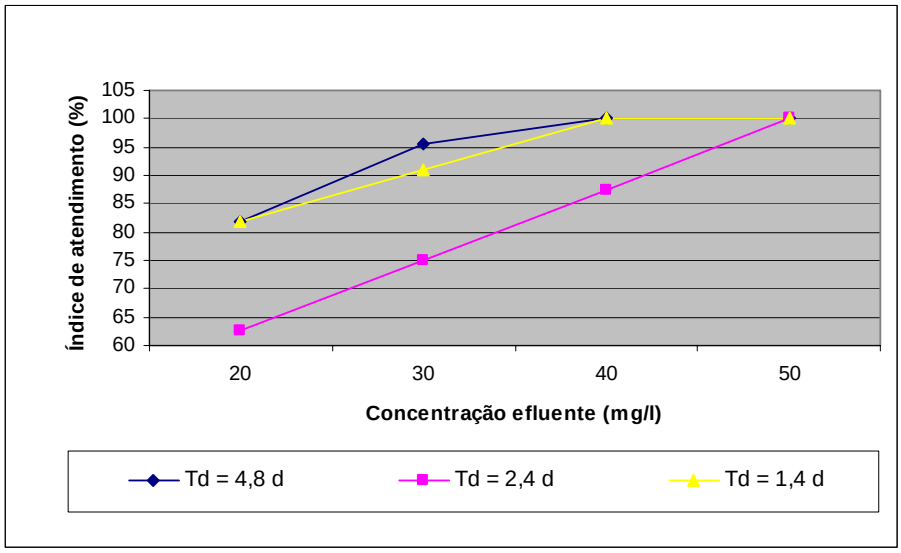


Figura 4.25 – Freqüência relativa da ocorrência das concentrações efluentes de SST

O presente projeto de pesquisa esteve amparado durante todo o tempo de contínuo acompanhamento técnico-operacional, prestado pelos operadores do CETE/UFRJ, pela equipe do LEMA/UFRJ e pela própria autora do trabalho, os quais dedicaram-se ao melhor funcionamento e controle da unidade de tratamento.

4.3. Avaliação das Condições de Mistura da Lagoa Aerada

Nas Figuras 4.26, 4.27 e 4.28 são apresentados os perfis transversais e longitudinais, representativos das concentrações médias de sólidos em suspensão totais e voláteis e de oxigênio dissolvido, relativos às três fases experimentais. No Anexo A são apresentados os resultados do monitoramento das condições de misturação da lagoa aerada ao longo de todo o projeto de pesquisa.

A condição de mistura completa deve-se à densidade de potência de 42 W/m^3 promovida pelo equipamento de aeração instalado, valor bastante superior ao sugerido pela literatura especializada, da ordem de 3,0 W/m^3.

Da mesma forma, as concentrações de OD no interior da lagoa são superiores ao mínimo recomendado, da ordem de 2,0 mg/l, em função da elevada capacidade de transferência de oxigênio do sistema de aeração.

Observa-se que as concentrações médias de SST obtidas durante as fases experimentais A e B encontram-se entre os limites recomendados pela literatura, de 100 e 300 mg/l, o que não acontece na fase C do experimento, quando se obteve concentrações inferiores

ao valor mínimo recomendado (JORDÃO E PESSÔA, 1995). Essa diminuição das concentrações de sólidos provavelmente deve-se ao arraste da biomassa quando submetida a menores tempos de detenção hidráulica.

Na Fase A nota-se que os valores de SST apresentados no perfil são superiores ao valor médio de 57 mg/l apresentado na tabela das estatísticas descritivas das concentrações efluentes da lagoa aerada, Tabela 4.11. Isto ocorre devido ao universo das amostras consideradas em cada ponto de amostragem. O efluente da lagoa aerada teve início de monitoramento anterior aos pontos do interior da lagoa.

No presente item observa-se que os comentários realizados dizem somente respeito à lagoa aerada, não havendo qualquer consideração sobre a lagoa de sedimentação e sobre o sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação.

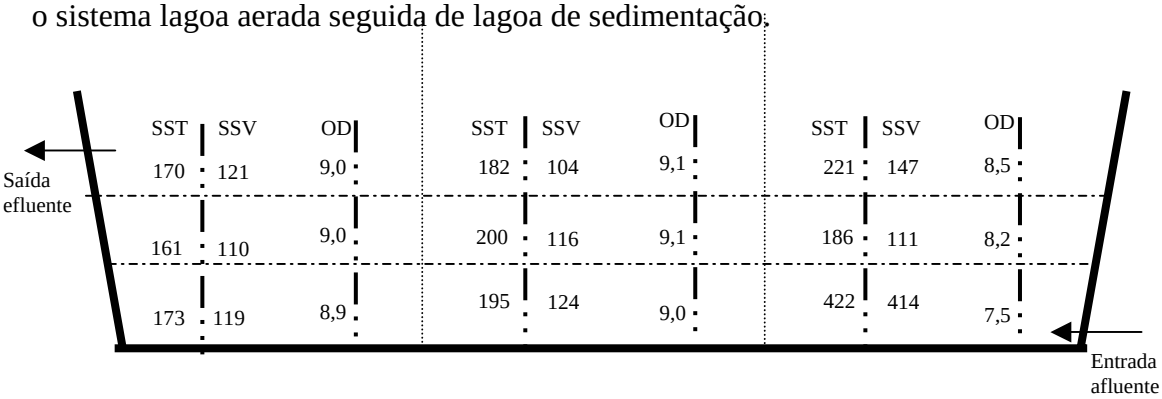


Figura 4.26: Perfis transversais e longitudinais de SST, SSV e OD na lagoa aerada (Fase A)

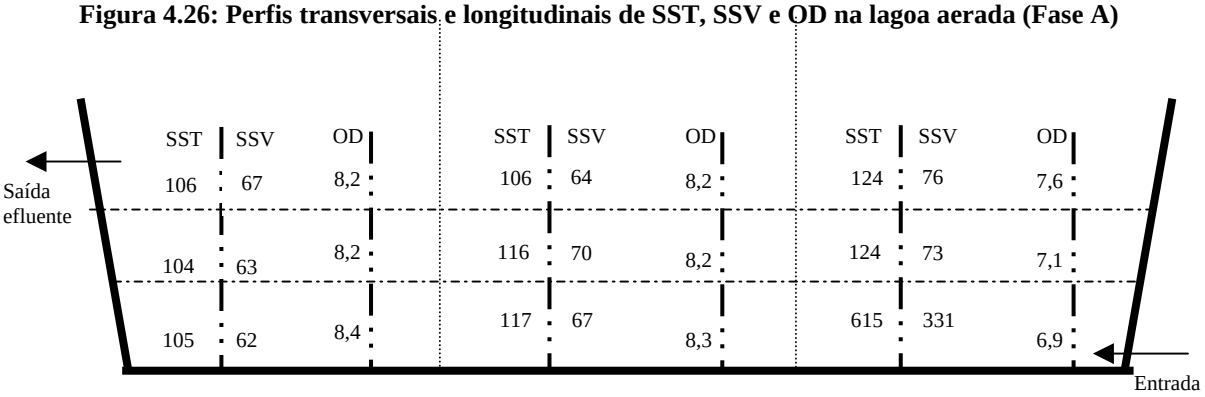


Figura 4.27: Perfis transversais e longitudinais de SST, SSV e OD na lagoa aerada (Fase B)

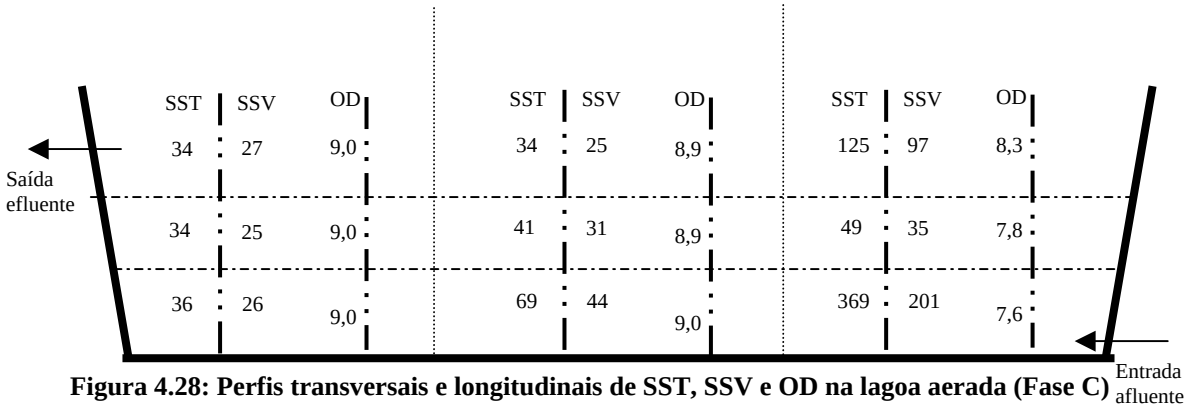


Figura 4.28: Perfis transversais e longitudinais de SST, SSV e OD na lagoa aerada (Fase C)

Para as três fases experimentais, os perfis obtidos demonstram a proximidade das condições de mistura completa no interior da lagoa aerada. Percebe-se apenas na zona inicial da lagoa, em seu 1º terço, e junto ao fundo, concentrações de SST, SSV e OD diferentes das concentrações obtidas nas outras porções da massa líquida em mistura. O fato é devido à entrada do esgoto bruto afluente por intermédio de tubulação de 1 m de extensão, apoiada junto ao fundo da lagoa.

Dos perfis transversais das concentrações de SST e SSV é possível obter-se para as três fases experimentais, segundo valores médios, as seguintes relações entre ambos os parâmetros: para a Fase A, 0,64 mgSSV/mgSST; para a Fase B, 0,60 mgSSV/mgSST; para a Fase C, 0,74 mgSSV/mgSST e considerando todas as fases experimentais, 0,64 mgSSV/mgSST. Os valores obtidos enquadram-se nos limites sugeridos, entre 0,6 e 0,8 mgSSV/mgSST (JORDÃO E PESSÔA, 1995).

4.4. Determinação de Parâmetros do Processo

Da mesma forma, observa-se que os comentários a seguir realizados referem-se somente à lagoa aerada; não há qualquer consideração sobre a lagoa de sedimentação e sobre o sistema lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação.

4.4.1. Coeficiente de remoção de matéria orgânica (K)

Nas Tabelas 4.14, 4.15 e 4.16 são apresentadas as concentrações de DBO afluente e DBO filtrada efluente da lagoa aerada, obtidas durante as 3 fases experimentais, relativas a 25 dias de monitoramento, e os respectivos coeficientes de remoção de matéria orgânica (K), obtidos segundo o modelo de mistura completa (1) seguinte:

$$Se = S_0/(1+K.t) \qquad (1)$$

As correções de temperatura obedeceram à lei de Arrhenius, segundo o coeficiente θ de 1,035.

Tabela 4.14: Concentrações de DBO afluente, efluente filtrada da lagoa aerada, e coeficientes de remoção de matéria orgânica (Fase A)

Parâmetros	FASE A										MÉDIA
Dia da amostragem	05/08	10/08	17/08	19/08	26/08	09/09	21/09	28/09	14/10	28/10	
Temperatura (ºC)	27,4	25,2	26,8	27,8	27,8	29,2	29,1	30,7	28,0	28,0	28,0
DBO afluente (mg/l)	222	150	263	137	168	107	173	162	119	147	165
DBO filtrada. efl. (mg/l)	19	18	37	22	16	14	16	12	23	10	19
K_{T^oC} (d^{-1})	2,2	1,5	1,3	1,1	2,0	1,4	2,0	2,6	0,9	2,9	1,8
K_{20^oC} (d^{-1})	1,7	1,3	1,0	0,8	1,5	1,0	1,5	1,8	0,7	2,2	1,3

Tabela 4.15: Concentrações de DBO afluente, efluente filtrada da lagoa aerada e coeficientes de remoção de matéria orgânica (Fase B)

Parâmetros	FASE B								MÉDIA
Dia da amostragem	22/11	24/11	29/11	01/12	06/12	28/02	02/03	03/03	
Temperatura (ºC)	28,6	29,4	28,8	28,1	29,8	30,2	30,2	30,2	29,4
DBO afluente (mg/l)	135	153	182	238	137	105	150	175	159
DBO filtrada. efl. (mg/l)	36	31	23	49	49	30	30	22	34
K_{T^oC} (d^{-1})	1,1	1,6	2,9	1,6	0,7	1,0	1,7	2,9	1,7
K_{20^oC} (d^{-1})	0,9	1,2	2,1	1,2	0,5	0,7	1,2	2,0	1,2

Tabela 4.16: Concentrações de DBO afluente, efluente filtrada da lagoa aerada e coeficientes de remoção de matéria orgânica da unidade da lagoa aerada (Fase C)

Parâmetros	FASE C							MÉDIA
Dia da amostragem	03/01	05/01	17/01	24/01	16/02	17/02	14/03	
Temperatura (ºC)	33,0	33,0	31,1	32,6	30,2	30,2	30,2	31,5
DBO afluente (mg/l)	211	123	127	80	78	141	121	126
DBO filtrada. efl. (mg/l)	27	30	10	15	12	23	9	18
K_{T^oC} (d^{-1})	4,9	2,2	8,4	3,1	3,9	3,7	8,9	5,0
K_{20^oC} (d^{-1})	3,1	1,4	5,7	2,0	2,8	2,6	6,3	3,4

Assim é que para a primeira fase do experimento obteve-se o coeficiente médio de remoção de DBO (K_{T^oC}) igual a 1,8 d^{-1}, o qual, corrigido para a temperatura de 20ºC, e de acordo com as temperaturas diariamente verificadas, alcançou o valor de 1,3 d^{-1} (K_{20^oC}). Para as segunda e terceira fases obteve-se respectivamente, os coeficientes médios de remoção de DBO (K_{T^oC}) iguais a 1,7 d^{-1} e 5,0 d^{-1}, que também corrigidos para a temperatura de 20ºC, alcançaram os valores de 1,2 d^{-1} e 3,4 d^{-1} (K_{20^oC}).

Verifica-se que os valores médios de K_{20^oC} obtidos nas fases experimentais A e B encontram-se compreendidos entre os limites de 1,0 e 1,5 d^{-1} recomendados pela literatura (VON SPERLING, 2002), enquanto na fase experimental C obtém-se valor superior a 1,5 d^{-1}.

Quando verificados os coeficientes relativos a cada dia de amostragem da Fase A, observa-se que variaram entre 0,7 e 2,2 d^{-1} e que assim, 50% encontraram-se dentro dos limites recomendados.

Em relação à Fase B, os resultados obtidos variaram entre 0,5 e 2,1 d^{-1} e que assim, somente 38% encontraram-se dentro dos limites recomendados. Ressalta-se, no entanto, que a menor quantidade de dados (8 dados) disponíveis na Fase B possa influenciar a melhor análise dos resultados alcançados quando comparado a Fase A.

Já na Fase C, como anteriormente comentado, o valor médio obtido não se encontra dentro dos limites recomendados pela literatura; os coeficientes relativos a cada dia de amostragem desta fase variaram entre 1,4 e 6,3 d^{-1}, sendo que somente 14% dos valores encontraram-se dentro dos limites recomendados. A menor quantidade de amostras analisadas nesta fase pode ser uma justificativa para a obtenção de valores fora da faixa usual.

4.4.2. Coeficiente de remoção específica de matéria orgânica (k')

Em função da concentração média de SSV da massa líquida, desconsiderados os valores correspondentes à zona inicial junto ao fundo, obteve-se através da relação K= k'. Xav, para cada uma das três fases experimentais, o coeficiente médio de remoção específica de DBO (k').

Na primeira fase, para a concentração média de 119 mg SSV/l, obteve-se o coeficiente $k'_{DBO,20^oC}$ de 0,011 l/mg.d. Nas segunda e terceira fases, para as concentrações médias de 68 mg SSV/l e 39 mg SSV/l respectivamente alcançadas, obteve-se os coeficientes $k'_{DBO,20^oC}$ de 0,018 l/mg.d e 0,087 l/mg.d.

Verifica-se que os valores de k' obtidos nas fases experimentais A e B encontram-se dentro dos limites de 0,010 e 0,030 l/mg.d recomendados pela literatura (VON SPERLING, 2002), e novamente a fase experimental C apresenta resultados fora do intervalo.

A maior quantidade de sólidos em suspensão presente na massa líquida durante a Fase A também é um indicador para justificativa do melhor desempenho do processo conforme já constatado e discutido anteriormente.

4.4.3.Relação entre SST, SSV e DBO

Segundo JORDÃO E PESSÔA (1995), a concentração total de DBO do efluente da lagoa aerada corresponde ao somatório entre a DBO solúvel e a DBO particulada, obedecendo assim a expressão (2):

$$DBOtotal = DBOsolúvel + DBOparticulada \quad (2)$$

$$DBO\ total = DBOsolúvel + [\ SSV\ x\ (DBOparticulada/SSV)]$$

Experimentos indicam que a DBO correspondente à matéria em suspensão volátil seja da ordem de 0,5 a 0,7 mgDBO/mgSSV (Jordão e Pessôa, 1995). Em função da concentração média de SSV da massa líquida, desconsiderados os valores correspondentes à zona inicial junto ao fundo, e em função das concentrações médias efluentes de DBO total e solúvel, obteve-se em cada uma das três fases o valor médio correspondente à parcela de DBO devida à matéria em suspensão volátil.

Como indicam as Tabelas 4.17, 4.18 e 4.19, para as concentrações médias de 119 mgSSV/l, 68 mgSSV/l e 39 mgSSV/l respectivamente correspondentes às 3 fases experimentais, e para as concentrações médias de DBO total e solúvel obtidas ao longo do projeto de pesquisa, obtiveram-se as seguintes concentrações de DBO devidas à matéria em suspensão volátil: 0,28 mgDBO/mgSSV para a Fase A, 0,56 mgDBO/mgSSV para a Fase B e 0,65 mgDBO/mgSSV para a Fase C.

A elevada concentração de SSV no interior da lagoa durante a primeira fase experimental influencia o valor da relação entre DBO e SSV, uma vez considerados os valores usualmente recomendados para a relação entre DBO e SSV, compreendidos entre 0,5 e 0,7 mgDBO/mgSSV.

Tabela 4.17: Concentrações de DBO efluente total e filtrada da unidade da lagoa aerada (Fase A)

Parâmetros	FASE A										MÉDIA
Dia da amostragem	05/08	10/08	17/08	19/08	26/08	09/09	21/09	28/09	14/10	28/10	
DBO total efluente (mg/l)	43	41	83	51	36	32	36	66	52	77	52
DBO filtrada efluente (mg/l)	19	18	37	22	16	14	16	12	23	10	19

Tabela 4.18: Concentrações de DBO efluente total e filtrada da unidade da lagoa aerada (Fase B)

Parâmetros	FASE B								MÉDIA
Dia da amostragem	22/11	24/11	29/11	01/12	06/12	28/02	02/03	03/03	
DBO total efluente (mg/l)	82	72	53	111	112	34	54	57	72
DBO filtrada efluente (mg/l)	36	31	23	49	49	30	30	22	34

Tabela 4.19: Concentrações de DBO efluente total e filtrada da unidade da lagoa aerada (Fase C)

Parâmetros	FASE C							MÉDIA
Dia da amostragem	03/01	05/01	17/01	24/01	16/02	17/02	14/03	
DBO total efluente (mg/l)	61	69	22	35	30	37	45	43
DBO filtrada efluente (mg/l)	27	30	10	15	12	23	9	18

A Tabela 4.20 resume os resultados obtidos em relação aos parâmetros clássicos e usuais do processo lagoa aerada seguida de lagoa de sedimentação.

Tabela 4.20: Resumo dos resultados obtidos

Parâmetros	FASE A	FASE B	FASE C
SSV/SST	0,64	0,60	0,74
K_{20^oC}	1,3	1,2	3,4
K’	0,011	0,018	0,087
mgDBO/mgSSV	0,28	0,56	0,65

4.5. Análise Quantitativa e Qualitativa do Lodo Sedimentado

Os dois béqueres introduzidos no fundo da lagoa de sedimentação desde o início de operação do sistema, anteriormente ao projeto de pesquisa, indicaram após 1 ano, a acumulação de uma manta de lodo correspondente a altura do próprio béquer e igual a

13 cm, valor superior aos limites recomendados pela literatura, de aproximadamente 2,86 cm/ano (GONÇALVES *et al*, 1997). Vale destacar que esta taxa é para uma lagoa com 22 anos de operação e que a taxa de acumulação de lodo se reduz com o tempo. A foto da Figura 4.29 ilustra o volume de lodo acumulado na lagoa de sedimentação em ambos os pontos monitorados.

Figura 4.29: Acúmulo de lodo no interior da lagoa de sedimentação após 1 ano de operação

O lodo contido nos béqueres foi analisado físico-quimicamente, sendo os resultados apresentados na Tabela 4.21. GONÇALVES *et al* (1997) apresentaram valor de SV/ST de 0,55, superior aos resultados obtidos durante o projeto de pesquisa (0,47 e 0,46 para os pontos 1 e 2 respectivamente) e valor de teor de sólidos de 5,8%, inferior aos resultados da pesquisa.

Tabela 4.21: Análise físico-química do lodo sedimentado

Pontos	ST (mg/l)	SF (mg/l)	SV (mg/l)	Umidade (%)	Teor de Sólidos (%)	Mat. Orgânica (%)
1	128.167	68.000	60.167	90	10	53
2	111.000	60.000	51.000	91,5	8,6	53

Capítulo 5: Conclusões e Recomendações

- Em todas as três fases experimentais alcançaram-se excelentes resultados em termos das concentrações efluentes de DBO, DQO e SST, que respectivamente variaram entre 17 e 27 mg/l, 57 e 80 mg/l, e 13 e 21 mg/l;

- Da mesma forma, obtiveram-se eficiências de remoção variando entre 78 e 88% de DBO, 76 e 86% de DQO e 93 e 95% de SST;

- Dentre as três fases experimentais, pode-se afirmar que de acordo com as médias aritméticas e percentis, a Fase A foi a que apresentou melhor desempenho; de fato os testes estatísticos paramétricos tipo t-student confirmaram a hipótese;

- Os resultados obtidos também sugerem a compreensão de que a diminuição do tempo de detenção hidráulica resulte no comprometimento da qualidade do efluente;

- Apesar dos resultados obtidos serem extremamente satisfatórios em relação à maioria dos padrões de lançamento vigentes, é oportuno registrar a dificuldade de atendimento durante todo o tempo àqueles mais restritivos;

- A proximidade da condição de misturação completa da lagoa aerada foi constatada em termos das concentrações de OD, SST e SSV monitoradas ao longo do tempo;

- Em relação aos parâmetros clássicos e usuais do processo, foi constatado que a concentração de SST, as relações SSV/SST e DBO/SSV, os coeficientes de remoção de matéria orgânica K_{20^oC} e $k'_{DBO,20^oC}$ encontraram-se dentro dos limites recomendados pela literatura;

- A acumulação de lodo observada durante aproximadamente 1 ano de operação do sistema foi superior ao que preconiza a literatura;

- Tendo a unidade de tratamento apresentado bons resultados mesmo para aqueles menores tempos de detenção, sugere-se que esta investigação seja continuada de forma mais exaustiva para os valores compreendidos entre 1,0 e 2,0 dias,

visando o melhor esclarecimento e elucidação do comportamento do processo segundo condições operacionais limites;

- É importante também investigar o comportamento do processo como unidade de pós-tratamento do efluente do Reator UASB do CETE-UFRJ, considerando, para a realidade nacional, a aplicabilidade da combinação entre ambos para o tratamento de esgotos sanitários;

- O comportamento do processo para a remoção de nitrogênio deve ser avaliado, como também pode a unidade ser adaptada para avaliação da eficiência da precipitação físico-química de fósforo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

CIDADES, 2002. Diagnóstico dos Serviços de Águas e Esgotos.

GONÇALVES, R.F., NASCIMENTO, C.G., FERRAI, G.F., MULLER, P.S.G., 1997, **Lodos de lagoas de estabilização em operação no Espírito Santo: formação e características.** ABES, 19° Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental.

IBGE, 2000. Pesquisa Nacional de Saneamento Básico.

JORDÃO, E.P., PESSÔA, C.A., 1995, **Tratamento de esgotos doméstico**. 3ª edição, ABES.

KONIG, A, CELIBALLOS, B.S.O., CAVALCANTI, L.E.G., VIANA, G.M., 2002, **Pré-evaluation of real scale WSP performance in Northeast of Brazil.** International Water Association (IWA).

OLIVEIRA, L.F.F, 1999, **Eficiências de Remoção de Carga Orgânica por Lagoas de Estabilização**. ABES, 20º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental

RAMADAN, H., PONCE, V.M., 2003, Design and Performance of Waste Stabilization Ponds. http://stabilizationponds.sdsu.edu/

RICH, L.G., 2003, Aerated Lagoon Effluents. Technical Note Number 2. http://www.lagoonsonline.com/technote2.htm

VON SPERLING, M. 2002, **Lagoas de estabilização**. 2ª edição, DESA-UFMG.

YÁNEZ, F., 1993, **Lagunas de estabilizacion**. Teoria, diseño y mantenimiento. ETAPA, Cuenca, Equador.