

UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
CENTRO DE TECNOLOGIA E GEOCIÊNCIAS
Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química

Nº081

P

P

E

Q



DISSERTAÇÃO DE MESTRADO

AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL PARA MELHORIA DA
EFICIÊNCIA DA ETE DO CONJUNTO HABITACIONAL
IGNEZ ANDREAZZA EM AREIAS (COMPESA) ATRAVÉS
DE ESTUDO EM ESCALA PILOTO

Maria de Fátima Barbosa da Silva

Livros Grátis

<http://www.livrosgratis.com.br>

Milhares de livros grátis para download.

Maria de Fátima Barbosa da Silva

**AVALIAÇÃO EXPERIMENTAL PARA MELHORIA DA EFICIÊNCIA DA
ETE DO CONJUNTO HABITACIONAL IGNEZ ANDREAZZA EM
AREIAS (COMPESA) ATRAVÉS DE ESTUDO EM ESCALA PILOTO**

Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco, como requisito à obtenção do título de Mestre em Engenharia Química.

Área de Concentração: Engenharia dos Processos Químicos e Bioquímicos

Linha de Pesquisa: Engenharia Ambiental

Orientadores: Prof^o Dr. Maurício Alves da Motta Sobrinho
Universidade Federal de Pernambuco
Prof^a Dra. Valdinete Lins da Silva
Universidade Federal de Pernambuco

Recife
Departamento de Engenharia Química da UFPE
2005

S586a

Silva, Maria de Fátima Barbosa da.

Avaliação experimental para melhoria da eficiência da ETE do conjunto habitacional Ignez Andreazza em Areias (COMPESA) através de estudo em escala piloto. – Recife: O Autor, 2005.
xi, 71 folhas. : il. ; fig., tabs.

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal de Pernambuco. CTG. Engenharia Química, 2005.

Inclui bibliografia.

1. Engenharia química. 2. Engenharia ambiental. 3. Estação de tratamento de esgotos. 4. Estação de tratamento de efluentes (ETE). 4. Águas residuárias – Conjunto habitacional Ignez Andreazza – Recife, PE. I. Título.

660.2 CDD (22.ed.)

UFPE
BCTG/2006-93

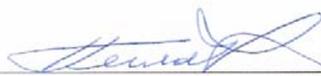
Dissertação de Mestrado apresentada e aprovada em 16 de dezembro de 2005 pela banca examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Mauricio Alves da Motta Sobrinho
Departamento de Engenharia Química da UFPE



Prof. Dr. Valdinete Lins da Silva
Departamento de Engenharia Química da UFPE



Prof. Dr. Henio Normando de Souza Melo
Departamento de Engenharia Química da UFRN



Prof. Dr. Nelson Medeiros de Lima Filho
Departamento de Engenharia Química da UFPE

“Para ser sábio é preciso primeiro temer ao Deus Eterno. Se você conhece o Deus Eterno, então você tem compreensão das coisas.”

(Provérbios 9:10)

Dedico ao meu Deus, ao qual digo: "...nunca me deixes esquecer que o que tenho, o que sou e o que vier a ser vem de ti, Senhor!" e, à minha mãe, amiga incondicional.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por sua fidelidade e amor.

Aos meus pais pelo carinho e presença constante.

A COMPESA, pelo apoio e liberação da Estação para a realização deste estudo.

Aos que comigo laboram na empresa todo santo dia.

Aos meus orientadores Maurício e Valdinete que tornaram possível a realização deste sonho.

A todos os amigos do LEAQ, especialmente Ernesto, Suênia, Maria, Ana que muito me ajudaram no desenvolvimento deste trabalho.

Ao Programa de Pós-graduação, pelo apoio dado na pesquisa.

Aos Laboratórios de Processos Catalíticos e Otimização de Controle, pelos equipamentos colocados à disposição no desenvolvimento deste trabalho.

A todos os professores que contribuíram direta ou indiretamente na minha formação.

A minha irmã Paula Tereza, ou Tchelma, que há muito tempo me acompanha nos momentos de choro e de alegria.

Aos amigos, Quésia, Tânia, Patrícia, Poliana, Safira, Léo e todos quantos fazem a IBCI que jamais me deixaram sem palavras de incentivo.

Aos que não estão encontrando seus nomes aqui, por culpa minha, mas que sabem que não têm sido menos importantes em minha vida.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	iii
LISTA DE TABELAS.....	vi
LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS	vii
LISTA DE SÍMBOLOS	viii
RESUMO	ix
ABSTRACT	x
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
2.1. Poluição Hídrica	3
2.2. Caracterização da Quantidade dos Esgotos Domésticos	4
2.3. Caracterização da Qualidade dos Esgotos Domésticos	5
2.3.1. Principais Características	5
2.3.2. Parâmetros de Qualidade	7
2.4. Principais Tipos de Tratamento de Esgotos	12
2.4.1. Tratamento por Lodos Ativados com Aeração Prolongada de Fluxo Contínuo.....	12
2.5. Comportamento Hidrodinâmico de Reatores Químicos.....	14
2.5.1. Determinação da Função de Distribuição do Tempo de Residência em um Reator	15
a) Obtenção Experimental da DTR	16
b) Modelo de Dispersão	22
c) Modelo de Tanques em Série	23
2.6. Estudo Cinético	24
2.6.1. Velocidade de Reação	25
2.6.2. Método 1 - Estudo Cinético Através da Determinação Química de Oxigênio (DQO)	25
2.6.3. Método 2 - Estudo Cinético Através da Determinação da Concentração da Biomassa	26

2.6.4. Método 3 - Estudo Cinético Através da Determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)	27
2.6.5. Análise dos Dados Cinéticos	28
3. MATERIAIS E MÉTODOS	31
3.1. Reagentes e Equipamentos	31
3.2. Materiais	33
3.2.1. Descrição do Sistema de Esgotamento Sanitário do Conjunto Habitacional Ignez Andreazza em Areias (ETE Caçote)	33
3.2.2. A Unidade Piloto	36
3.2.3. Estudo Cinético	37
3.3. Procedimento Experimental	38
3.3.1. Avaliação Preliminar da ETE Caçote – amostragem e análises ...	38
3.3.2. Determinação do Tempo de Residência do Reator Piloto	39
3.3.3. Estudo do Processo de Tratamento por Lodos Ativados em Reator Piloto	40
3.3.4. Estudo Cinético	42
4. RESULTADOS E DISCUSSÕES	44
4.1. Avaliação Preliminar da ETE Caçote	44
4.2. Modelagem Hidrodinâmica do Reator Piloto	50
4.3. Estudo do Processo de Tratamento por Lodos Ativados em Reator Piloto	52
4.4. Estudo Cinético	59
4.5. Avaliação da ETE ao Término da Pesquisa	67
5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS	68
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	69
ANEXO A	71

LISTA DE FIGURAS

Figura 2.1.	Fluxograma do processo de tratamento de efluentes por lodos ativados.	13
Figura 2.2.	Distribuição do tempo de residência (DTR).	15
Figura 2.3.	Técnicas estímulo-resposta usadas no estudo de escoamentos em reservatórios.	16
Figura 2.4.	Sinais típicos chamados de curva F e de curva C, como resposta a um sinal de entrada em degrau e a um sinal de entrada em função δ correntes acima.	17
Figura 2.5.	Propriedades das curvas para Escoamento Tubular e em Mistura.	19
Figura 3.1.	(a) tanque de aeração e (b) decantador secundário da ETE Caçote no ano de 2003 (Recife - PE).	34
Figura 3.2.	Projeto do aerador da unidade piloto.	36
Figura 3.3.	Projeto do decantador da unidade piloto.	36
Figura 3.4.	Reator canal da unidade piloto.	37
Figura 3.5.	Representação esquemática do material utilizado no método 1 e no método 2, respectivamente.	38
Figura 3.6.	Esquema dos Pontos de Amostragem, onde P1 – esgoto bruto, P2 – esgoto “aerado”, P3 – esgoto tratado.	39
Figura 3.7.	Sistema empregado na determinação do tempo de residência do reator piloto.	40
Figura 3.8.	Estudo do processo de lodos ativados em unidade piloto.	41
Figura 3.9.	(a) Sistema para determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) e (b) Aeração do sistema.	43
Figura 4.1.	Variação da concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) do esgoto bruto (\blacktriangle) e tratado (\bullet) da ETE Caçote (fonte: GME - COMPESA)	44
Figura 4.2.	Variação da concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do esgoto bruto (\blacktriangle) e tratado (\bullet) da ETE Caçote (fonte: GME - COMPESA).	45

Figura 4.3.	Varição da concentração de Sólidos Sedimentáveis do esgoto bruto (▲) e tratado (●) da ETE Caçote (fonte: GME - COMPESA).	45
Figura 4.4.	Varição da concentração de sólidos totais dissolvidos na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.	46
Figura 4.5.	Varição da condutividade do esgoto na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.	46
Figura 4.6.	Varição da demanda química de oxigênio (DQO) na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.	47
Figura 4.7.	Varição da demanda química de oxigênio solúvel (DQO solúvel ou filtrada) na entrada (●) e na saída (▲) da ETE Caçote em 2003.	48
Figura 4.8.	Varição do teor de sólidos sedimentáveis (SS) (▲) e de sólidos suspensos totais (SST) (●) no tanque de aeração da ETE Caçote em 2003.	48
Figura 4.9.	Varição das frações de sólidos suspensos voláteis (SSV) e fixos (SSF) da ETE Caçote em 2003.	49
Figura 4.10.	Curvas E do reator canal estudado.	50
Figura 4.11.	Varição do pH na saída da unidade piloto no primeiro experimento.	52
Figura 4.12.	Varição da concentração de sólidos totais (▲) e voláteis (●) na saída da unidade piloto no primeiro experimento.	53
Figura 4.13.	Varição da concentração de sólidos voláteis no tanque de aeração da unidade piloto no primeiro experimento.	53
Figura 4.14.	Varição da condutividade (▲) e do pH (●) na saída da unidade piloto no segundo experimento.	54
Figura 4.15.	Varição da condutividade (▲) e do pH (●) no tanque de aeração da unidade piloto no segundo experimento.	55
Figura 4.16.	Varição da concentração de sólidos totais (▲) e voláteis (●) na saída da unidade piloto no segundo experimento.	56
Figura 4.17.	Varição da concentração da DQO na saída do decantador.	57
Figura 4.18.	Teste de decantabilidade do lodo ativado	57
Figura 4.19.	(a) e (b) Curvas da DQO x Tempo com coleta de amostras através de béquer.	59

Figura 4.20.	Curvas da DQO filtrada x Tempo, com filtração das amostras coletadas(a) e com diluição do sistema(b).	61
Figura 4.21.	(a) e (b) Curvas da DQO x Tempo, com coleta através de seringa.	62
Figura 4.22.	(a) e (b) Curvas da TCO x Tempo (primeiros testes).	63
Figura 4.23.	(a) e (b) Curvas da TCO x Tempo (usando-se biomassa após reativação do reciclo da ETE-Caçote).	64
Figura 4.24.	(a) e (b) Retas obtidas para determinação da constante de velocidade (k).	65
Figura 4.25.	Fotos da ETE-Caçote ao término do estudo (outubro/2005).	67

LISTA DE TABELAS

Tabela 2.1.	Principais características químicas dos esgotos domésticos (VON SPERLING, 1998).	6
Tabela 2.2.	Características dos principais tipos de tratamento de esgotos.	12
Tabela 3.1.	Parâmetros e frequência aplicados no monitoramento do reator piloto.	41
Tabela 4.1.	Parâmetros de caracterização do substrato e esgoto de partida da unidade piloto.	52
Tabela 4.2.	Parâmetros de caracterização do substrato e esgoto de partida do segundo experimento da unidade piloto.	54

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

- COMPESA - Companhia Pernambucana de Saneamento
- RMR - Região Metropolitana do Recife
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
- ETE - Estação de Tratamento de Esgotos
- OMS - Mundial de Saúde
- QPC - Quota per Capita
- DBO - Demanda Bioquímica de Oxigênio
- NTK - Nitrogênio Total Kjeldahl
- SES - Sistemas de Esgotamento Sanitário
- DTR - Distribuição do Tempo de Residência
- CSTR – Complete Stirred Tank Reactor (reator de mistura completa)
- OD - Oxigênio Dissolvido
- TCO - Taxa de Consumo de Oxigênio
- GME - Gerência Metropolitana de Esgotos
- SS - Sólidos Sedimentáveis
- SST - Sólidos Suspensos Totais
- SSV - Sólidos Suspensos Voláteis
- SSF – Sólidos Suspensos Fixos
- STD – Sólidos Totais Dissolvidos
- TRH - Tempo de Retenção Hidráulico
- P1 – Ponto de amostragem de esgoto bruto, situado na caixa de areia da estação de tratamento
- P2 – Ponto de amostragem de esgoto aerado, situado na saída do tanque de aeração
- P3 – Ponto de amostragem de esgoto tratado, situado na saída do decantador secundário

LISTA DE SÍMBOLOS

- R – Coeficiente de retorno (vazão de esgotos/vazão de água)
- t – Variável tempo (h)
- Δt – Intervalo de tempo (h)
- E** – Distribuição de idade de saída
- $F(t)$ – Curva da concentração do traçador na entrada e na saída para injeção em degrau
- $C(t)$ – Concentração do traçador em função do tempo (g.L^{-1})
- C_0 – Concentração do traçador na entrada do reator (g.L^{-1})
- \bar{t} – Tempo médio de residência das partículas dentro do reator (h)
- V – Volume do reator (L)
- v – Vazão volumétrica. (L/h)
- σ^2 – Variância da distribuição
- τ – Tempo de residência(h)
- D_a ou D – Coeficiente de dispersão ou coeficiente longitudinal ou axial de dispersão
- u – Velocidade específica do escoamento
- L – Comprimento do reator (m)
- z – Comprimento adimensional
- Du/L – Número de dispersão axial
- σ_θ^2 – Variância reduzida
- N – Número de tanques ideais em série
- C_A – Concentração do reagente A (g.L^{-1})
- r_A – Taxa de consumo de A
- Y – Coeficiente de produção celular
- n – Ordem de reação
- k – Velocidade específica de reação
- C_{A0} – Concentração inicial do reagente A (mg.L^{-1})

RESUMO

Devido ao interesse social e ambiental em se expandir o número de comunidades atendidas por sistemas de esgotamento sanitário, constitui-se também um desafio projetar, construir e operar estações de tratamento eficientes e econômicas. Com base nesses argumentos e através de análises preliminares, escolheu-se para estudo, uma estação de tratamento de esgotos domésticos operada pela COMPESA que atende a aproximadamente 12.320 habitantes residentes no Conjunto Habitacional Ignez Andreazza, o maior da América Latina, situado em Areias-Recife-PE. Nesta estação de tratamento de efluentes (ETE) foi observado um baixo rendimento na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em relação ao esperado em projeto, assim como problemas de recirculação e de baixa concentração de lodos ativados no tanque de aeração. Desta forma, este trabalho contribuiu para a melhoria do funcionamento desta ETE a partir de informações de monitoramento da mesma e estudos em unidades piloto. Foi realizada inicialmente uma avaliação através da caracterização dos efluentes e afluentes da mesma, utilizando a metodologia do Standard Methods for Water and Wastewater Examination (APHA et al., 1985). Foram analisados três pontos do sistema: entrada após a caixa de areia, o tanque de aeração e a saída do decantador. Em seguida foi realizado um estudo do processo de tratamento em uma unidade piloto constituída de um tanque de 21 litros, dotado de aeração por pedras porosas e um decantador, ambos de acrílico. A recirculação do lodo e a alimentação do substrato sintético foram realizadas utilizando uma bomba peristáltica. Foi também realizada uma avaliação do regime de escoamento nesta unidade piloto, através da técnica de DTR utilizando NaCl como traçador. Uma análise da influência da recirculação na performance do sistema pode ser realizada através de um segundo monitoramento dos mesmos pontos e tomando como base os resultados do primeiro estudo. A avaliação da cinética foi baseada em dados obtidos por respirometria, da degradação da matéria orgânica. Foi observada uma redução de 75% dos sólidos totais dissolvidos e uma remoção da DQO de cerca de 80%. No estudo no reator piloto, foi constatado um tempo de residência médio (t_m) de 8,15h com variância (σ^2) de 50,35 h² para um tempo de retenção hidráulico teórico (TRH) de 10,5h. Aplicando-os no modelo de tanques em série, verificou-se que seriam necessários dois tanques ideais em série para modelar o reator real. Na operação do sistema piloto com a biomassa, após a estabilização do sistema, foram verificados valores de eficiências de 90 e 92% para a DBO e DQO respectivamente. No estudo cinético, foram utilizados como parâmetros a DQO e em seguida a concentração de biomassa. Devido a problemas de homogeneidade e representatividade na amostragem foi utilizada a técnica da determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) para se monitorar o avanço da degradação. Seis experimentos para determinação da TCO permitiram obter gráficos da TCO versus tempo, encontrando-se pelo método de cálculo integral um valor médio para a constante de velocidade (k) igual a 2,6, tendo sido considerado a reação como de 1ª ordem. Como reflexo do trabalho de monitoramento, a ETE estudada superou a eficiência de remoção de DBO estimada em projeto (94%) para 96% uma vez ativada a recirculação de lodo para o tanque aerado e realizadas as modificações sugeridas.

Palavras-chave: águas residuárias, otimização, estação de tratamento de esgotos, lodo ativado.

ABSTRACT

Due the social and ambient interest in expanding the number of communities taken care of for systems of sanitary exhaustion, a challenge also consists to project, to construct and to operate efficient and economic stations of treatment. With base in these arguments and through preliminary analyses, it was chosen for study, a station of treatment of domestic sewers operated by the COMPESA that approximately takes care of the 12,320 resident inhabitants in the Set Habitacional Ignez Andrezza, the greater of Latin America, situated in Areias-Recife-PE. In this ETE a low income in the removal of the Biochemical Oxygen Demand (BOD) was observed in relation to the waited one in project, as well as problems of recirculation and low concentration of activated sludge in the aeration tank. Of this form, this work had intention to contribute with information that pointed with respect to one adequate functioning of this sewage treatment station. For in such a way it was carried initially an evaluation through the characterization of effluent and the affluent ones of the same one, using the methodology of the Standard Methods for Water and Wastewater Examination. Three points of the system had been analyzed: entrance after the sand trap, the aeration tank and the exit of the clarifier. After that it was realized a study of the treatment process in a unit pilot. This unit consisted of a tank with capacity for 21 liters, endowed with airing for porous rocks and a clarifier, both of acrylic. The recirculation of the sludge and the feeding of the synthetic substrate had been realized using a pump. Also an evaluation of the regime of draining in this pilot unit was carried, through of the RTD technique using salt as plotting. An analysis of the influence of recirculation in the performance of the system can be carried through of a second monitoring of the same points and taking as base the results of the first study. The evaluation of kinetic was based on data gotten using respirometry, of organic substance's degradation. It was observed a reduction of 75% of total solids dissolved and a removal of the COD of about 80%. During the study of reactor pilot, an average time of residence (t_m) of 8,15h with variance (s^2) of 50,35 h² was evidenced for a theoretical time of hydraulic retention (HRT) of 10,5h. Applying them in the model of tanks in series, it was verified that two ideal tanks in series would be necessary to model the real reactor. In the operation of the system pilot with biomass, problems in the system of recirculation with the consequent loss of sludge through clarifier had occurred, being the tank of aeration, after 3th day, with a concentration of 1,72 g/L. In the first experiment, after the stabilization of the system, values of efficiencies of 90 and 92% for BOD and COD had been verified respectively. In the kinetic study, the COD had been used as parameters and after that the biomass concentration. Due the problems of homogeneity and representation in the sampling the initial experiments had not been presented adequate. Then the technique of the determination of TCO was used to monitor the advance of the degradation. Six experiments for determination of TCO had allowed to get graphs of TCO versus time, meeting for the method of integral calculus an average value for the speed constant (k) equal the 2,6, having been considered the reaction as of 1st order. As reflected of the monitoring work, the studied ETE surpassed the efficiency of removal of BOD esteem in project (94%) for 96% a activated time the recirculation of sludge for the aeration tank and carried through the suggested modifications.

Keywords: wastewater, optimization, sewage treatment station, activated sludge.

1. INTRODUÇÃO

O grande interesse social e ambiental em se expandir para um número cada vez maior de comunidades atendidas por sistemas de esgotamento sanitário, constitui um grande desafio da engenharia ambiental. Deve-se assim buscar-se projetar, construir e operar estações de tratamento eficientes e econômicas que permitam a melhoria do meio ambiente e das condições da vida da população, afinal “O Homem é produto do Meio”. Para isso, é importante a capacitação de um amplo contingente de profissionais que as executem levando-se em conta a eficiência e a sustentabilidade do empreendimento.

A Companhia Pernambucana de Saneamento (COMPESA), empresa de economia mista, cujo compromisso volta-se tanto para a sociedade quanto para o meio ambiente, carrega a dura responsabilidade de administrar um total de 97 estações de tratamento de esgotos, as quais representam um atendimento equivalente a 30% da Região Metropolitana do Recife (RMR). A empresa não dispõe de nenhum departamento ou grupo de trabalho para pesquisa e desenvolvimento tecnológico na área de esgotamento sanitário, contudo possui dois laboratórios para o monitoramento da qualidade dos esgotos, que atendem a RMR.

Com base nos argumentos citados e através de análises preliminares, escolheu-se como objeto para a presente dissertação de mestrado, monitorar e otimizar o funcionamento da estação de tratamento de esgotos do Caçote a qual vinha apresentando problemas operacionais. Esta ETE atende a uma população de 12.320 habitantes residente no Conjunto Habitacional Ignez Andreazza, situado no bairro de Areias em Recife-PE (COMPESA, 1982). Este é o maior conjunto habitacional da América Latina, com 2.464 unidades habitacionais.

Na estação de tratamento de esgotos do Conjunto Residencial Ignês Andreazza (Caçote), foi observado o baixo rendimento na remoção da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) em relação ao esperado em projeto, assim como problemas de recirculação e de baixa concentração de lodos ativados no tanque de aeração.

Tendo em vista que esta estação situa-se em uma região de forte concentração populacional e de forte apelo ambiental, devido à presença de um manguezal e de um rio de baixa vazão (rio Tejipió), tomou-se esta estação como objeto de estudo.

Para o desenvolvimento desta pesquisa foi necessária uma cooperação entre o Departamento de Engenharia Química da UFPE e a COMPESA, para que houvesse um trabalho de co-gestão da estação de tratamento.

Esta pesquisa visou monitorar o funcionamento da Estação de Tratamento de Esgotos Caçote cuja nomenclatura na referida companhia é ETES-01. Com este monitoramento, identificaram-se problemas e razões pelas quais a estação não funcionava em sua plenitude e foram elaboradas propostas de melhorias. Após a implementação de algumas destas propostas, foi realizado um segundo monitoramento e analisou-se o resultado obtido.

Desta forma, este projeto teve o intuito de contribuir com informações que apontassem para um adequado funcionamento de uma estação de tratamento de esgotos.

Dentre os objetivos específicos, pode-se destacar inicialmente a avaliação da estação de tratamento, através da caracterização dos efluentes e afluentes da mesma. Um estudo do processo de tratamento em escala piloto através de uma avaliação do comportamento dos sistemas e de uma avaliação hidrodinâmica do escoamento foi realizado. Uma análise da influência da recirculação na performance do sistema pode ser realizada através de um estudo comparativo do monitoramento antes e após as modificações. Finalmente um estudo da cinética de degradação da matéria orgânica foi feito.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Poluição Hídrica

Ao longo de sua História, o homem tem demonstrado que a sua fixação e formação de comunidades em algumas regiões do planeta têm como principal condição a disponibilidade de água. A água é a responsável pela existência dessas comunidades próximas às suas fontes. Como conseqüência desse envolvimento, ocorre a geração de resíduos, os quais, quando descartados, resulta na poluição do meio ambiente.

O intuito de melhorar as condições de vida e de conservar o meio ambiente levou o homem a desenvolver sistemas de saneamento. Em 1986, a Organização Mundial de Saúde (OMS) definiu saneamento como o controle de todos os fatores do meio físico do Homem que exercem ou podem exercer efeito deletério sobre seu bem-estar físico, mental ou social (JORDÃO & PESSOA, 1995).

Os principais indicadores de eficiência no controle desses fatores são, o coeficiente de mortalidade infantil e a percentagem da população abastecida por água. Evidentemente, a diminuição da taxa de mortalidade infantil não se deve unicamente a melhoria nas condições de saneamento básico, mas é inegável que a falta de abastecimento de água e de coleta de esgotos ocasionam vários problemas de saúde pública, e por tanto, afetam os indicadores de qualidade de vida (FUNASA, 2004).

A poluição causada aos corpos d'água pelo lançamento de esgotos sem tratamento, ou apenas parcialmente tratados, é função das alterações da qualidade ocasionadas neste corpo receptor. No Brasil, o lançamento de esgotos domésticos não tratados é ainda a principal fonte de poluição dos corpos d'água (VICZNEVSKI & SILVA, 2003).

Diante da importância do tratamento dos esgotos domésticos, diversos critérios, estudos, projetos e tecnologias foram surgindo ao longo do tempo. Os processos de tratamento desenvolvidos são formados por uma série de operações unitárias e processos químicos, físicos e biológicos empregados para a remoção dos poluentes (CIEMAT, 1992).

O grau e nível de tratamento são definidos em função do corpo receptor e das características de uso da água a jusante do ponto de lançamento; da capacidade de autodepuração e diluição do corpo d'água; da legislação ambiental; e das conseqüências dos lançamentos dos esgotos (JORDÃO & PESSOA, 1995).

Um aspecto também bastante importante é a escolha do tipo de tratamento em conformidade com as razões financeiras, isto é, tratamentos mais simples quanto à operação e manutenção e, portanto mais baratos, podem ser adotados desde que atendam as condições impostas pelo corpo receptor e legislação ambiental.

Neste caso, verifica-se que a melhor ação governamental para a melhoria na qualidade de vida consiste no combate à transmissão de doenças por veiculação hídrica e na preservação do meio ambiente através das ações preventivas de saneamento com a implantação de sistemas de esgotamento sanitários para as comunidades. Ciente que isto só é possível, buscando-se sempre reduzir a quantidade de carga orgânica e de organismos patogênicos na água e no solo, através da construção e monitoramento das estações de tratamento de esgotos, eficazes para o fim a que se destina.

2.2. Caracterização da Quantidade de Esgotos Domésticos

Os esgotos provenientes de uma cidade e que são enviados para uma Estação de Tratamento de Esgotos (ETE) são basicamente originados de três fontes distintas: esgotos domésticos, águas de infiltração e despejos industriais. No Brasil adota-se o sistema separador de esgotamento sanitário, no qual se separa as águas pluviais em linhas de drenagem independentes, que não chegam assim nas ETEs. Para a caracterização, tanto quantitativa quanto qualitativa, dos esgotos afluentes a ETE, é necessária a análise cuidadosa do mesmo. O esgoto doméstico engloba usualmente aqueles oriundos dos domicílios, bem como de atividades comerciais e institucionais componentes de uma localidade. Normalmente a vazão doméstica de esgotos é calculada com base na vazão de água da respectiva localidade. Esta por sua vez, é em geral, calculada com base em função da população de projeto e de um valor atribuído para o consumo médio diário de água de um indivíduo, denominado Quota per Capita (QPC). É importante observar que para o projeto de uma estação de tratamento de esgotos não basta considerar apenas a vazão média. É necessária também a quantificação dos valores mínimos e máximos de vazão, por razões hidráulicas e de processo (FUNASA, 2004).

É importante salientar que para se obter a vazão média dos esgotos, deve-se estar ciente que a produção de esgotos corresponde aproximadamente ao consumo de água. No entanto, a fração de esgotos que adentra a rede coletora pode variar, devido ao fato que parte da água consumida pode ser lançada na rede pluvial. Outros fatores de

influência em um sistema separador absoluto são: (a) ocorrência de ligações clandestinas dos esgotos à rede pluvial e (b) infiltração. A fração de água que adentra a rede de coleta na forma de esgoto é denominada coeficiente de retorno (R: volume de esgotos/volume de água). Os valores típicos de R variam de 60% a 100% do volume de água consumida, sendo que o valor usualmente adotado tem sido o de 80% (USAD, 1969).

Tem sido prática corrente a adoção de coeficientes de variação da vazão média de água, conforme o dia ou hora de maior ou menor consumo de água.

Quanto às variações horárias das vazões de esgoto, deve-se levar em consideração que as flutuações são amortecidas ao longo da rede coletora. É fácil entender que quanto maior a rede (ou a população), menor será a chance das vazões de pico se superporem simultaneamente na entrada da estação. Assim, o tempo de residência na rede coletora tem uma grande influência no amortecimento dos picos de vazão.

Tais conhecimentos são importantes haja vista que valores super ou subdimensionados afetam diretamente o desempenho técnico e econômico da estação em projeto.

2.3. Caracterização da Qualidade dos Esgotos Domésticos

2.3.1. Principais Características

As principais características físicas dos esgotos domésticos são temperatura, cor, odor e turbidez, enquanto as principais características químicas são sólidos totais, matéria orgânica, nitrogênio total, fósforo, pH e alcalinidade, as quais estão descritas na Tabela 2.1. (VON SPERLING, 1998).

Cada etapa do processo de tratamento remove uma parte dos contaminantes. A matéria orgânica, como está mostrado na Tabela 2.1, pode estar em suspensão ou dissolvida. No primeiro caso ela é removida por operações unitárias de separação, como a decantação e a floculação, que fazem parte do tratamento primário de efluentes. A poluição dissolvida é, via de regra, removida por processos biológicos (lodos ativados) ou físico-químicos (oxidação), constituintes do tratamento secundário (METCALF & EDDY, 1995).

Quanto a sua biodegradabilidade, a matéria orgânica dissolvida não biodegradável passa através de um sistema de tratamento biológico sem sofrer reduções significativas, sendo necessário um tratamento físico-químico posterior (tratamento terciário).

Tabela 2.1. Principais características químicas dos esgotos domésticos (VON SPERLING, 1998).

Parâmetro	Descrição
<p>SÓLIDOS TOTAIS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Em suspensão -Fixos -Voláteis • Dissolvidos -Fixos -Voláteis • Sedimentáveis 	<p>Orgânicos e inorgânicos; suspensos e dissolvidos; sedimentáveis.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos não filtráveis (não dissolvidos). - Componentes minerais, não incineráveis, inertes, dos sólidos em suspensão. - Componentes orgânicos dos sólidos em suspensão. - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos não filtráveis. - Componentes minerais dos sólidos dissolvidos. - Componentes orgânicos dos sólidos dissolvidos. - Fração dos sólidos orgânicos e inorgânicos que sedimenta em 1 hora no cone Imhoff. Indicação aproximada da sedimentação em tanques de decantação.
<p>MATÉRIA ORGÂNICA</p> <ul style="list-style-type: none"> • DQO • DBO₅ 	<p>Mistura de diversos compostos orgânicos: proteínas, carboidratos, lipídios, etc.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Demanda Química de Oxigênio. Representa a quantidade de oxigênio requerida para estabilizar quimicamente a matéria orgânica carbonácea. - Demanda Bioquímica de Oxigênio. Medida a 5 dias e 20°C. Está associada à fração biodegradável dos componentes orgânicos carbonáceos. É uma medida do oxigênio consumido após 5 dias pelos microrganismos na estabilização bioquímica da matéria orgânica (Determinação Indireta).
<p>NITROGÊNIO TOTAL</p> <ul style="list-style-type: none"> • Nitrogênio orgânico • Amônia • Nitrito • Nitrato 	<p>Inclui o nitrogênio orgânico, amônia, nitrito e nitrato. É um nutriente indispensável para o desenvolvimento dos microrganismos no tratamento biológico. O nitrogênio orgânico e a amônia compreendem o Nitrogênio Kjeldahl (NTK).</p> <ul style="list-style-type: none"> - Nitrogênio na forma de proteínas, aminoácidos e uréia. - Produzida como primeiro estágio da decomposição do nitrogênio orgânico. - Estágio intermediário da oxidação da amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto. - Produto final da oxidação amônia. Praticamente ausente no esgoto bruto.
<p>FÓSFORO</p> <ul style="list-style-type: none"> • Fósforo orgânico • Fósforo inorgânico 	<p>Existe na forma orgânica e inorgânica. Nutriente indispensável no tratamento biológico.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Combinado à matéria orgânica. - Ortofosfato e polifosfatos.
<p>pH</p>	<p>Indicador das características ácidas e básicas do esgoto. Os processos de oxidação biológica normalmente tendem a reduzir o pH.</p>
<p>CAPACIDADE TAMPÃO</p>	<p>Estimativa dos teores de N-NH₄⁺ e ortofosfatos através da análise de curvas de capacidade tampão versus o pH. Também outras espécies ácido-base podem ser caracterizadas pelo seu pKa.</p>

As características biológicas são avaliadas pelos microrganismos presentes nos esgotos como:

- bactérias (as principais responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e apresentam várias formas e tamanhos);
- fungos (podem crescer em condições de baixo pH);

- protozoários (são essenciais no tratamento biológico para manutenção do equilíbrio entre os diversos grupos, pois se alimentam de bactérias, algas e outros microrganismos);
- vírus (difícil remoção no tratamento de água ou esgotos);
- e helmintos (animais superiores cujos ovos presentes nos esgotos podem causar doenças).

2.3.2. Parâmetros de Qualidade

Os esgotos domésticos contêm aproximadamente 99,9% de água. A fração restante inclui sólidos orgânicos e inorgânicos, suspensos e dissolvidos, bem como microrganismos. É devido a essa fração de 0,1% que há necessidade de se tratar os esgotos (METCALF & EDDY, 1995).

A característica dos esgotos é função dos usos à qual a água foi submetida. Esses usos e a forma com que são exercidos variam com o clima, situação social e econômica, e hábitos da população.

Alguns parâmetros traduzem o caráter ou o potencial poluidor do despejo em questão. Tais parâmetros definem a qualidade do esgoto, podendo ser divididos em três categorias: parâmetros físicos, químicos e biológicos.

Os principais parâmetros relativos a esgotos domésticos que merecem destaque face à sua importância são: sólidos, indicadores de matéria orgânica, nitratos e ortofosfato (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

a) Sólidos

Todos os contaminantes da água com exceção dos gases dissolvidos contribuem para a carga de sólidos. Os sólidos podem ser classificados de acordo com o seu tamanho e estado, suas características químicas e a sua decantabilidade (JORDÃO & PESSOA, 1995):

- Classificação por tamanho e estado de agregação: sólidos em suspensão e sólidos dissolvidos.
- Classificação pelas características químicas: sólidos voláteis e sólidos fixos.
- Classificação pela decantabilidade: sólidos em suspensão sedimentáveis e sólidos em suspensão não sedimentáveis.

a.1) Classificação por Tamanho

As partículas de menores dimensões são capazes de passar por um papel de filtro correspondendo aos sólidos dissolvidos (diâmetro inferior a 10^{-3} μm), enquanto que as de maiores dimensões, retidas pelo filtro são consideradas sólidos em suspensão (diâmetro superior a 10 μm) (VON SPERLING, 1998).

a.2) Classificação pelas Características Químicas

Ao se submeter os sólidos a uma temperatura elevada (550°C), a fração orgânica é oxidada (volatilizada), permanecendo após a combustão apenas a fração inerte (não oxidada). Os sólidos voláteis representam uma estimativa da matéria orgânica nos sólidos, ao passo que os sólidos não voláteis (fixos ou inertes) representam a matéria inorgânica ou mineral (VON SPERLING, 1998).

a.3) Classificação pela Decantabilidade

Consideram-se como sólidos sedimentáveis, aqueles que sejam capazes de sedimentar no período de 1 hora. O valor é expresso na unidade de mL/L, medido num recipiente denominado cone Imhoff. A fração que não se sedimenta representa os sólidos não sedimentáveis.

b) Matéria Carbonácea

A matéria orgânica é a causadora do principal problema de poluição das águas: o consumo de oxigênio dissolvido pelos microrganismos nos seus processos metabólicos de utilização e estabilização e estabilização da matéria orgânica. As substâncias orgânicas presentes nos esgotos são constituídas principalmente por: compostos de proteínas, carboidratos, gorduras e óleos, uréia, surfactantes, fenóis, pesticidas e outros (VON SPERLING, 1998).

A matéria orgânica presente nos afluentes a uma ETE pode ser classificada da seguinte forma:

- Classificação quanto à forma e tamanho: em suspensão e/ou dissolvida;
- Classificação quanto à biodegradabilidade: inerte ou biodegradável.

Em termos práticos, não há necessidade de se caracterizar a matéria orgânica em termos de proteínas, gorduras, carboidratos, etc, haja vista a grande dificuldade laboratorial e dos custos envolvidos nas análises dos diversos componentes da matéria orgânica nas águas residuárias, face à multiplicidade de formas e compostos em que a mesma pode se apresentar.

b.1) Métodos para Determinação da Matéria Orgânica

- *Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO)*

Sabe-se que o efeito da poluição orgânica em um curso d'água é a redução dos teores de oxigênio dissolvido. Assim, mede-se a "força" de poluição de um despejo pelo consumo de oxigênio, ou seja, uma quantificação indireta da potencialidade da geração de um impacto (VON SPERLING, 1998).

A quantificação poderia ser obtida através de cálculos estequiométricos baseados nas reações de oxidação da matéria orgânica, constituindo assim a Demanda Bioquímica de Oxigênio Teórica (BDO_T). Em termos práticos a Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) é a medição, em laboratório, do consumo de oxigênio que um volume padronizado de esgoto exerce em um período de tempo pré-fixado. A DBO reflete a quantidade de oxigênio necessária para estabilizar a matéria orgânica, através de processos bioquímicos, a matéria orgânica carbonácea (VON SPERLING, 1998).

Haja vista que a estabilização completa demora vários dias, convencionou-se proceder à análise no 5º dia, à temperatura de 20°C. Tem-se dessa forma, a DBO padrão, DBO_5^{20} . Os esgotos possuindo grande concentração de matéria orgânica consomem rapidamente todo o oxigênio dissolvido no líquido. Dessa forma, é necessário realizar-se diluições. Os esgotos domésticos possuem uma DBO da ordem de 300 mg/L, isto é, 1 litro de esgoto consome cerca de 300 mg de oxigênio, em 5 dias. (APHA et al., 1995)

O teste da DBO permite a indicação da fração biodegradável do despejo, da taxa de degradação do despejo, da taxa de consumo de oxigênio em função do tempo e da quantidade de oxigênio necessária à estabilização biológica da matéria orgânica presente.

Uma das grandes limitações da DBO consiste na demora de 5 dias, não sendo muitas vezes viável para efeito de controle operacional de uma ETE.

Embora existam limitações, a DBO é extensivamente empregada como critério de dimensionamento das unidades de tratamento e para avaliação do cumprimento aos padrões de lançamento, de acordo com a legislação do CONAMA nº 357 e das agências estaduais de meio ambiente.

- *Demanda Química de Oxigênio (DQO)*

O teste da DQO mede o consumo de oxigênio ocorrido durante a oxidação química da matéria orgânica, através de um forte oxidante em meio ácido.

Algumas das principais vantagens do teste da DQO consistem na rapidez do mesmo e de fornecer uma indicação da quantidade de oxigênio necessária para a estabilização da matéria orgânica. A principal limitação do teste trata-se da superestimação do oxigênio a ser consumido no tratamento biológico, oxidando tanto a fração biodegradável quanto à fração inerte dos esgotos. Certos constituintes inorgânicos podem, inclusive, ser oxidados interferindo no resultado da análise (VON SPERLING, 1998).

É válido salientar que em geral a relação DQO/DBO₅ varia entre 1,7 a 2,4 para esgotos brutos. Na medida em que os esgotos passam pelas diversas etapas de uma estação de tratamento, a tendência para essa relação é aumentar, tendo em vista que a fração biodegradável reduz enquanto que a inerte permanece inalterada. O efluente final do tratamento biológico possui valores da relação superiores a 3,0.

Em geral, tem-se que: matéria inorgânica = Sólidos Suspensos Fixos (SSF)
matéria orgânica = Sólidos Suspensos Voláteis (SSV)
Sólidos Suspensos Totais = SSV + SSF

c) Nitratos

O nitrogênio apresenta-se de várias formas e estados de oxidação, como resultado de diversos processos bioquímicos. É um elemento indispensável para o crescimento dos microrganismos responsáveis pelo tratamento dos esgotos. No meio aquático, o nitrogênio pode ser encontrado na forma de *nitrogênio molecular* (sendo liberado para a

atmosfera), *nitrogênio orgânico* (dissolvido e em suspensão), *amônia* (livre e ionizada), *nitrito* (NO_2^-) e *nitrato* (NO_3^-). Pode ser avaliado através do processo de nitrificação, onde amônia é oxidada a nitrito e este a nitrato, e também do processo de desnitrificação em que, os nitratos são reduzidos a nitrogênio gasoso. (JORDÃO & PESSOA, 1995)

O processo de desnitrificação que eventualmente possa ocorrer numa ETE implica em economia de oxigênio e alcalinidade (quando efetuado de forma controlada), ou deterioração da decantabilidade do lodo (quando não controlado) (JORDÃO & PESSOA, 1995)

Em cursos d'água, a determinação da forma predominante do nitrogênio fornece indicações sobre o estágio da poluição ocasionada por algum lançamento de esgotos a montante. Se a poluição é recente, haverá predominância de nitrogênio orgânico ou amônia, se antiga, haverá basicamente nitrato. Nos esgotos brutos, as formas predominantes são nitrogênio orgânico e amônia. Ambas são determinadas em laboratório pelo método Kjeldahl, denominado Nitrogênio Total Kjeldahl (NTK).

d) Ortofosfatos

A importância do fósforo deve-se principalmente ao seu caráter de nutriente essencial ao crescimento dos microrganismos responsáveis pela estabilização da matéria orgânica e em certas condições, ao desenvolvimento de algas que podem conduzir a fenômenos de eutrofização.

As principais formas do fósforo na água são *ortofosfatos*, *polifosfatos* e *fósforo orgânico*.

Os *ortofosfatos* têm como suas principais fontes o solo, detergentes, fertilizantes e esgotos domésticos, além disso, não necessitam de conversões para formas mais simples a fim de que haja o metabolismo biológico. De acordo com o pH, os ortofosfatos apresentam-se de várias formas, como por exemplo, PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4^- e H_3PO_4 . Em esgotos domésticos, a forma predominante é o HPO_4^{2-} .

Os *polifosfatos* são moléculas mais complexas e se transformam em ortofosfatos pelo mecanismo de hidrólise.

O fósforo orgânico é normalmente de menor importância nos esgotos domésticos típicos, entretanto, pode-se converter a ortofosfatos no tratamento de esgotos.

2.4. Principais Tipos de Tratamento de Esgotos

A remoção dos poluentes durante o tratamento, de forma a adequar o efluente a uma qualidade desejada ou ao padrão de qualidade vigente está associada aos conceitos de tipo de tratamento e eficiência do tratamento.

O tratamento dos esgotos é normalmente classificado em: preliminar, primário, secundário e terciário. Na Tabela 2.2, encontra-se um resumo das características de cada tratamento, como nível de remoção de poluentes, eficiência de remoção, mecanismo de tratamento e padrão de lançamento.

Tabela 2.2. Características dos principais tipos de tratamento de esgotos.

	Tipo de Tratamento			
	Preliminar	Primário	Secundário	Terciário
POLUENTES REMOVIDOS	-Sólidos grosseiros	-Sólidos em suspensão sedimentáveis -DBO em suspensão	-DBO em suspensão -DBO solúvel	-Sólidos em suspensão remanescentes -Sólidos inorgânicos dissolvidos -Metais pesados -Compostos não-biodegradáveis -Patogênicos -Nutrientes
EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO	-	-SS: 60-70% -DBO: 30-40% -Coliformes: 30-40%	-DBO: 60-99% -Coliformes: 60-90% -Nutrientes: 10-50%	-
MECANISMO DE TRATAMENTO	Físico	Físico	Biológico	Químico
CUMPRE PADRÃO DE LANÇAMENTO	Não	Não	Usualmente Sim	Sim

2.4.1. Tratamento por Lodos Ativados com Aeração Prolongada de Fluxo Contínuo

No processo convencional de lodos ativados, o lodo permanece no sistema de 4 a 10 dias. Após este período, a biomassa excedente extraída requer ainda uma etapa de

estabilização no tratamento do lodo, por conter ainda um elevado teor de matéria orgânica na sua composição (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

No caso da aeração prolongada, a biomassa permanece no sistema por um período mais longo, da ordem de 20 a 30 dias (Figura 2.1). Tendo recebido a mesma carga de DBO do esgoto bruto que o sistema convencional, haverá uma menor disponibilidade de alimento para as bactérias. Para que a biomassa permaneça mais tempo no sistema, é necessário que o reator seja maior (o tempo de residência é em torno de 16 a 24 horas). Por tanto, há menos matéria orgânica por unidade de volume do tanque de aeração.

Em decorrência, as bactérias, para sobreviverem, passam a utilizar nos seus processos metabólicos matéria orgânica liberada pela lise das células mortas. Esta matéria orgânica celular é convertida em gás carbônico e água através da respiração. Isto corresponde a uma estabilização do lodo que é feita em separado, na etapa de tratamento de lodo. Na aeração prolongada ela é feita conjuntamente, no próprio reator.

Como não há necessidade de se estabilizar o lodo biológico, os sistemas de aeração prolongada usualmente não possuem decantadores primários, para evitar a necessidade de se estabilizar o lodo primário. Obtém-se grande simplificação no fluxograma do processo, não havendo decantadores primários e unidades de digestão de lodo, entretanto ocorre um grande consumo de energia para aeração, já que o lodo é estabilizado aerobicamente no reator. A reduzida disponibilidade de alimento e a sua praticamente total assimilação fazem com que a aeração prolongada seja o processo de tratamento dos esgotos mais eficiente na remoção de DBO.

Em relação aos tanques ou decantadores secundários, estes têm um papel importante no projeto e na operação do processo de lodo ativado, uma vez que é nesta etapa que ocorre a sedimentação do lodo a ser recirculado (ZHANG, 2006).

O lodo de esgotos representa um material heterogêneo de substâncias orgânicas naturais e de poluentes antropogênicos orgânicos e minerais. Consiste na mistura complexa das gorduras, das proteínas, dos amino-ácidos, dos açúcares, da celulose, de substâncias húmicas e de microorganismos bem como de seus produtos de biotransformação gerados na Estação de Tratamento de Esgotos (CZECHOWSKI, 2006).

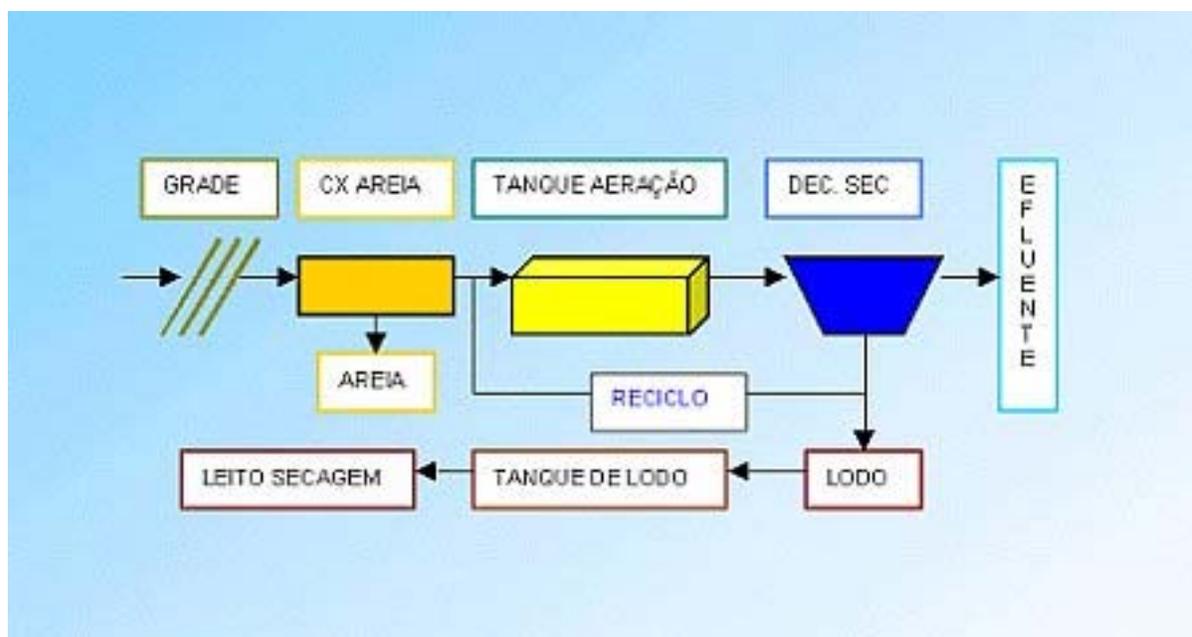


Figura 2.1. Fluxograma do processo de tratamento de efluentes por lodos ativados.

2.5. Comportamento Hidrodinâmico de Reatores Químicos

Os reatores reais nunca seguem completamente os padrões de escoamento ideal, embora se aproximem. O desvio de comportamento em relação ao ideal pode ser considerável ou desprezível e pode ser causado pela formação de canais, pelo reciclo de fluido ou pela criação de regiões estagnantes no recipiente ou reservatório.

O mínimo necessário a ser conhecido sobre um escoamento, que pode ser útil a um projeto, consiste em saber-se por quanto tempo as moléculas individuais permanecem no recipiente ou reservatório, isto é, qual a distribuição dos tempos de residência do fluido que está escoando. Esta informação pode ser obtida aplicando-se um método de investigação amplamente empregado conhecido por teste de estímulo e resposta (LEVENSPIEL, 1974).

Considerando um escoamento não-ideal, tubular, sem reação e sem variação de densidade de um único fluido, através de um reservatório, segue-se um tratamento matemático para se determinar a distribuição de idade de um fluido que deixa um reservatório E.

2.5.1. Determinação da Função de Distribuição do Tempo de Residência em um Reator

A utilização da distribuição do tempo de residência na análise de desempenho de reatores químicos foi proposta pioneiramente por MacMullin e Weber, sendo este assunto estruturado posteriormente por Danckwerts, o qual definiu a maioria das distribuições de interesse.

Considerando um recipiente qualquer, elementos de um fluido podem percorrer diferentes caminhos em um reator, podendo gastar tempos diferentes para passar através deste sistema. A distribuição desses tempos para a corrente do fluido que deixa o reservatório é chamada distribuição de idade de saída, **E**, ou a distribuição do tempo de residência (DTR) do fluido (LEVENSPIEL, 1974).

Representa-se a DTR de modo que a área sob a curva seja unitária, ou seja,

$$\int_0^{\infty} E dt = 1 \quad (\text{Eq. 2.1})$$

Este procedimento chama-se normalização da distribuição. A Figura 2.2 mostra a distribuição normalizada.

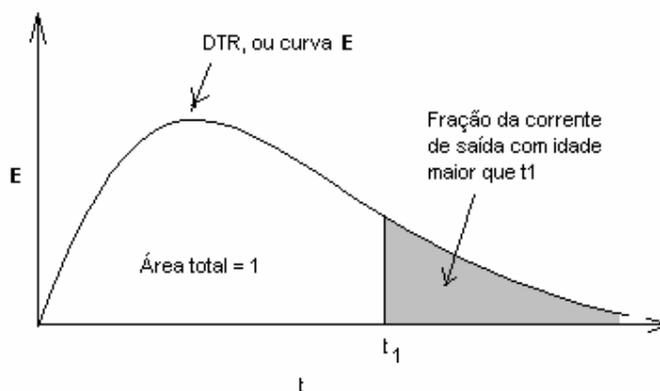


Figura 2.2. Distribuição do tempo de residência (DTR).

A fração da corrente de saída com idade entre t e $t+dt$ é $E dt$, a fração de idade inferior a t_1 é $\int_0^{t_1} E dt$, enquanto a fração de idade superior a t_1 , representada pela área tracejada na Figura 2.3 é:

$$\int_1^{\infty} \mathbf{E} dt = 1 - \int_0^1 \mathbf{E} dt \quad (\text{Eq. 2.2})$$

A curva \mathbf{E} é necessária, levando-se em conta um escoamento não-ideal.

Ao se planejar a caracterização do grau de não-idealidade de um escoamento através da função de distribuição da idade de saída, deve-se saber como avaliar \mathbf{E} para qualquer que seja o escoamento. Para isso, faz-se uso de técnicas experimentais classificadas como técnicas de estímulo e resposta. Nestas técnicas o sistema é perturbado para a verificação de como o mesmo responde ao estímulo. Após a análise da resposta obtém-se a informação desejada sobre o sistema (LEVENSPIEL, 1974).

a) **Obtenção Experimental da DTR**

A determinação experimental da DTR consiste na injeção de uma substância química inerte, ou seja, de um traçador, no reator no tempo $t=0$, medindo-se a concentração C deste traçador no efluente do reator em função do tempo.

O traçador deve ser uma espécie não reativa, de fácil detecção e com propriedades físicas semelhantes ao da mistura reagente, sendo completamente solúvel nela. Além disso, não deve também ser adsorvido nas paredes do reator ou em outras superfícies. Os tipos mais comuns de traçadores são os materiais coloridos e os radioativos, não deixando de lado os traçadores biológicos (MATOS, 2001)

Na busca pela especificação do tipo de traçador a ser utilizado, verifica-se que algumas substâncias são sugeridas, além do cloreto de sódio comercial, como fluorescina, rodamina WT, ácido benzóico, entre outros (DANTAS, 2002).

Qualquer material que possa ser detectado e que não perturbe o escoamento no recipiente pode ser empregado como traçador. Da mesma forma, qualquer tipo de sinal de entrada pode ser usado – casual, periódico, em degrau ou pulsante (Figura 2.3). Embora concedam a mesma informação, apenas as duas últimas entradas são consideradas devido à simplicidade de tratamento. Dessa forma, tem-se que os métodos de injeção mais usados são o de entrada do tipo degrau e entrada do tipo pulso (FOGLER, 2002).

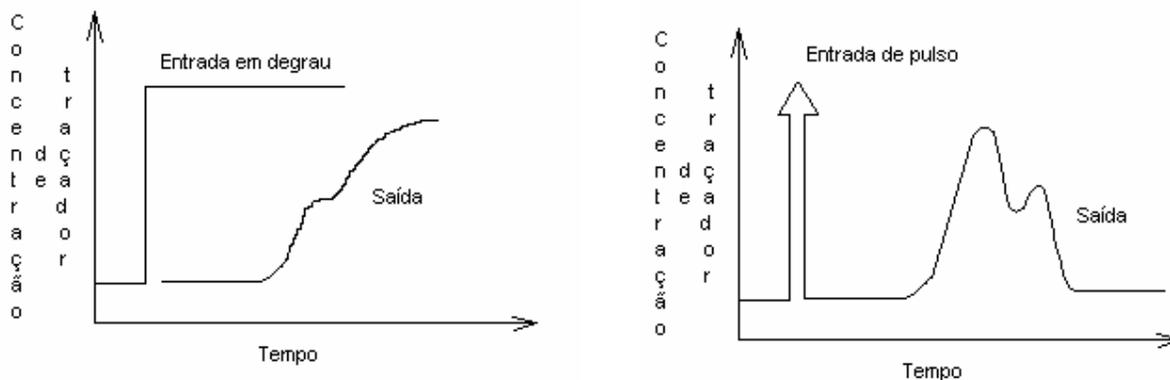


Figura 2.3. Técnicas estímulo-resposta usadas no estudo de escoamentos em reservatórios

Considerando um experimento com entrada tipo pulso, Figura 2.4, tem-se que a quantidade de traçador é repentinamente injetada e de uma única vez na corrente de alimentação do reator. A concentração na saída pode então ser medida em função do tempo. Quanto à entrada do tipo degrau, é necessária a constante adição de traçador à alimentação.

A entrada do tipo degrau, Figura 2.4, possui algumas desvantagens como, por exemplo, necessidade de se manter uma concentração constante de traçador na alimentação, tratamento de dados por diferenciação que pode conduzir a alguns erros, além de necessidade de quantidade razoável de traçador para a realização de testes (FOGLER, 2002).

Curva F → Fornecendo-se à entrada da corrente fluida um sinal de traçador em degrau, onde C_0 representa a concentração inicial do traçador, tem-se que o registro da concentração do traçador na corrente de saída do recipiente medida como C/C_0 em função do tempo pode ser chamada de curva F. Esta curva cresce sempre de 0 até 1.

Curva C → Fornecendo-se à entrada da corrente fluida um sinal ideal de traçador, chamada função delta ou impulso, tem-se a resposta normalizada, ou seja, a curva C.

A normalização pode ser obtida dividindo-se a concentração medida por Q , a área sob a curva concentração-tempo.

Logo, normalizando, tem-se:

$$\int_0^{\infty} C dt = \int_0^{\infty} \frac{C}{Q} dt = 1, \text{ onde } Q = \int_0^{\infty} C dt. \quad (\text{Eq. 2.3})$$

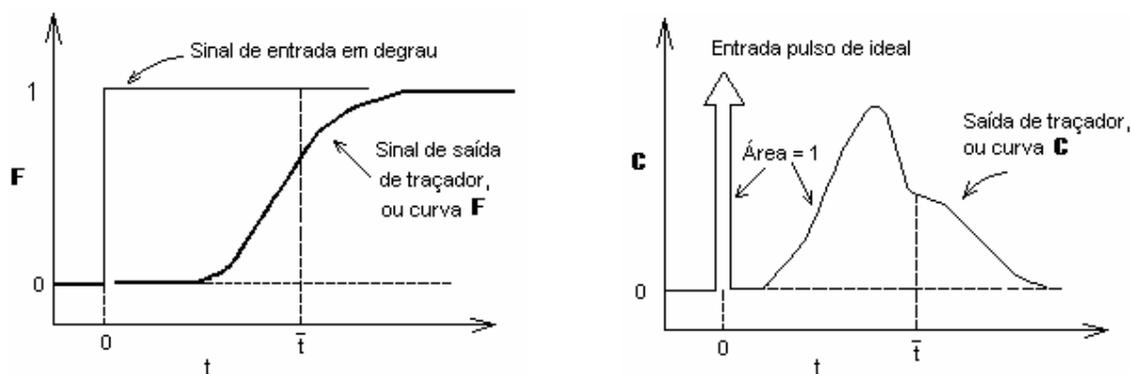


Figura 2.4. Sinais típicos chamados de curva F e de curva C, como resposta a um sinal de entrada em degrau e a um sinal de entrada pulsante.

Relacionando F e C com E para um recipiente fechado

Um recipiente fechado é aquele no qual o fluido entra ou sai apenas por escoamento tubular logo, com um perfil de velocidades plano, não se permitindo na entrada ou saída do reservatório, variação de velocidade, ocorrência de difusão ou turbilhões. Para relacionar **E** com **C** para o escoamento em regime permanente, é importante levar em conta que a DTR para qualquer quantidade de fluido que entra deve ser a mesma que, para qualquer quantidade de fluido que sai. Caso contrário, haveria acúmulo de materiais com várias idades dentro do reservatório, invalidando a suposição inicial de regime permanente.

Supondo-se que em um instante $t=0$, seja introduzido um impulso de fluido traçador vermelho na corrente de um fluido branco escoando, a curva **C** para o traçador irá registrar quando essas moléculas saem, ou seja, a distribuição de idades. Assim tem-se que sendo a curva **C**, a representação da DTR para aquela quantidade particular de fluido que entra, a mesma também pode ser a DTR para qualquer outra quantidade de fluido na

corrente de saída. Logo, $C=E$, o que significa que a curva C fornece diretamente a distribuição das idades na saída (LEVENSPIEL, 1974).

Na relação entre E com F , considere-se um fluido branco escoando em regime permanente. No instante $t=0$, o fluido é alterado para vermelho e registra-se a concentração ascendente de fluido vermelho na corrente de saída, isto é, traça-se a curva F . Para qualquer tempo $t>0$, somente o fluido vermelho na corrente de saída tem idade menor que t . De onde se conclui que:

(fração de fluido vermelho na corrente de saída) = (fração da corrente de saída com idade menor que t)

Esta expressão pode ainda ser representada como:

$$F = \int_0^t E dt \quad (\text{Eq 2.4})$$

ou ainda,

$$\frac{dF}{dt} = E \quad (\text{Eq 2.5})$$

Considerando-se o tempo médio do fluido no reservatório, devido ao escoamento ser em regime permanente de densidade constante, ou seja:

$$\bar{t} = \frac{V}{v} = \text{tempo de retenção} = \text{tempo médio de residência} = \text{tempo espacial} \quad (\text{Eq 2.6})$$

O tempo de residência é definido como a relação entre o volume do reator e a vazão volumétrica.

Em outras palavras, a média da curva E é dada por \bar{t} . Essas relações demonstram como a técnica de estímulo e resposta usando entrada em degrau ou impulso pode fornecer a DTR e a vazão média de fluido no reservatório, isto para recipientes fechados. Para recipientes abertos, quando as condições de contorno não são encontradas, a curva C pode diferir de maneira apreciável da curva E , e os tempos médios para essas curvas também não são iguais: $\bar{t} \neq \bar{t}_C = \bar{t}_E$.

Para um escoamento tubular e um escoamento em mistura, as formas dessas curvas são apresentadas na Figura 2.5.

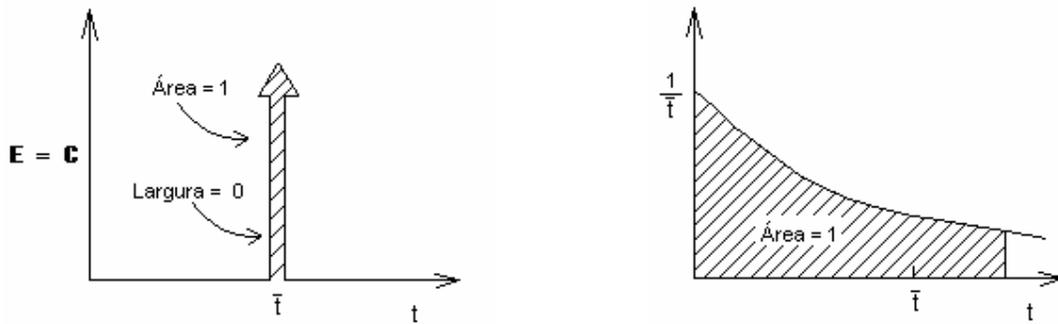


Figura 2.5. Propriedades das curvas para Escoamento Tubular e em Mistura.

Dois dados matemáticos amplamente usados quando se trabalha com traçador, tratam-se da média e da variância.

Como freqüentemente, deseja-se caracterizar uma distribuição através de alguns poucos valores numéricos, um método importante é a locação da distribuição, ou seja, o valor médio ou a centróide da distribuição. Dessa forma, para uma curva $C \times t$, a média é dada pela Equação 2.7.

$$\bar{t} = \frac{\int_0^{\infty} tCdt}{\int_0^{\infty} Cdt} \quad (\text{Eq. 2.7})$$

No caso da curva de distribuição for conhecida somente para um número discreto de valores do tempo t_i , então,

$$\bar{t} \cong \frac{\sum t_i C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} \quad (\text{Eq. 2.8})$$

A quantidade descritiva seguinte de grande importância é a dispersão da distribuição, a qual pode ser medida pela variância σ^2 , definida pela Equação 2.9., ou ainda, na forma discreta da Equação 2.10.

$$\sigma^2 \cong \frac{\int_0^{\infty} t^2 Cdt}{\int_0^{\infty} Cdt} - \bar{t}^2 \quad (\text{Eq. 2.9})$$

$$\sigma^2 \cong \frac{\sum (t_i - \bar{t})^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} = \frac{\sum t_i^2 C_i \Delta t_i}{\sum C_i \Delta t_i} - \bar{t}^2 \quad (\text{Eq. 2.10})$$

A variância representa o quadrado da amplitude da distribuição e tem unidades de (tempo)², sendo também útil para ajuste de uma curva experimental a uma curva teórica.

No caso de distribuições normalizadas para reservatórios fechados, as expressões simplificam-se e assim, a média para uma curva contínua ou para medidas discretas dentro de intervalos de tempo iguais transforma-se em (LEVENSPIEL, 1974):

$$\bar{t} = \int_0^{\infty} t E dt \cong \frac{\sum t_i E_i}{\sum E_i} = \sum t_i E_i \Delta t, \quad (\text{Eq. 2.11})$$

e a variância fica

$$\sigma^2 = \int_0^{\infty} (t - \bar{t})^2 E dt = \frac{\sum t_i^2 E_i}{\sum E_i} - \bar{t}^2 = \sum t_i^2 E_i \Delta t - \bar{t}^2. \quad (\text{Eq. 2.12})$$

A informação do traçador é usada diretamente ou em conjunto com modelos de escoamento para prever o desempenho de reatores de escoamento real. O método usado depende em grande parte de poder o reator ser ou não considerado um sistema linear. Um processo é linear se qualquer variação na grandeza do estímulo resultar em uma variação proporcional na grandeza da resposta. Simbolicamente (LEVENSPIEL, 1974),

$$\frac{\Delta (\text{resposta})}{\Delta (\text{estímulo})} = \frac{d(\text{resposta})}{d(\text{estímulo})} = k_1 = \text{constante},$$

integrando-se,

$$(\text{resposta}) = k_1 (\text{estímulo}) + k_2.$$

Levando em consideração que nem todos os reatores tanque são de mistura perfeita assim como nem todos os reatores tubulares apresentam escoamento uniforme, faz-se necessário desenvolver um mecanismo que inclua esse desvio do comportamento ideal. Para isso, existem diversos modelos que podem ser aplicados para caracterizar um escoamento não-ideal em recipientes.

Para modelar um padrão de escoamento faz-se necessário utilizar combinações ou modificações de reatores ideais.

No presente trabalho serão abordados dois dos principais tipos de modelos para reatores não-ideais.

b) Modelo de Dispersão

Os modelos podem ser classificados como de um parâmetro (modelo de dispersão e modelo de tanques em série), e de dois parâmetros (reator com desvio(bypass) e volume morto), onde a DTR é utilizada para avaliar os parâmetros do modelo.

Em relação ao modelo de dispersão, pode-se afirmar que este se baseia na analogia entre a mistura no escoamento e um processo de difusão. O parâmetro desse modelo é o coeficiente de dispersão, D_a (FOGLER, 2002).

Neste modelo existe uma dispersão axial do material governada pela lei de difusão de Fick. Assim, além do transporte convectivo, UA_cC , existe também o transporte ao longo das seções transversais do reator, a uma vazão de $[-D_uA_c(dC/dz)]$.

A dispersão axial pode ser descrita pela Equação 2.13.

$$\frac{\partial C}{\partial t} = D \frac{\partial^2 C}{\partial X^2} \quad (\text{Eq. 2.13})$$

Nesta expressão, D é o coeficiente longitudinal ou axial de dispersão e que caracteriza o grau de mistura durante o escoamento.

Na forma adimensional, onde $z = \frac{u}{L}$ e $\theta = \frac{t}{\bar{t}} = \frac{t - \bar{t}}{\bar{t}}$, tem-se a equação diferencial básica (Eq. 2.14).

$$\frac{\partial C}{\partial \theta} = \left(\frac{D}{uL} \right) \frac{\partial^2 C}{\partial z^2} - \frac{\partial C}{\partial z} \quad (\text{Eq.2.14})$$

O grupo adimensional (Du/L) representa o número de dispersão do recipiente e consiste no parâmetro que mede a extensão da dispersão axial. Quando tende a zero, a dispersão é desprezível, caracterizando um regime de escoamento tubular, quando tende a infinito, a dispersão é grande, portanto escoamento em mistura (LEVENSPIEL, 1974).

O modelo pode ainda ser ajustado conforme a intensidade da dispersão, ou seja, dependendo se é de pequena ou de grande intensidade.

No caso de dispersão de pequena intensidade, se for concedido um impulso a um fluido e D/uL for pequeno, então a curva do traçador não muda sua forma significativamente a medida que passa pelo ponto de medição. Logo, a curva C obtida apresenta-se simétrica e o número de dispersão axial pode ser estimado através da equação da variância (Eq. 2.15).

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2 \left(\frac{D}{uL} \right) \quad (\text{Eq. 2.15})$$

No caso de dispersões de grande intensidade e em recipientes abertos, a curva C pode ser obtida analiticamente, podendo o número de dispersão ser estimado através da Equação 2.16.

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\bar{t}^2} = 2 \left(\frac{D}{uL} \right) + 8 \left(\frac{D}{uL} \right)^2 \quad (\text{Eq. 2.16})$$

c) Modelo de Tanques em Série

O modelo de tanques em série é também bastante usado na representação de escoamentos não-ideais. Neste modelo considera-se um fluido escoando através de uma série de tanques de igual tamanho, e idealmente agitados (LEVENSPIEL, 1974).

Assim como para o modelo de dispersão, o parâmetro é o coeficiente de dispersão, D_a , para o modelo de tanques em série, o parâmetro consiste no número de tanques, N.

As curvas C ou E são de fácil obtenção, haja vista que condições de contorno, métodos de injeção e medidas não influenciam.

O cálculo do número de tanques em série pode ser feito a partir da variância adimensional (Eq. 2.17), a partir do teste do traçador (FOGLER, 2002).

$$\sigma_{\theta}^2 = \frac{\sigma^2}{\tau^2} = \int_0^{\infty} (\Theta - 1)^2 E(\Theta) d\Theta \quad (\text{Eq. 2.17})$$

Resolvendo a Equação 2.17, tem-se que o número de tanques em série é dado por:

$$N = \frac{1}{\sigma_0^2} = \frac{\tau^2}{\sigma^2} \quad (\text{Eq. 2.18})$$

Logo, esta expressão torna possível modelar o reator real como N tanques ideais em série.

2.6. Estudo cinético

O controle operacional de estações de tratamento de esgotos depende de informações rápidas e precisas. Em se tratando de processos secundários ou biológicos, como o processo de tratamento por lodos ativados, o acompanhamento biológico é também de fundamental importância. Este associado à necessidade de desenvolvimento de técnicas simplificadas cuja velocidade de resposta seja razoável exige a realização de investigações experimentais que venham a se adequar à realidade operacional de um sistema de tratamento de esgotos.

Um aspecto importante dentro do acompanhamento biológico trata-se da avaliação da atividade microbiana, ou seja, da capacidade em degradar o material orgânico presente nos esgotos.

A realização de um estudo cinético pode avaliar o comportamento dos microorganismos, pela velocidade de degradação, como também propor um modelo matemático que represente este processo.

No presente trabalho estão apresentadas duas metodologias no sistema de lodos ativados, realizado em escala de bancada, no qual procurou-se obter dados para a compreensão cinética do processo pelos microorganismos (bactérias) da ETE Caçote. Todavia, para a obtenção de dados cinéticos e interpretação dos mesmos faz-se necessário abordar sobre alguns aspectos relativos a velocidade de reação.

2.6.1. Velocidade de Reação

O conhecimento da cinética de degradação por microorganismos, semelhantemente a outros processos, envolve a aplicação de alguns princípios como, por exemplo, a compreensão do conceito de reação química e de velocidade de reação.

Uma reação química ocorre quando um número detectável de moléculas de uma ou mais espécies perdem sua identidade e assumem uma nova forma. Quando se consideram as espécies envolvidas em uma reação particular, fala-se da velocidade de desaparecimento ou consumo de massa de uma determinada espécie. A velocidade de consumo de uma espécie A é o número de moléculas de A que perde a sua identidade por unidade de tempo por unidade de volume durante o curso da reação (FOGLER, 1999).

Na realidade, a velocidade na qual uma reação química se realiza pode ser expressa de diversas formas, tanto como velocidade de consumo de reagentes ou como velocidade de formação de produtos.

A partir de dados experimentais para um reator de batelada de volume constante, por exemplo, a velocidade de reação pode ser determinada através da inclinação do gráfico da variação da concentração de um dos reagentes (C_A) em função do tempo.

Defini-se velocidade de reação (r_A) como sendo a velocidade de formação da espécie A por unidade de volume. No caso da equação de velocidade para r_A , esta é função das propriedades do reagente (quantidade intensiva), concentração, temperatura, pressão, etc. Porém, independe do tipo de sistema, se batelada ou fluxo contínuo.

A lei de velocidade para uma reação pode ser uma função linear da concentração, $-r_A = kC_A$, ou uma função algébrica, como por exemplo, $-r_A = kC_A^2$, onde, r_A é a velocidade de formação de A enquanto $-r_A$ é a velocidade de consumo de A.

Um dos objetivos do presente trabalho foi determinar a lei de velocidade do sistema em estudo. Logo, é válido salientar que no decorrer dos estudos cinéticos descritos a seguir, tomaram-se as seguintes considerações: sistema de batelada, de mistura completa (Complete Stirred Tank Reactor - CSTR) e em regime estacionário.

2.6.2. Método 1 - Estudo cinético através da determinação da Demanda Química de Oxigênio (DQO)

Com o objetivo de se determinar a cinética de degradação da carga poluente presente nos esgotos por parte da biomassa, aplicou-se uma metodologia de acompanhamento da Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e da Demanda Química de Oxigênio (DQO). Lembrando, contudo, que os resultados obtidos estariam relacionados a carga poluente global, ou seja, orgânica e inorgânica.

2.6.3. Método 2 - Estudo cinético através da determinação da Concentração de Biomassa

Um mecanismo factível para avaliação cinética da remoção de DBO é através do acompanhamento da concentração de biomassa do sistema. Isto porque o crescimento bacteriano se processa em decorrência da remoção de substrato. Quanto mais alimento for assimilado, maior a taxa de crescimento bacteriano.

Segundo Von Sperling deve haver uma relação linear entre a taxa de crescimento bacteriano e a taxa de utilização de substrato, ou de remoção de DBO, além da possibilidade de obtenção do coeficiente de produção celular (Y) através de testes em laboratório com o esgoto a ser tratado.

De forma que a relação pode ser representada segundo a expressão:

$$\text{Taxa de crescimento} = Y \cdot (\text{taxa de remoção de substrato})$$

Como o crescimento bacteriano é função da disponibilidade de substrato no meio, então se percebe que quando o substrato apresenta-se em baixa concentração, a taxa de crescimento é afetada e proporcionalmente reduzida.

Um outro caminho é avaliar a massa de células microbianas através da análise de sólidos.

A unidade de massa das células microbianas é normalmente expressa em termos de sólidos em suspensão, uma vez que a biomassa é constituída de sólidos que se encontram suspensos no reator (VON SPERLING, 2002). Entretanto, nem toda a massa de sólidos participa da conversão do substrato orgânico, havendo uma fração inorgânica que não desempenha funções em termos de tratamento biológico. Logo, a biomassa pode também ser expressa em termos de sólidos em suspensão voláteis.

Os sólidos em suspensão voláteis podem ainda ser divididos em uma fração ativa e uma fração inativa. Sendo a fração ativa, aquela que tem real participação na estabilização do substrato.

A principal limitação à utilização dos sólidos ativos em projetos e controle operacional de uma estação consiste na dificuldade de sua medição. Alguns processos indiretos como os baseados em DNA, proteínas entre outros, são existentes, porém eles não se comparam à simplicidade da determinação direta dos sólidos suspensos voláteis (VON SPERLING, 2002).

Seja o estudo cinético através da análise da remoção de DBO ou através da análise dos sólidos, é importante lembrar que a matéria carbonácea é, no tratamento de esgotos, o principal fator limitante do crescimento. Devendo-se tomar algumas precauções durante a realização de testes laboratoriais, a fim de evitar que o manejo incorreto dos fatores limitantes venha a interferir na obtenção de resultados coerentes.

2.6.4. Método 3 - Estudo cinético através da determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

Uma das metodologias aplicadas para avaliar a degradação do material orgânico por parte dos microrganismos é através da determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO). O teste da TCO caracteriza-se por sua simplicidade e por sua curta duração (VAN HAANDEL, 1982).

A TCO é determinada através da observação da taxa de diminuição da concentração de oxigênio dissolvido (OD) no licor misto de um reator biológico quando o fornecimento de ar àquele reator é interrompido. Entenda-se como licor misto, o conteúdo de um tanque de aeração de uma ETE, por exemplo, ou seja, a mistura do esgoto em tratamento com a biomassa (lodo ativado) (COSTA et al., 2001)

O teste permite que a concentração de oxigênio dissolvido seja determinada por um eletrodo, colocado dentro do reator.

Algumas vantagens do teste consistem na desnecessidade de coleta de amostras para a sua realização e na possibilidade de repetição do experimento em um espaço de tempo relativamente curto (ANDREOTTOLA et al., 2005).

Um aspecto importante para se obter um resultado relevante é a uniformidade da TCO em qualquer ponto do reator em estudo. Tendo em vista que os organismos responsáveis pelo consumo de oxigênio se concentram na fase sólida do licor misto. De

forma que está intimamente relacionada com a uniformidade da concentração de lodo. A uniformidade pode ser conseguida através da agitação mecânica que não permite a sedimentação do lodo no reator.

Em sistema de tratamento de esgoto com lodo em suspensão, a agitação é o resultado da aeração produzida por meio de equipamentos, porém em escala de laboratório, a agitação mecânica contínua é imprescindível haja vista que a aeração é interrompida durante o teste da TCO. Evitando-se, assim, o acúmulo de lodo no fundo do recipiente.

O procedimento para determinar a TCO envolve por tanto, um ambiente aeróbio, sem alimentação, de modo que a respiração endógena seja o único processo a se desenvolver. Neste ponto é válido salientar que a forma de metabolismo oxidativo da matéria orgânica pelos microrganismos (microrganismos heterótrofos) está ligada ao processo de respiração em desenvolvimento. Quando se trata de oxidação de material orgânico extracelular tem-se respiração exógena, no caso de oxidação de parte do próprio material celular tem-se respiração endógena (VAN HAANDEL & MARAIS, 1999).

Sendo o metabolismo, a transformação química do material orgânico em produtos finais estáveis e, portanto, conforme já mencionado, sendo a respiração endógena o único processo em desenvolvimento, é esperado que a taxa de consumo de oxigênio seja praticamente constante.

O teste da TCO consiste em adicionar uma concentração conhecida de substrato ao sistema, observando-se o consumo de oxigênio em função do tempo ao se interromper a aeração. Até o ponto em que todo o substrato tenha sido consumido e a TCO torne-se novamente constante.

2.6.5. Análise dos Dados Cinéticos

Assim como a obtenção dos dados de velocidade de uma reação, a análise dos mesmos também é importante para se obter a lei de velocidade. Os tipos de reatores mais comumente empregados para obtenção de dados cinéticos são os reatores de batelada, utilizado principalmente para reações homogêneas, e os diferenciais, utilizados para reações sólido-fluido (FOGLER, 2002).

Pode-se dizer em relação às técnicas de aquisição de dados que estas consistem em medidas de concentração em função do tempo, quando para reatores do tipo

batelada. Dentre os seis diferentes métodos para a análise de dados cinéticos, os métodos integral e diferencial são os principais na análise de dados provenientes desse reator.

Conforme mencionado anteriormente, os reatores de batelada são geralmente usados na determinação de parâmetros cinéticos de reações homogêneas. No presente trabalho, o sistema em estudo foi desenvolvido neste tipo de reator e o método integral foi aplicado para a análise dos dados e determinação dos parâmetros cinéticos como a ordem de reação, n , e a velocidade específica de reação, k .

Para se determinar a ordem de reação através do método integral, deve-se primeiramente supor uma determinada ordem e em seguida, integrar-se a equação diferencial usada para a modelagem de sistema em batelada. Se a ordem assumida estiver correta, o gráfico dos dados concentração versus tempo será linear (FOGLER, 2002).

Os primeiros modelos que descreveram a digestão aeróbia consideraram-na como sendo um processo cuja reação era de primeira ordem em relação à concentração de sólidos voláteis (HAANDEL, 1999).

Levando-se em conta a dificuldade em se medir diretamente o parâmetro de lodo ativo, pode-se então verificar indiretamente a cinética. Isto através da identificação dos parâmetros que variam enquanto a digestão aeróbica ocorre. Por exemplo, um lodo ativado em ambiente aeróbio apresenta redução da concentração de sólidos orgânicos, enquanto há o consumo de oxigênio, parâmetro perfeitamente mensurável.

Segundo van Haandel, são cinco os parâmetros mensuráveis: concentração de sólidos em suspensão, taxa de consumo de oxigênio, alcalinidade do licor misto, concentração de nitrato e DBO do lodo. Quanto ao modelo de digestão, o mesmo afirma que existem dois pontos fundamentais, que a taxa de decaimento de lodo ativo é proporcional à sua concentração e, o fato de que nem toda a massa de lodo ativo que decai é oxidada.

Dessa forma, considerando a reação como de 1ª ordem e determinando a variação da taxa de consumo de oxigênio, é possível plotar os dados experimentais e obter a reta que melhor se ajuste a esses dados.

Assim, para a aplicação do método integral é preciso encontrar uma função apropriada da concentração que corresponda a uma lei de velocidade. Como por exemplo, para uma reação do tipo:



O balanço molar fica:

$$\frac{dC_A}{dt} = r_A, \quad (\text{Eq. 2.19})$$

o qual quando combinado com a lei de velocidade de uma reação de primeira ordem, fornece a Equação 2.20:

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A \quad (\text{Eq. 2.20})$$

Sendo $C_A=C_{A0}$ quando $t=0$, então conclui-se que:

$$\ln \frac{C_{A0}}{C_A} = kt \quad (\text{Eq. 2.21})$$

Ao plotar $\ln[C_{A0}/C_A]$ versus tempo verifica-se que a inclinação k do gráfico consiste na constante de velocidade procurada.

O modelo de primeira ordem é usualmente utilizado para representar reações de degradação de poluentes por microorganismos, fazendo-se algumas suposições, como foram feitas para este trabalho:

- Concentração de lodo ativado homogênea e constante;
- Uma concentração elevada de oxigênio, na qual se manteve um residual de no mínimo 2 mgO₂/L;
- A transferência de massa de oxigênio é rápida, não sendo assim etapa limitante do processo;
- Caso a concentração de oxigênio fosse considerada, teríamos uma expressão do tipo:

$$-\frac{dC_A}{dt} = kC_A C_{O_2}$$

como a concentração não iria variar devido ao excesso ela seria englobada na constante k e recairíamos então na Equação 2.20.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

As análises físico-químicas necessárias à caracterização dos esgotos da ETE Caçote e da unidade piloto, bem como o estudo cinético foram realizados no Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade (LEAQ) e no Laboratório de Controle de Qualidade (LCQ) do Departamento de Engenharia Química da Universidade Federal de Pernambuco. Alguns experimentos relativos ao estudo cinético foram também realizados no Laboratório de Controle de Qualidade de Esgotos da COMPESA, situado no bairro da Cabanga, em Recife.

3.1. Reagentes e Equipamentos

Os reagentes empregados na execução das análises e os equipamentos utilizados foram os seguintes para cada etapa da pesquisa:

a) Na avaliação preliminar da ETE Caçote:

- Reagentes de grau analítico para o preparo de soluções;
- Balança analítica, marca AND, modelo HR-120;
- Estufa de secagem;
- Mufla, marca FANEM, modelo 413;
- Sistema de filtração por membrana;
- Potenciômetro, marca RADELKIS, modelo OP-265/1;
- Bloco digestor, marca MERCK, modelo TR 600;
- Estufa incubadora para DBO.

b) Na Determinação do Tempo de Residência (DTR) da unidade piloto:

- Solução de cloreto de sódio (NaCl – 3 molar);
- Cronômetro;
- Proveta de 50mL;
- Condutivímetro, marca Mettler, modelo 3320;
- Computador;

c) No estudo do processo de tratamento por lodos ativados em reator piloto:

- Reagentes de grau analítico para o preparo de soluções;
- Substrato com diluição 1:250;
- Balança analítica, marca AND, modelo HR-120;
- Estufa de secagem;
- Mufla, marca FANEM, modelo 413;
- Sistema de filtração por membrana;
- Potenciômetro, marca RADELKIS, modelo OP-265/1;
- Bloco digestor, marca MERCK, modelo TR 600;
- Estufa incubadora para DBO.

d) No estudo cinético:

- Método 1

- Reagentes de grau analítico para o preparo de soluções;
- Aeradores de aquário, marca RESUN, modelo AC 6600;
- Cronômetro;
- Bloco digestor, marca MERCK, modelo TR 600.

- Método 2

- Substrato concentrado;
- Bastão magnético;
- Agitador magnético, marca FANEM, modelo 258;
- Oxímetro;
- Cronômetro;
- Aeradores de aquário, marca RESUN, modelo AC 6600.

3.2. Materiais

3.2.1. Descrição do Sistema de Esgotamento Sanitário do Conjunto Habitacional Ignez Andreazza em Areias (ETE Caçote)

Assim como todo processo de tratamento, em geral selecionado em função do tamanho da população, área disponível para a estação, grau de poluição dos esgotos, etc, a elaboração do projeto do sistema de esgotamento sanitário do Conjunto Habitacional Ignez Andreazza também considerou aspectos físicos importantes.

O Conjunto Habitacional Ignez Andreazza limita-se a oeste pela Avenida Recife, em Areias, ao norte pela Avenida Tapajós e ao sul, pelo Hospital do INAMPS. Além disso, a área ocupada pelo conjunto atinge aproximadamente 30 Ha, cujo solo possui características arenosas.

Em meados de 1982, o projeto de esgotamento sanitário apresentado pela Construtora E.F. de Carvalho Ltda, visava atender uma população de 12.320 habitantes, distribuída em 2.464 unidades habitacionais, admitindo-se uma ocupação de 05 habitantes por unidade (COMPESA, 1982).

Na concepção do sistema projetou-se uma rede coletora para conduzir os esgotos até uma estação elevatória, de onde eles seriam encaminhados à unidade de tratamento de efluentes (Figura 3.1).

O efluente já depurado seria então conduzido ao estuário do rio Tejipió, em ponto próximo ao núcleo. Este corpo receptor nasce no município de São Lourenço da Mata e possui uma extensão de aproximadamente 20,5 Km. Seus principais afluentes são o Rio Jiquiá, o Riacho Jangadinha, o Rio Jordão e o Canal de Setúbal. Como fontes poluidoras de suas águas estão: o Distrito Industrial do Curado, seguindo-se de grande parte da concentração urbana distribuída por essa bacia, contendo extensa área não possuindo sistema de esgotos (CPRH, 1998).

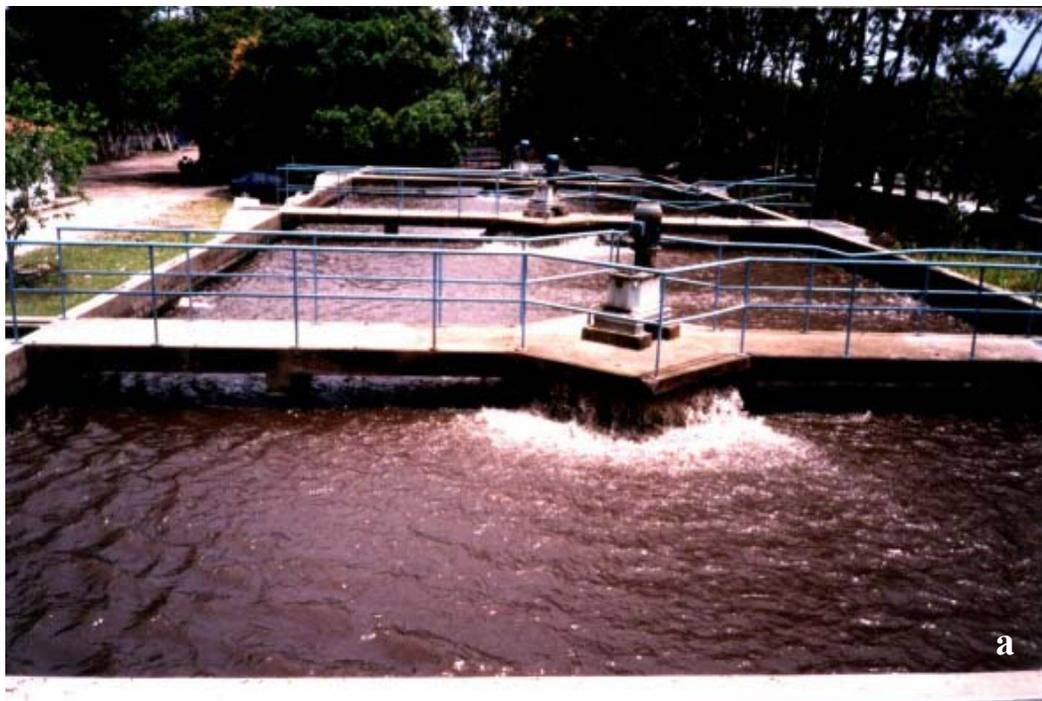


Figura 3.1. tanque de aeração (a) e decantador secundário (b) da ETE Caçote no ano de 2003 (Recife - PE).

No projeto de abastecimento de água, adotou-se uma quota per capita de 250 L/hab.dia, onde do volume distribuído, 80% seriam esgotados pela rede coletora. Para o

cálculo da rede foi adotada também a taxa de infiltração de 1,0 L/s.Km (COMPESA, 1982).

Da mesma forma que a maioria dos Sistemas de Esgotamento Sanitário (SES) em funcionamento no Brasil, o Conjunto Habitacional Ignez Andreazza, em Areias, é constituído principalmente das seguintes unidades de transporte, disposição e tratamento dos esgotos: rede coletora, estação elevatória de esgotos e estação de tratamento.

A estação elevatória constitui-se em uma estação de recalque concebida para bombear os esgotos de uma cota inferior para pontos mais elevados. Fez-se necessário implantá-la em um local do bairro situado em cota mais baixa, com a finalidade de conduzir os esgotos por gravidade até a mesma, para que em fim sejam bombeados para a Estação de Tratamento.

Quanto à estação de tratamento, têm-se as seguintes unidades:

Caixa de Areia: todos os esgotos recalcados chegam a uma caixa de areia, que devido ao porte da ETE, foi projetada para limpeza manual.

Calha Parshall: a construção do medidor Parshall foi realizada com o objetivo de medir vazões, sendo sua capacidade de até 60 L/s.

Tanque de Aeração: parte de maior importância no processo de tratamento. A forma escolhida foi a retangular por razões econômicas e de praticidade.

Decantador Secundário (Clarificador): projetou-se um clarificador circular, com removedor contínuo de lodo, modelo de tração periférico. Este recebe o efluente do tanque de aeração já estabilizado, contendo ainda elevado teor de sólidos suspensos. O lodo obtido segue para a elevatória de recirculação de lodo.

Elevatória de Lodo: tem por característica principal recircular o lodo proveniente do clarificador à entrada do tanque de aeração, onde os mesmos se misturam com o esgoto bruto. Foi prevista a construção de uma elevatória equipada com 03 (três) bombas centrífugas de eixo horizontal, das quais, 02 (duas) teriam uso permanente enquanto a terceira funcionaria como reserva. A maior parte do lodo bombeado seguiria para a caixa de distribuição, onde se misturaria com o esgoto bruto, ao passo que o restante seria conduzido ao leito de secagem de lodos

Leito de Secagem: o lodo já estabilizado por digestão aeróbia, seria encaminhado ao leito para secagem, e posterior retirada para outros fins.

3.2.2. Unidade piloto

A unidade piloto construída consistiu de um reator canal e de um decantador. O reator canal e o decantador foram construídos em acrílico e PVC, respectivamente, e seus croquis com dimensões encontram-se expressos nas Figuras 3.2 e 3.3.

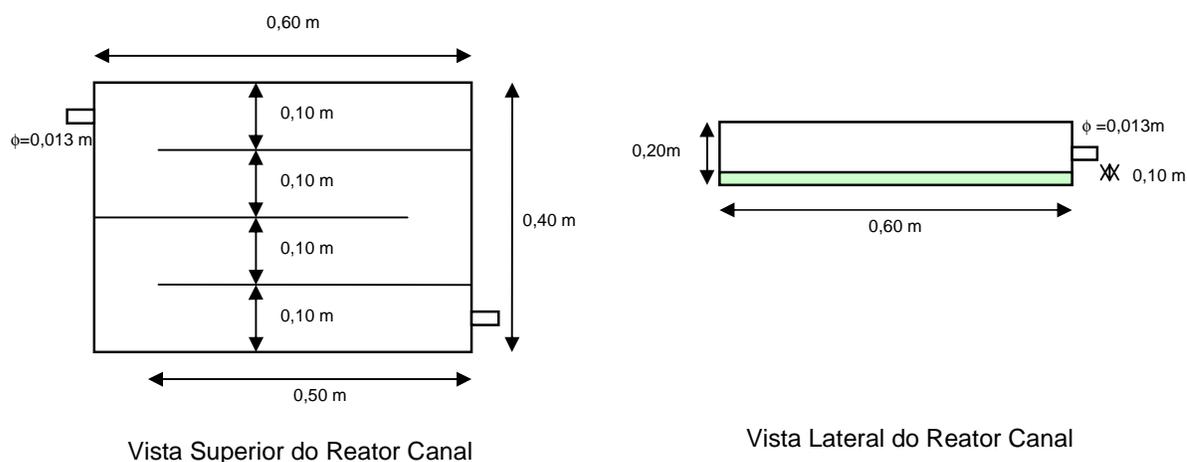


Figura 3.2. Projeto do reator canal da unidade piloto.

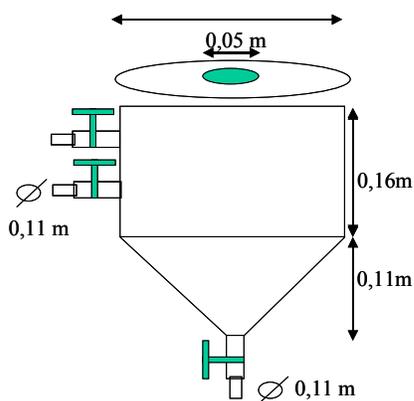


Figura 3.3. Projeto do decantador da unidade piloto.

O reator mencionado era aberto do tipo canal, construído em acrílico nas seguintes dimensões: 0,60 m de comprimento, 0,40 m de largura e 0,20 m de altura, perfazendo um volume total de $0,048 \text{ m}^3$ (Figura 3.4). Para a alimentação contínua do sistema utilizou-se uma bomba peristáltica, marca MASTERFLEX L/S, modelo 7519-20. Os reservatórios de alimentação e de descarga eram de plástico com capacidade para $0,060 \text{ m}^3$ e na

montagem do sistema foram empregados também conexões, válvulas e mangueiras. O fornecimento de ar através de compressor na Determinação do Tempo de Residência e em parte do estudo do processo de tratamento por lodos ativados em reator piloto. Este compressor possuía as seguintes características: marca SCHULZ, modelo Mundial, vazão de ar de $2,6 \text{ pés} \cdot \text{min}^{-1}$, balão com capacidade de 50L, motor com potência de 0,5HP.

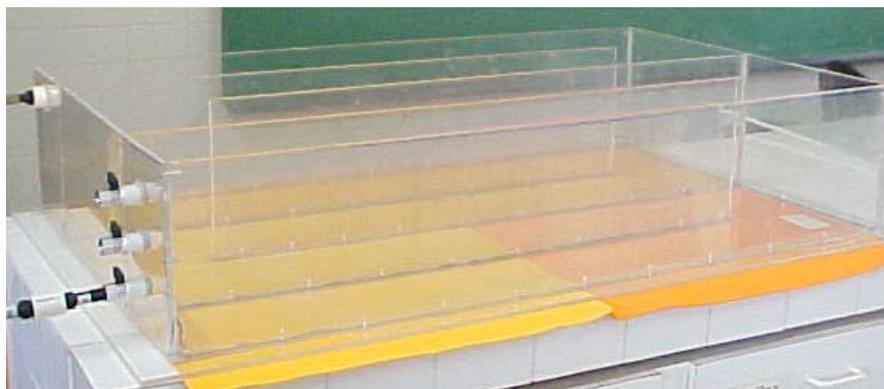


Figura 3.4. Reator canal da unidade piloto.

3.2.3. Estudo Cinético

a) Método 1 - Estudo cinético através da determinação da concentração de matéria orgânica

A primeira metodologia aplicada visando estudar a cinética de degradação fez uso do seguinte material (Figura 3.5 (a)):

- Lodo coletado na ETE Caçote;
- Béquer de 4L.

b) Método 2 - Estudo cinético através da determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

Na utilização do método da TCO, empregou-se o material (Figura 3.5 (b)):

- Lodo coletado na ETE Caçote;
- Béquer de 600 mL.

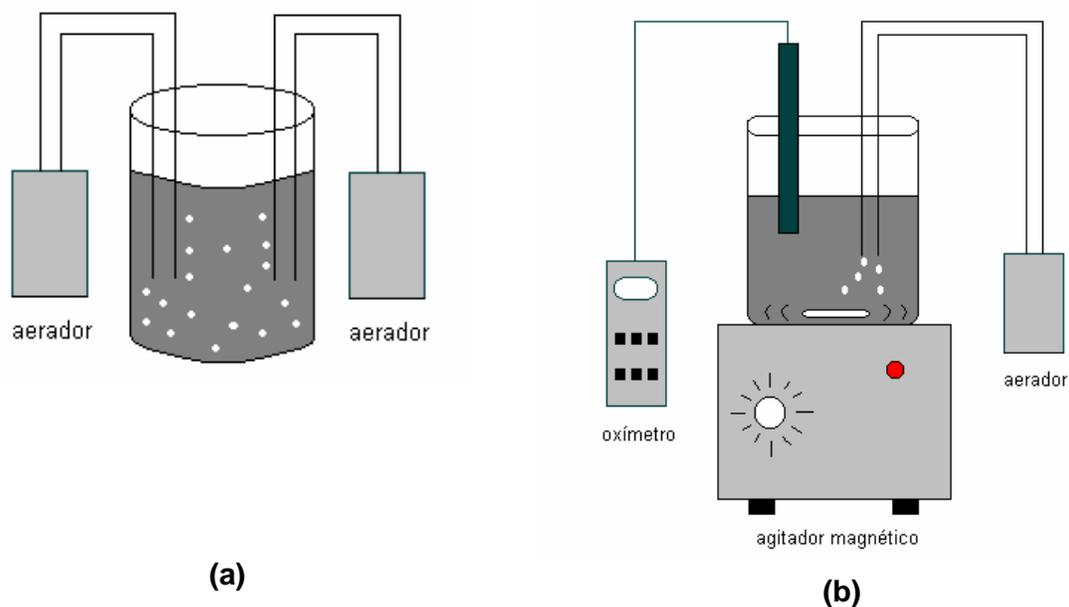


Figura 3.5. Representação esquemática do material utilizado no método 1(a) e no método 2 (b), respectivamente.

3.3. Procedimento Experimental

3.3.1. Avaliação preliminar da ETE Caçote – amostragem e análises

As amostras foram coletadas semanalmente no período de dois meses, junho e julho de 2003, obedecendo às recomendações do *Standard Methods for Water and Wastewater Examination* para cada tipo de parâmetro físico-químico. A localização dos pontos de coleta, Figura 3.6, foi a seguinte:

- Na entrada dos esgotos a ETE, ou seja, na parte final da caixa de areia (P1);
- Na caixa de saída dos esgotos do tanque de aeração, isto é, na terceira e última caixa de reunião (P2);
- Na saída do decantador secundário (P3).

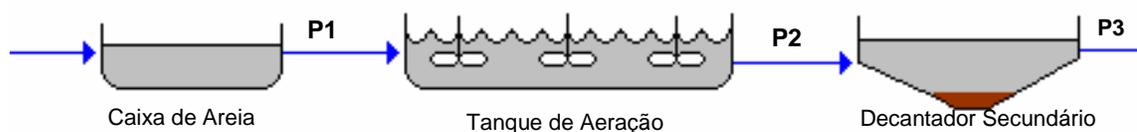


Figura 3.6. Esquema dos Pontos de Amostragem, onde P1 – esgoto bruto, P2 – esgoto “aerado”, P3 – esgoto tratado.

Os parâmetros físico-químicos do monitoramento foram:

- Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO_5) – (total, método winkler);
- Demanda Química de Oxigênio (DQO) – (total e filtrada, microdigestão);
- Sólidos Suspensos Totais (SST) e Sólidos Suspensos Voláteis (SSV);
- Sólidos Decantáveis ou Sedimentáveis (SD);
- Temperatura;
- pH;
- Velocidade de decantação.

Estas determinações foram realizadas utilizando-se procedimentos descritos no “*Standard Methods for Water and Wastewater Examination*”.

3.3.2. Determinação do Tempo de Residência da Unidade Piloto

Para o estudo hidrodinâmico da unidade piloto de bancada, o reator foi alimentado com água e como traçador foi utilizada uma solução de sal de cozinha. Na saída do reator foi fixada uma sonda de condutividade que esteve associada, por meio de uma placa de aquisição de dados, a um computador.

O reator em acrílico possuiu um volume útil de 21L e foi alimentado continuamente com água destilada por uma bomba peristáltica, cuja aeração se deu por difusores de ar para aquários ligados a um compressor. Mediu-se a condutividade na saída do reator, através de um condutímetro associado a um computador. A vazão de alimentação foi $2L \cdot h^{-1}$ e o volume injetado de traçador foi 20mL na forma de pulso. Repetiu-se o experimento por três vezes, mantendo-se as condições.

Na superfície do tanque de aeração ficaram dispostos aeradores de aquário, a fim de fornecer o oxigênio.

Na Figura 3.7, pode-se verificar o sistema montado para esta obtenção do tempo residência.

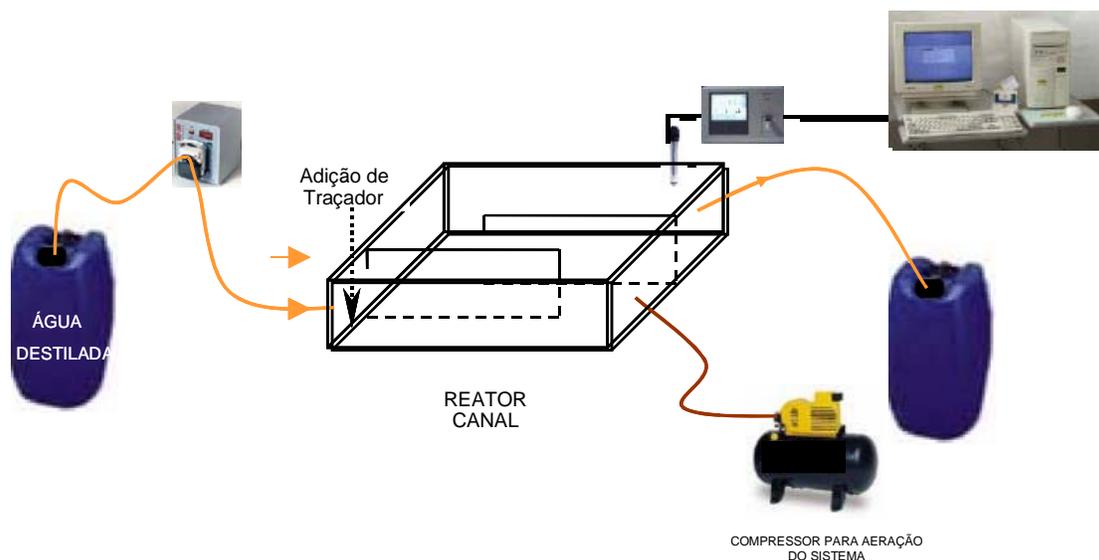


Figura 3.7. Sistema empregado na determinação do tempo de residência do reator piloto.

3.3.3. Estudo do Processo de Tratamento por Lodos Ativados em Reator Piloto

Após a avaliação da ETE Caçote e da determinação do tempo de residência da unidade piloto foram realizados experimentos nesta unidade para avaliação da eficiência de remoção da carga orgânica dos esgotos através do processo de tratamento por lodos ativados (Figura 3.8).

O tanque de aeração da unidade piloto foi alimentado por esgotos e por lodo coletados na ETE Caçote. Sendo o primeiro, o efluente ao tanque de aeração da ETE Caçote, enquanto o segundo, o lodo proveniente da Estação Elevatória de Lodo.

Em seguida, a unidade piloto ficou sendo continuamente alimentada com um substrato. Esse substrato ou efluente sintético foi preparado dissolvendo-se 240 g de caldo de carne, 50 g de sacarose, 28 g de cloreto de amônio e 4 mL de ácido fosfórico em 1L de água destilada (DA MOTTA, 2001). A diluição desse substrato concentrado na proporção de 1:250, assegurou a alimentação durante 24 horas, além manter uma DQO média de $400 \text{ mg O}_2 \cdot \text{L}^{-1}$, valor médio encontrado para o esgoto bruto.

A aeração foi realizada nas três etapas por difusores de ar para aquários ligados a um compressor.

A alimentação com substrato e o reciclo do lodo ativado foram assegurados por bomba peristáltica para a vazão de 2 L.h^{-1} .



Figura 3.8. Estudo do processo de lodos ativados em unidade piloto.

Repetiu-se o experimento por três vezes, mantendo-se as condições iniciais.

Foram coletadas amostras diariamente do substrato (P1), do interior do reator piloto (P2) e da saída do decantador (P3). As análises realizadas foram distribuídas segundo a forma expressa na Tabela 3.1.

Tabela 3.1. Parâmetros e frequência aplicados no monitoramento do reator piloto.

Parâmetro	Frequência	P1	P2	P3
Condutividade	3 vezes por semana	Sim	Não	Sim
pH	3 vezes por semana	Sim	Não	Sim
STD	3 vezes por semana	Não	Sim	Não
SST	1 vez por semana	Sim	Não	Sim
SSV	1 vez por semana	Sim	Não	Sim
DQO	1 vez por semana	Sim	Não	Sim
DBO	1 vez por semana	Sim	Não	Sim

3.3.4. Estudo Cinético

Conforme mencionado, a avaliação da cinética do lodo pertencente à Estação de Tratamento seguiu duas metodologias diferentes. A primeira consistiu de um sistema aerado de bancada, onde se avaliou a degradação da matéria orgânica e inorgânica através do acompanhamento da DQO, enquanto a outra, através do princípio da respirometria.

a) Método 1 – Estudo Cinético Através da Determinação da Demanda Química de Oxigênio

O primeiro método foi realizado tomando-se um béquer de 4L onde se diluiu 730 mL de lodo, sendo este lodo coletado na Estação Elevatória de Lodo e a diluição empregando-se o substrato sintético. A aeração foi através de difusores porosos para aquário, em um número de 4, distribuídos equivalentemente no interior do béquer. O período de aeração foi inicialmente de 24 horas passando posteriormente para 48 horas. Foram realizados seis experimentos com diferentes procedimentos de coleta de amostras para a análise de DQO. Os diferentes procedimentos adotados obedeceram ao critério de se efetuar a coleta de 'esgoto' sem remoção de biomassa. Os volumes de coleta foram nos primeiros testes de aproximadamente 100 mL enquanto nos últimos de 30 mL.

No primeiro e segundo teste, efetuou-se a coleta de amostra no béquer de 4L, através de um outro béquer de 100mL, com o objetivo de se proceder à análise de DQO. No terceiro, realizou-se a coleta do mesmo modo sendo, entretanto, nesta etapa, efetuada a filtração para a determinação da DQO filtrada.

Nos três últimos testes, foram realizadas coletas através de uma seringa de 60 mL.

As três primeiras coletas obedeceram a seguinte seqüência de tempo a partir do início dos experimentos: 0; 0,5; 1; 2; 6; 12 e 24 h, enquanto as últimas foram acrescentadas de coletas com: 26, 30, 32 e 48 h.

b) Método 2 – Estudo cinético através da determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

A execução dos testes para determinar a taxa de consumo de oxigênio (TCO) em bancada obedeceu ao seguinte procedimento (Figura 3.9): adicionou-se a um béquer, 500 mL de lodo coletado diretamente da saída da tubulação de recirculação de lodo para o

tanque de aeração da ETE Caçote; proporcionou-se a homogeneização contínua do sistema, acrescentando um bastão magnético ao béquer e acionando o agitador magnético; colocou-se o eletrodo do oxímetro em contato com o lodo.



(a)



(b)

Figura 3.9. (a) Sistema para determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) e (b) Aeração do sistema.

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

Os resultados obtidos neste trabalho serão apresentados da seguinte forma: inicialmente será mostrada uma avaliação da ETE Caçote, que motivou a pesquisa, seguida dos estudos hidrodinâmico e de eficiência na unidade piloto, da avaliação após as modificações na ETE, sugeridas por este trabalho e finalmente, uma avaliação da cinética de degradação.

4.1. Avaliação Preliminar da ETE Caçote

Para a avaliação da ETE Caçote foram analisados inicialmente dados históricos (Figuras 4.1 a 4.3), fornecidos pela Gerência Metropolitana de Esgotos (GME) da COMPESA. Observou-se que em alguns curtos períodos a ETE apresentou rendimentos razoáveis, que chegaram acima de 80% de remoção para DBO e para DQO. Pode-se observar pela Figura 4.1 que os valores da DBO do esgoto tratado situam-se, em sua maioria, entre 50 e 250 mg O₂/L. Verificou-se ainda que o decantador estava com problemas a mais de 5 anos, tendo em vista valores de sólidos decantáveis, ou sedimentáveis, na saída superior ao da entrada.

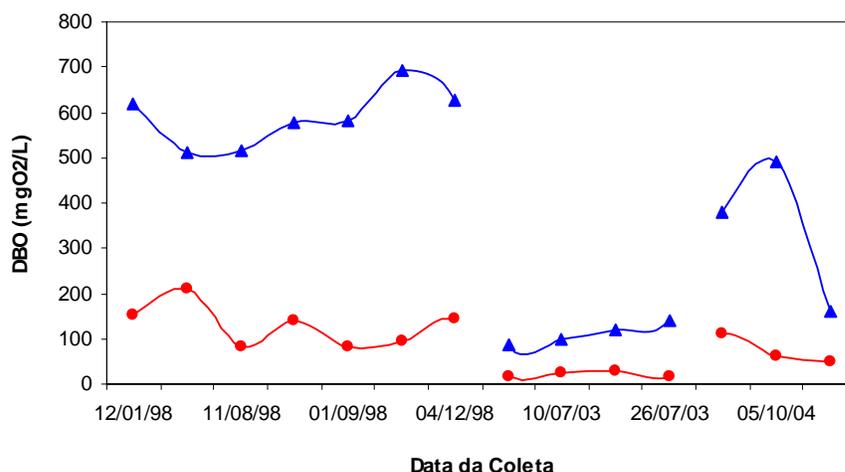


Figura 4.1. Variação da concentração de Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO₅) do esgoto bruto (▲) e tratado (●) da ETE Caçote (fonte: GME - COMPESA)

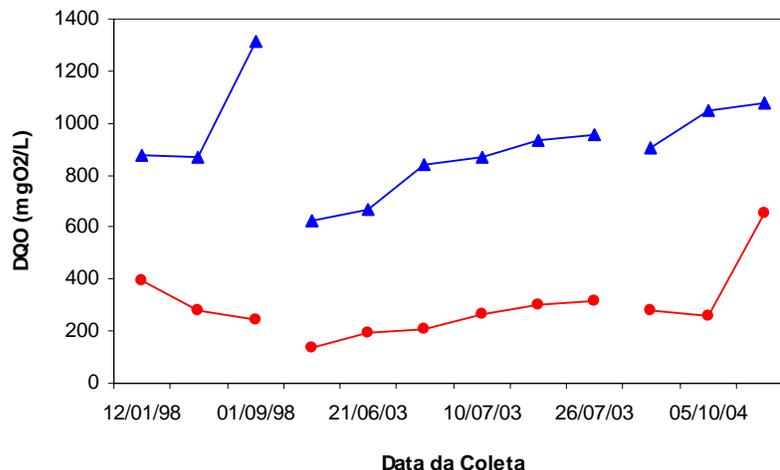


Figura 4.2. Variação da concentração de Demanda Química de Oxigênio (DQO) do esgoto bruto (▲) e tratado (●) da ETE Caçote (fonte : GME - COMPESA).

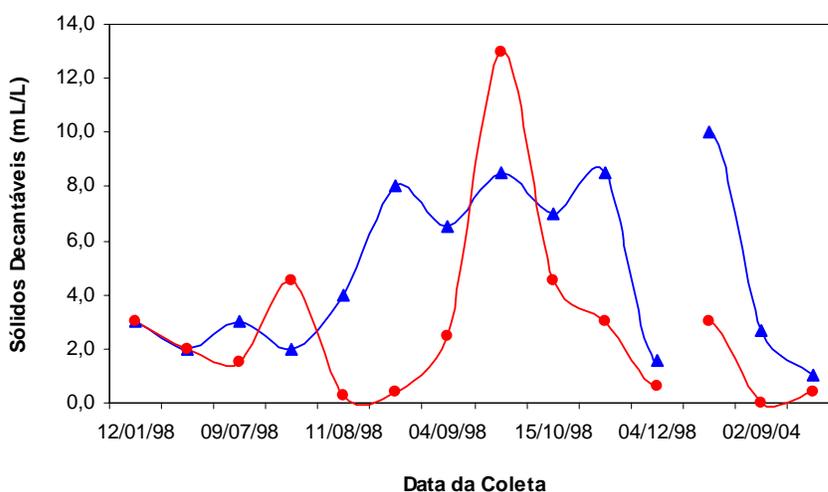


Figura 4.3. Variação da concentração de Sólidos Decantáveis (SD) do esgoto bruto (▲) e tratado (●) da ETE Caçote (fonte : GME - COMPESA).

Em seguida foram feitas novas análises no Laboratório de Engenharia Ambiental e da Qualidade do Departamento de Engenharia Química da UFPE. Foi constatada uma redução da ordem de 15% para a concentração de sólidos totais dissolvidos, para amostras coletadas na entrada e na saída da estação, Figura 4.4.

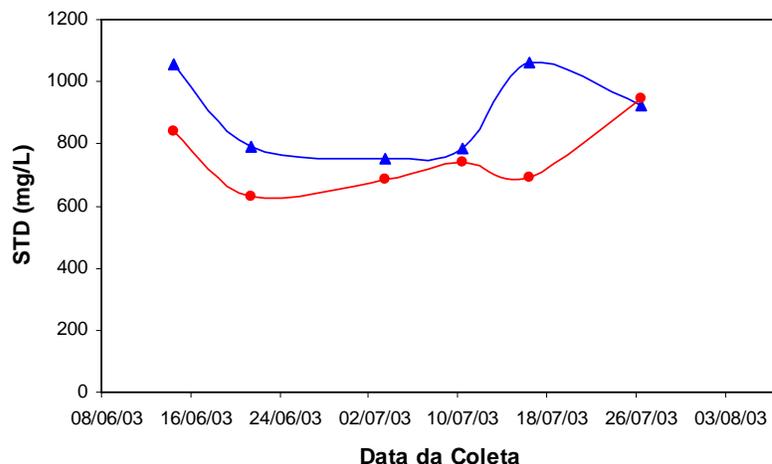


Figura 4.4. Variação da concentração de Sólidos Totais Dissolvidos (STD) na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.

Em relação aos sólidos dissolvidos ionizados, medidos pela condutividade, verificaram-se valores entre 800 e 1200 microSimiens (μS) por centímetro na entrada e entre 600 e 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ na saída, assim como uma redução um pouco acima de 15%, Figura 4.5. Graficamente, não se observa diferença entre os valores de sólidos totais dissolvidos e os da condutividade, ou seja, ao comparar os dados tem-se que os sólidos dissolvidos encontram-se quase em sua totalidade ionizados.

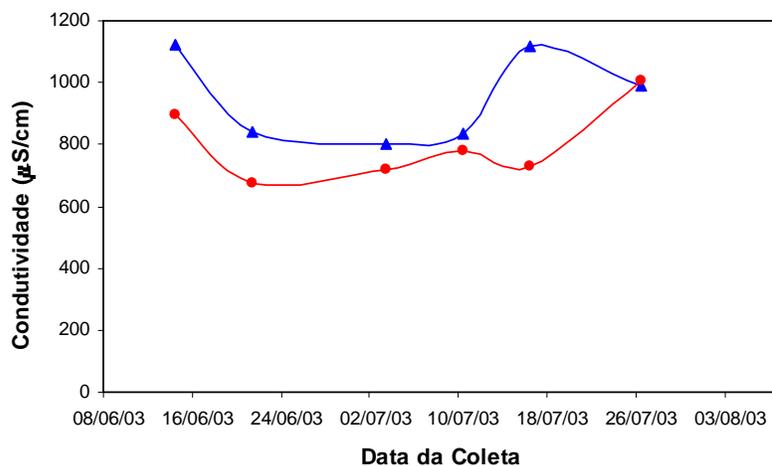


Figura 4.5. Variação da Condutividade do esgoto na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.

No que diz respeito à poluição, a Demanda Química de Oxigênio (DQO) apresentou um aumento durante o período observado, como pode ser visto na Figura 4.6. Surpreendentemente houve uma redução de cerca de 80% para DQO, contudo deve-se ter em conta que esta é uma aproximação, pois a coleta da saída só deveria ser realizada respeitando-se o tempo de retenção hidráulico da estação. Este fato pode ser evidenciado na análise da Demanda Química de Oxigênio filtrada (DQO filtrada) (Figura 4.7), para o período a partir do mês de julho quando a DQO filtrada na saída é superior à da entrada. Outro fato importante ao se analisar tal figura é a redução muito baixa ou quase nula da DQO filtrada. Pode-se assim concluir que a redução acima de 80% na DQO verificada acima é essencialmente particulada e de fácil sedimentação/separação.

A remoção da poluição dissolvida em estações de tratamento de efluentes (ETEs) é feita através de decomposição por processos físico-químicos ou biológicos e por coagulação/aglomeração em flocos. No caso da ETE em estudo, o processo é biológico e a baixa eficiência na remoção da poluição dissolvida indica problemas de baixa densidade da população microbiana ou ainda, baixa eficiência da mesma.

Como será visto mais adiante, existe uma baixa concentração de biomassa no tanque. A principal causa deste é a ausência de recirculação de lodo, que provoca acúmulo de biomassa no decantador, e conseqüentes reações anaeróbias, assim como a perda de biomassa com o efluente tratado.

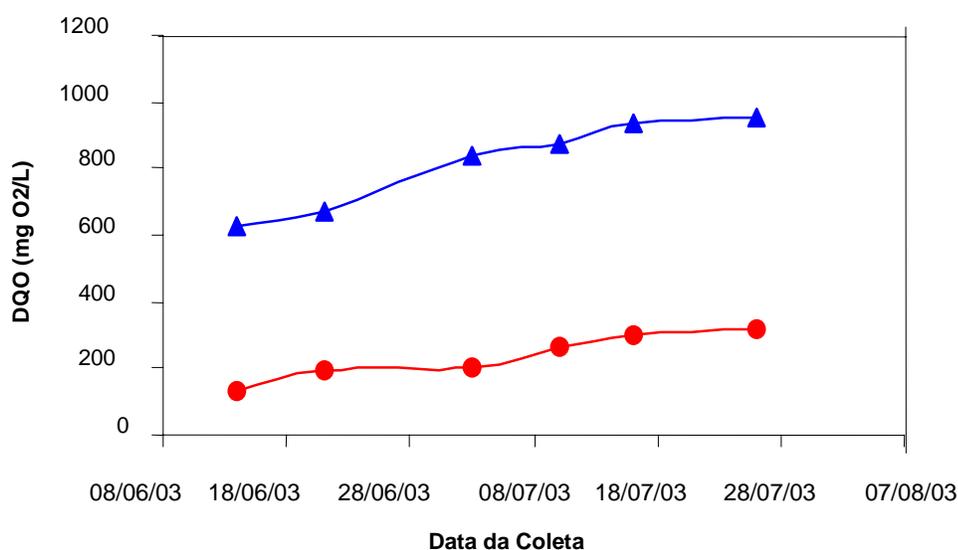


Figura 4.6. Variação da Demanda Química de Oxigênio (DQO) na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.

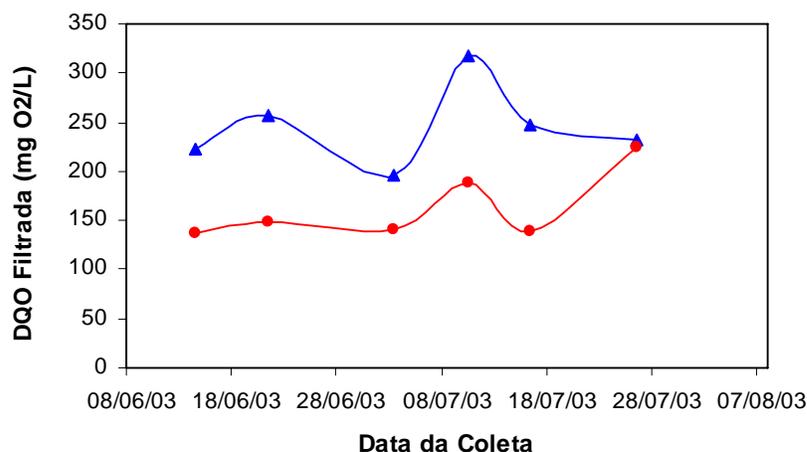


Figura 4.7. Variação da Demanda Química de Oxigênio filtrada (DQO filtrada) na entrada (▲) e na saída (●) da ETE Caçote em 2003.

A poluição biodegradável (DBO_5), apresentou valores em torno de 80 mg O_2/L na entrada e de 15 mg O_2/L na saída da ETE. A relação DBO/DQO na entrada era de 12% e na saída de 4%. Estes resultados mostram que mesmo operando precariamente, em termos de poluição “carbonácea” a ETE vinha operando razoavelmente bem.

Através da Figura 4.8 pode-se constatar uma baixa concentração de lodos (biomassa). Uma concentração ideal estaria em torno de 2000 a 3000 mg/L para uma ETE urbana, todavia foram encontrados valores abaixo de 500 mg/L.

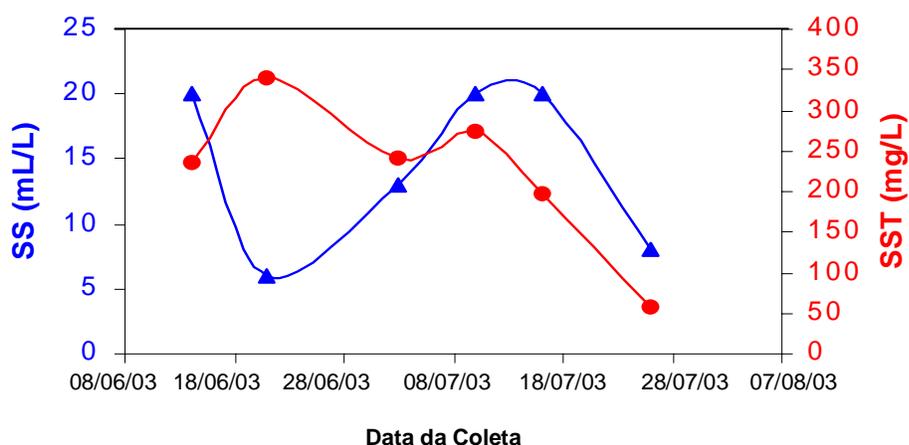


Figura 4.8. Variação do teor de sólidos sedimentáveis (SS) (▲) e de sólidos suspensos totais (SST) (●) no tanque de aerção da ETE Caçote em 2003.

Pela Figura 4.9 é possível se constatar a mineralização do lodo, uma vez que o teor de sólidos suspensos voláteis está fortemente correlacionado com a fração orgânica.

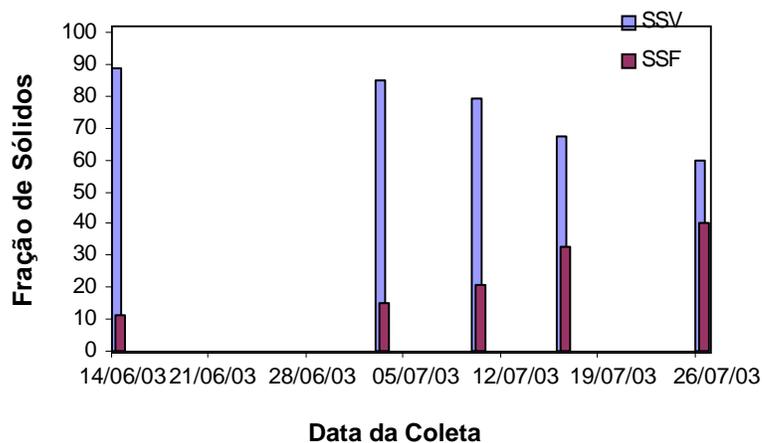


Figura 4.9. Variação das frações de sólidos suspensos voláteis (SSV) e fixos (SSF) da ETE Caçote em 2003.

O pH das amostras dos três pontos situou-se entre 6,0 e 7,2, mostrando o caráter neutro do efluente durante todo o processo. A salinidade, medida pelo condutivímetro, apresentou valores abaixo de 3,0.

Em virtude da baixa concentração de biomassa no tanque aerado, verificou-se juntamente com técnicos da COMPESA a possibilidade de ser introduzida a recirculação do lodo, além de uma reforma no decantador secundário, cujos resultados se encontram no item 4.5.

4.2. Modelagem Hidrodinâmica do Reator Piloto

Uma vez que a informação do traçador pode ser usada diretamente ou em conjunto com modelos de escoamento para prever o desempenho de reatores de escoamento real. O método usado depende em grande parte de poder o reator ser ou não considerado um sistema linear. Um processo é linear se qualquer variação na grandeza do estímulo, resultar em uma variação proporcional na grandeza da resposta.

Na Figura 4.10 vemos a variação da função de distribuição de tempo de residência com o tempo obtida para as duas repetições do experimento.

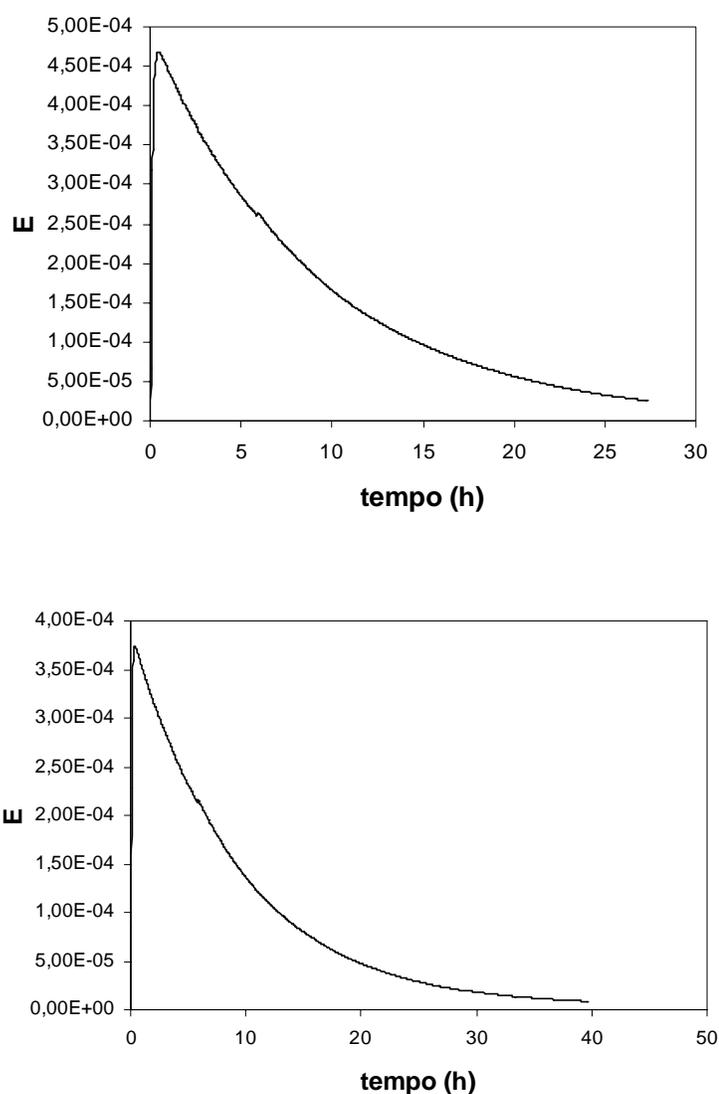


Figura 4.10. Curvas E do reator canal estudado.

Avaliando-se os resultados obtidos, os quais foram: tempo de residência médio (t_m) de 8,15h, variância (σ^2) de $50,35h^2$ para um tempo de retenção hidráulico teórico (TRH) de 10,5h.

Apenas com esses valores não podemos classificar o tipo de escoamento do reator, é necessário aplicar esses parâmetros em modelos de escoamento para reatores químicos já conhecidos.

Sendo assim, com os valores dos parâmetros acima podemos aplicar no modelo de tanques em série e determinar o número de tanques ideais em série necessários para modelar o reator real de acordo com a Equação 2.17. Assim, encontra-se que para o sistema sem aeração o número de tanques ideais foi igual a 2. De acordo com esse modelo, quanto maior o valor de n , isto é, o número de tanques ideais, mais próximo o escoamento se aproxima do escoamento pistão (FOGLER, 2002), o que nos leva a concluir que o escoamento desenvolvido no reator se aproxima do escoamento do tipo mistura.

4.3. Estudo do Processo de Tratamento por Lodos Ativados em Reator Piloto

a) Primeiro experimento em escala piloto

Conforme já mencionado, para se avaliar o sistema de forma mais detalhada, foi construída uma unidade piloto de bancada, tipo canal, constituída de tanques de armazenagem de esgoto (sintético) bruto e tratado, bombas peristálticas, decantador e de um tanque de aeração (reator biológico).

O reator foi inicialmente inoculado com o lodo do canal de recirculação da ETE-Caçote e com esgoto de entrada (bruto), com o objetivo de diluí-lo até atingir uma concentração de sólidos próxima a 3000 mg/L (3,0 g/L).

Todavia, durante o desenvolvimento do experimento, ocorreram problemas no sistema de recirculação, ocasionando a perda de lodo pelo decantador. Desta forma, o tanque de aeração, após o 3º dia, atingiu uma concentração de 1,72 g/L. Neste primeiro experimento a DQO do substrato sintético, ou caldo, foi de 549,0 mg O₂/L (DBO de 76,5 mg O₂/L) e a do esgoto bruto, utilizado para diluir o lodo de recirculação, de DQO de 482,7 mg O₂/L (DBO de 30,0 mg O₂/L). Estes dados de caracterização podem ser observados na Tabela 4.1.

Tabela 4.1. Parâmetros de caracterização do substrato e esgoto de partida da unidade piloto.

DATA	Amostra	T(°C)	pH	Condutivid. (μS/cm)	Sal	STD	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mg O ₂ .L ⁻¹)	DBO (mg O ₂ .L ⁻¹)
06/10/04	Caldo	25,1	5,8	1461	0,5	1344	190	110	549,0	76,5
06/10/04	Esgoto	24,6	7,1	1036	0,3	953	671	408	482,7	30

Analisando-se o efluente final, ou seja, a saída da unidade piloto, logo no início do experimento (t_0 = tempo inicial), foram obtidos valores elevados tanto para a DQO (801,1 mg O₂/L) como para a DBO (98,0 mg O₂/L). Contudo, após uma semana os valores caíram para 100 mg O₂/L (DQO) e para 9,0 mg O₂/L (DBO), apresentando assim, respectivamente, eficiências de remoção de 90 e 92%.

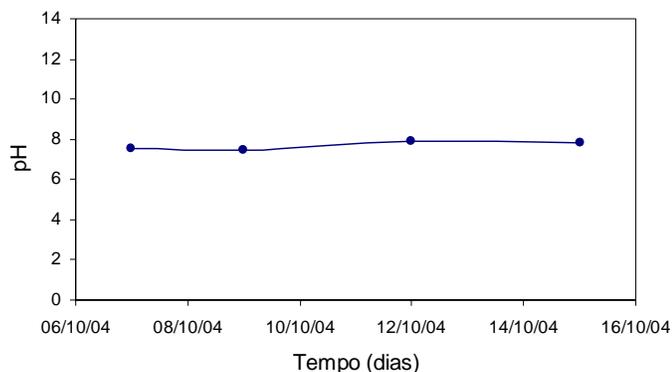


Figura 4.11. Variação do pH na saída da unidade piloto no primeiro experimento.

Conforme pode ser observado pela Figura 4.11, o pH manteve-se estável durante todo o processo, com um valor médio de 7,7. Assim como o pH, a condutividade e a salinidade apresentaram valores estáveis.

Todavia a concentração de sólidos na saída apresentou valores elevados, indicando a perda de biomassa do tanque de areação, Figura 4.12. Além da perda com o efluente tratado, ocorreu também um acúmulo de biomassa que ficou em suspensão (flotando) no interior do decantador.

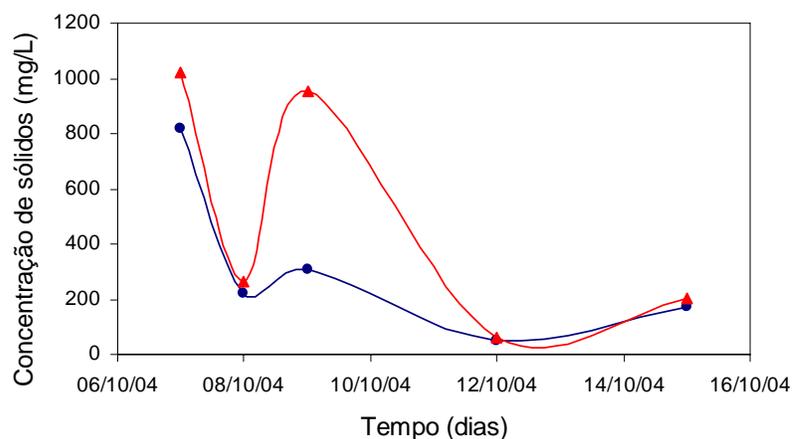


Figura 4.12. Variação da concentração de sólidos totais (▲) e voláteis (●) na saída da unidade piloto no primeiro experimento.

Esta perda de biomassa pode ser comprovada pela redução da concentração de sólidos no tanque de areação, ponto 2, conforme pode ser observado na Figura 4.13.

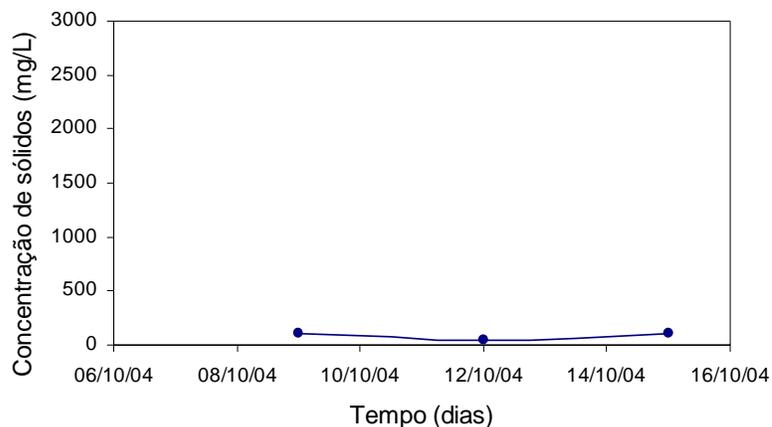


Figura 4.13. Variação da concentração de sólidos voláteis no tanque de aeração da unidade piloto no primeiro experimento.

Vale ressaltar que a concentração inicial no tanque estava em torno de 3.000 mg/L e que no terceiro dia estava abaixo de 150 mg/L. Devido a um problema no compressor de ar, o experimento foi interrompido no 9º dia. Foi então feito um novo experimento utilizando um conjunto de bombas de aquário para suprir o fornecimento de ar.

b) Segundo experimento na unidade piloto

Este segundo experimento foi realizado do dia 26 de outubro a 08 de novembro de 2004, seguindo-se o mesmo procedimento do primeiro. Apesar do fornecimento de ar do compressor ter sido substituído por bombas de aquário, foi mantida uma concentração de oxigênio residual mínima de 2 mgO₂/L.

Na Tabela 4.2 encontram-se os valores obtidos na caracterização do substrato sintético (caldo) e do esgoto bruto para o segundo experimento.

Tabela 4.2. Parâmetros de caracterização do substrato e esgoto de partida do segundo experimento da unidade piloto.

DATA	Amostra	pH	Condutivid. (μ S/cm)	Sal	STD	SST (mg/L)	SSV (mg/L)	DQO (mgO ₂ /L)	DBO (mgO ₂ /L)
26/10/04	Caldo	6,3	1994	0,8	1743	46	6	323,3	61,4
26/10/04	Esgoto	7,4	1323	0,5	1248	194	114	260,8	20,4

Assim como para o primeiro experimento, o pH manteve-se estável (Figura 4.14), apresentando o mesmo valor médio na saída (7,7). Como pode ser observado na mesma figura a condutividade se apresentou estável com valores em torno de 1800 $\mu\text{S}/\text{cm}$.

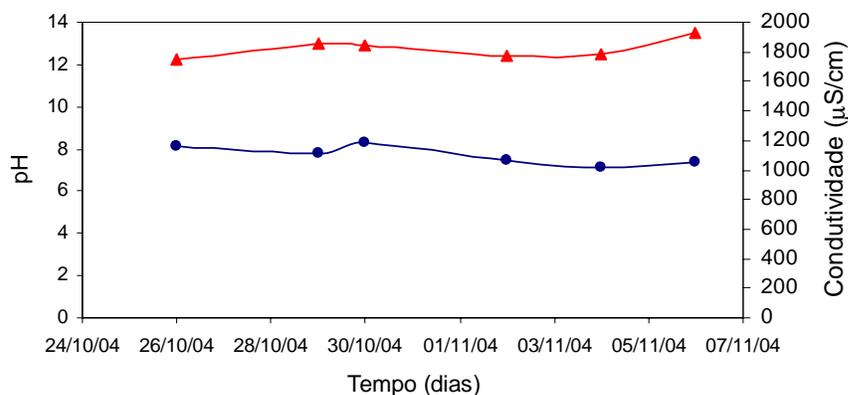


Figura 4.14. Variação da condutividade (▲) e do pH (●) na saída da unidade piloto no segundo experimento.

No interior do tanque de aeração da unidade foi também observada uma estabilidade dos valores do pH, Figura 4.15. Apesar de ter apresentado um valor mais baixo no primeiro dia, a condutividade também não apresentou variações significativas após a estabilização do sistema. É importante salientar que a presença de sais pode afetar a estrutura do floco bacteriano, causando inicialmente uma defloculação, seguida do intumescimento do lodo ativado.

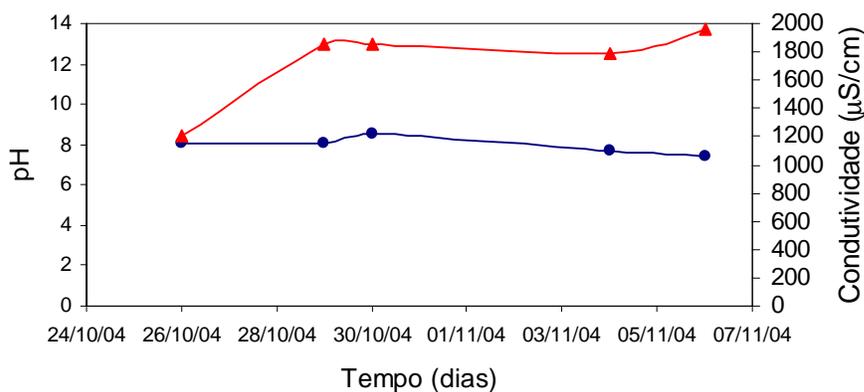


Figura 4.15. Variação da condutividade (▲) e do pH (●) no tanque de aeração da unidade piloto.

Neste segundo experimento também ocorreu uma perda acentuada da biomassa nos primeiros dias, nos levando a trabalhar com baixas concentrações. Todavia, no dia 04 de novembro foi colocada mais biomassa para elevar novamente a concentração para um valor próximo a 3000 mg/L.

A perda da biomassa pode ser confirmada pelos elevados teores de sólidos totais e em suspensão observado na saída do sistema, Figura 4.16. Como no primeiro experimento, aqui também ocorreu um acúmulo de biomassa na superfície do decantador.

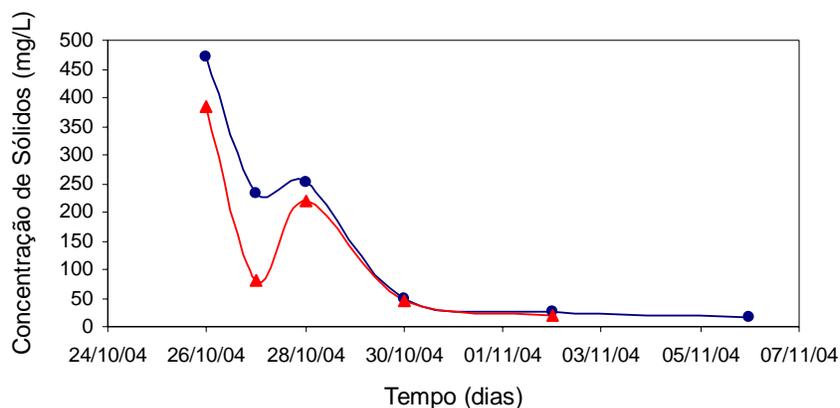


Figura 4.16: Variação da concentração de sólidos totais (▲) e voláteis (●) na saída da unidade piloto.

Possíveis causas para este problema são: reações de desnitrificação com liberação de N_2 , que arrasta consigo o floco formando uma espuma; reações anaeróbias devido ao elevado tempo para recirculação (cujo diâmetro de tubulação não tenha sido bem dimensionado), causando o acúmulo de biomassa no fundo do decantador; aparecimento de bactérias filamentosas causando o “foaming” ou espuma filamentosa.

Apesar de não haver ocorrido uma investigação mais aprofundada sobre este problema, observou-se que fatos semelhantes, em menor escala, ocorriam na ETE-Caçote. Conforme se observará mais adiante, a implantação da recirculação contínua de lodo com vazão adequada resolveu este problema.

Os valores da concentração de matéria orgânica na saída da unidade mostram também o efeito da perda de biomassa bacteriana. Quando isto ocorre numa ETE, no caso a do Caçote, esta matéria orgânica irá reduzir a concentração de oxigênio dissolvido no leito do rio e pode também aumentar a turbidez do mesmo, provocando assim, lentamente, a sua morte. Por se tratar de uma estação de efluentes domésticos, os mesmos são ricos em nutrientes que podem causar a eutrofização deste corpo d’água.

Como se pode observar pela Figura 4.17, nos três primeiros dias do experimento tem-se elevados valores de DQO, os quais se reduzem voltando a aumentar após a adição de lodo ativado que foi realizada na segunda semana do experimento (04 de novembro), conforme mencionado anteriormente, e que se encontra destacada na coluna de cor branca da referida figura.

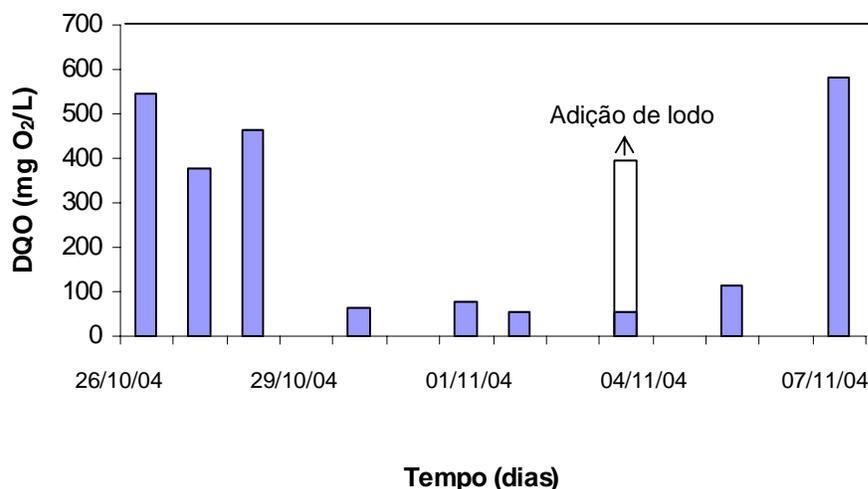


Figura 4.17. Variação da concentração da DQO na saída do decantador.

A perda de biomassa pelo decantador foi característica do lodo desta estação, uma vez que neste mesmo reator já fora utilizado lodo da ETE de uma cervejaria, o qual não ficou retido no decantador. Faz-se então necessário um estudo mais aprofundado da microfauna e do aporte de nutrientes desta ETE. Todavia, as medidas efetuadas surtiram efeito, melhorando a retenção da biomassa e a eficiência da ETE.

Para se avaliar a velocidade de decantação do lodo desta unidade, foram realizados ensaios de decantabilidade em provetas de um litro (Figura 4.18).

Os resultados mostraram elevados valores para as velocidades de decantação, que se situaram na faixa de 80 a 60 mL/min e taxas de compressão de 6 a 4 mL/min.

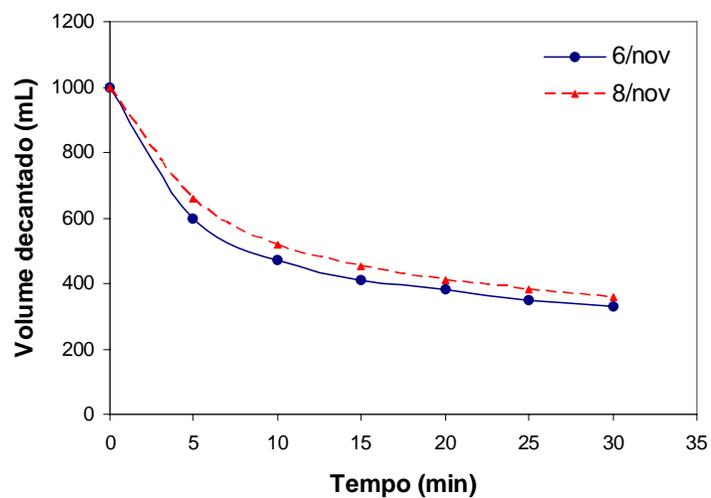


Figura 4.18. Teste de decantabilidade do lodo ativado

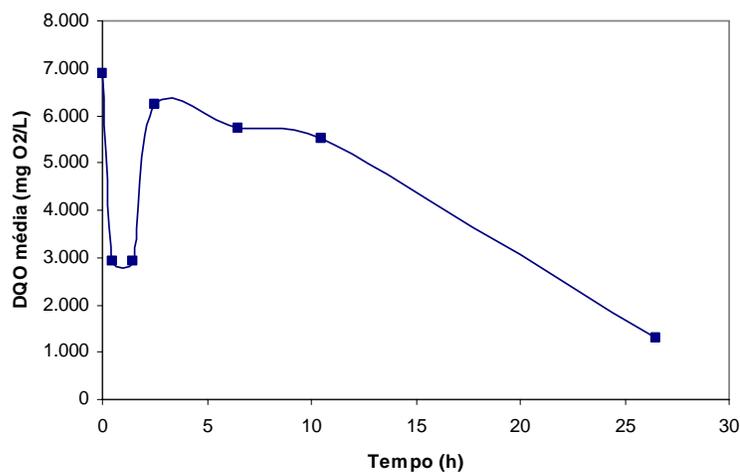
Os valores obtidos indicam uma eficiência de 90% em relação à redução da DQO e da DBO. Todavia, estudos estão sendo realizados para se verificar as causas de instabilidade da estrutura do lodo que causa a sua defloculação e perda pelo decantador.

Os resultados foram bastante satisfatórios, tendo em vista a eficiência da ordem de 90%, após o sistema atingir a sua estabilidade. Foi constatada uma fase inicial em que se tem uma saída de efluentes de baixa qualidade, fato este que se repetiu após a adição de mais lodo no tanque de aeração. Estes resultados indicam a perda de biomassa do sistema.

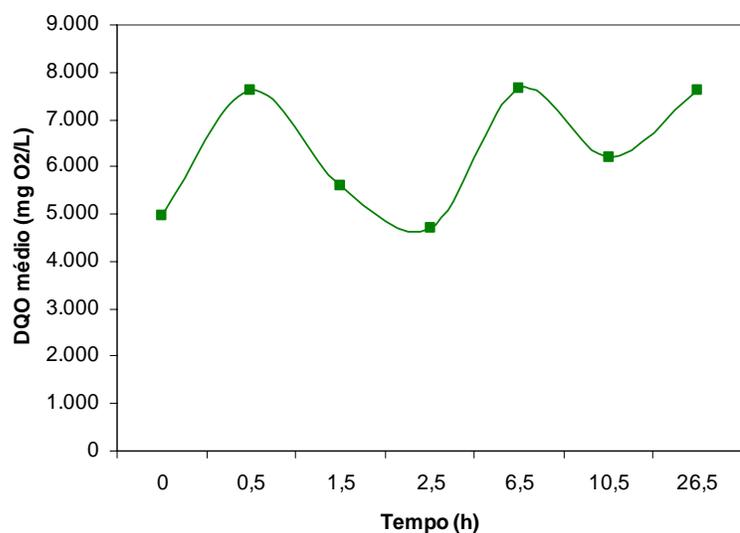
4.4. Estudo Cinético

4.4.1. Método 1 – Estudo Cinético Através da Determinação da Demanda Química de Oxigênio

As Figuras 4.19(a) e (b) representam os resultados obtidos através do estudo cinético realizado em recipiente de 4 litros para avaliação da DQO em um período de tempo de aproximadamente 26 horas.



(a) Primeiro Teste



(b) Segundo Teste

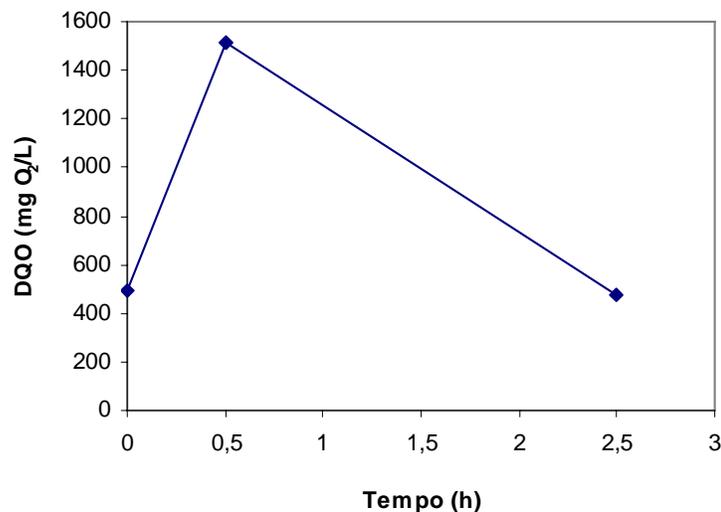
Figura 4.19.(a) e (b) Curvas da DQO x Tempo com coleta de amostras através de béquer.

Através das curvas (a) e (b) da Figura 4.19, observa-se uma variação muito grande entre os valores de DQO que ora diminuem ora aumentam bruscamente em relação ao valor inicial.

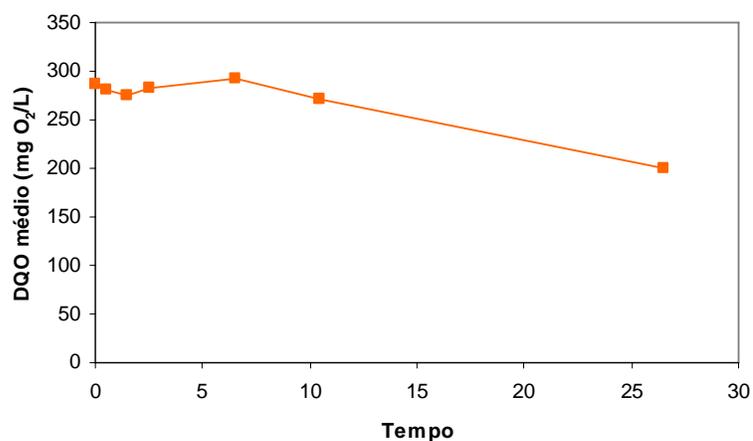
Tal fato deve-se possivelmente ao procedimento adotado para a coleta de amostras que foi realizada através da imersão direta de um béquer de 100mL no interior do recipiente. Durante a coleta, observou-se que parte da biomassa foi retirada juntamente com o efluente em estudo, afetando a avaliação do processo. Verificou-se também que para este tipo de procedimento adotado não havia como evitar a remoção da biomassa, em função do arejamento mantê-la em suspensão. Assim, devido a problemas de homogeneidade e representatividade na amostragem estes experimentos iniciais não se apresentaram adequados para o estudo cinético.

Dessa forma, na tentativa de evitar a interferência da biomassa nos resultados, efetuou-se em um experimento a avaliação da DQO filtrada através da filtração das amostras e em outro, a avaliação da DQO após diluição do sistema. Conforme se pode verificar através das curvas (a) e (b) da Figura 4.20, a filtração não se apresentou como um processo eficiente, visto que durante o processo de filtração ainda ocorria reações e os volumes requeridos para a realização das determinações são elevados, frente ao volume total utilizado no experimento. Além disso, os resultados não foram significativos, como pode ser observado na Figura 4.20(a).

A diluição também não apresentou bons resultados para se monitorar a degradação, pois acarretava erros de amostragem (amostra não homogênea) e de diluição, além de atenuar o efeito da degradação. Isto pode ser evidenciado graficamente na Figura 4.20(b), pois se observa apenas uma redução em torno de 30%.



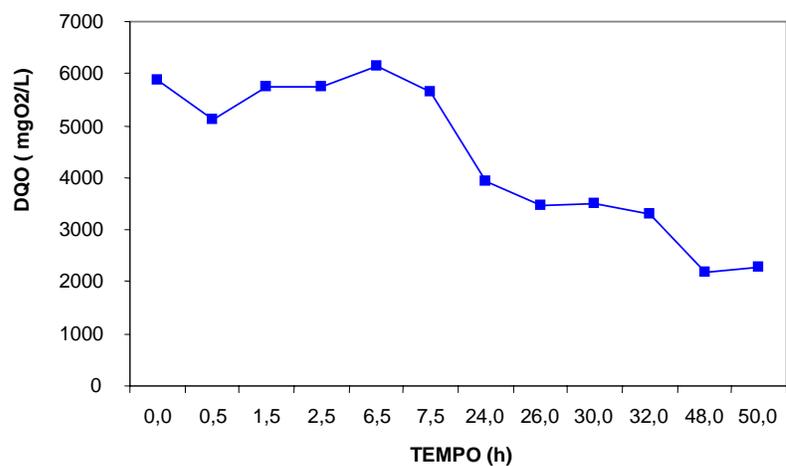
(a)



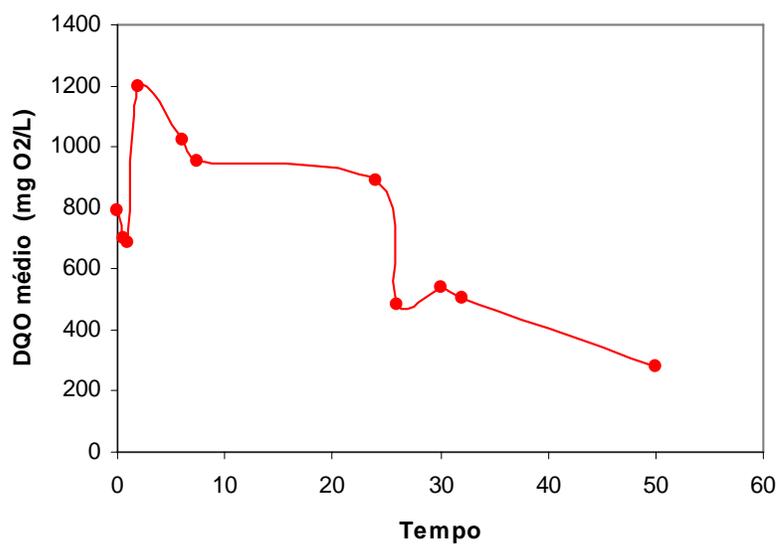
(b)

Figura 4.20. Curvas da DQO filtrada x Tempo, com filtração das amostras coletadas (a) e com diluição do sistema (b).

No intuito de minimizar a remoção de biomassa, empregou-se uma seringa de 60mL como instrumento de coleta, além de permitir que ocorresse a decantação da biomassa, possivelmente aspirada, por pouquíssimos minutos. Apesar de incrementar no tempo de monitoramento, alterando-o de 24 para cerca de 50 horas, e manter as mesmas condições nos ensaios, verificou-se nas curvas (a) e (b) da Figura 4.21 que os resultados não possuíam reprodutibilidade.



(a)



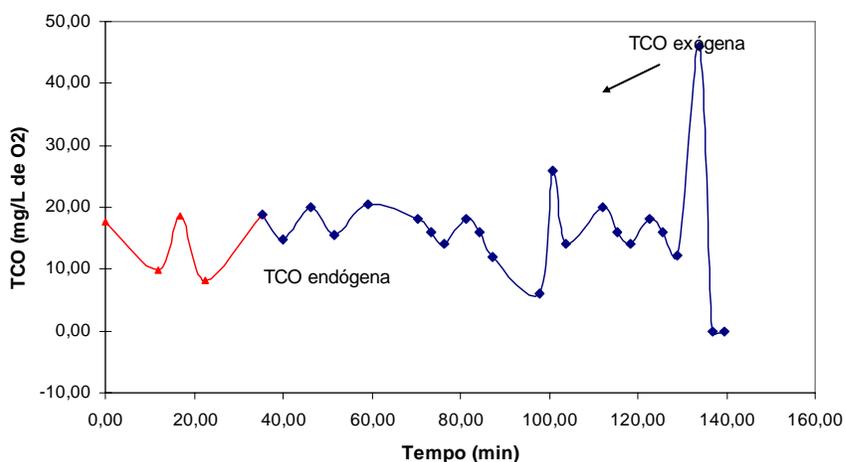
(b)

Figura 4.21. (a) e (b) Curvas da DQO x Tempo, com coleta através de seringa.

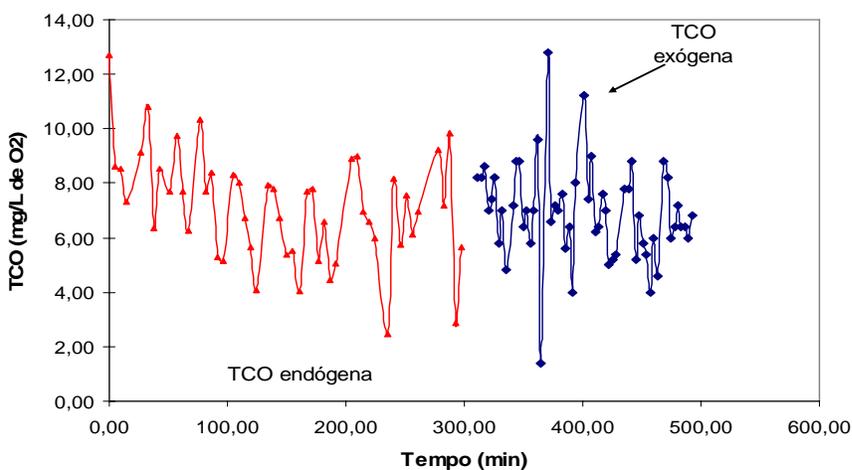
Tendo em vista não ser observado êxito nos resultados dos ensaios descritos anteriormente, aplicou-se a técnica de avaliação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO) cujos resultados estão dispostos a seguir.

4.4.2. Método 2 – Estudo Cinético Através da Determinação da Taxa de Consumo de Oxigênio (TCO)

Semelhantemente ao estudo anterior, o presente estudo logo no início da execução de alguns experimentos para determinação da TCO também não apresentaram resultados que permitissem estudar a cinética de degradação dos poluentes (Figura 4.22). Uma vez estabilizada a fase endógena e com a adição do substrato sintético, esperava-se um aumento significativo do valor da TCO seguida de sua redução gradativa. Contudo, observou-se que mesmo após a adição do substrato, o sistema não se alterava.



(a)



(b)

Figura 4.22. (a) e (b) Curvas da TCO x Tempo (primeiros testes).

Após o retorno da recirculação de lodo na ETE-Caçote, realizado em 28 de maio de 2005, efetuou-se a coleta do lodo ativado *in loco* para a realização de novos experimentos.

A realização de seis experimentos para determinação da TCO empregando-se a biomassa coletada na ETE, agora com a reativação do reciclo de lodo, permitiu obter curvas da TCO ($\text{mg O}_2\cdot\text{L}^{-1}\cdot\text{h}^{-1}$) x Tempo os quais estão representados na Figura 4.18.

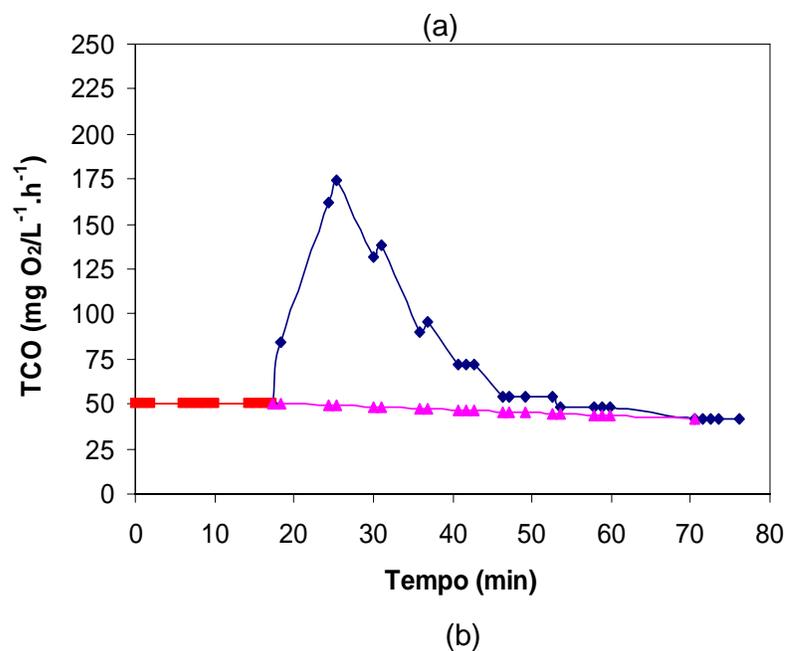
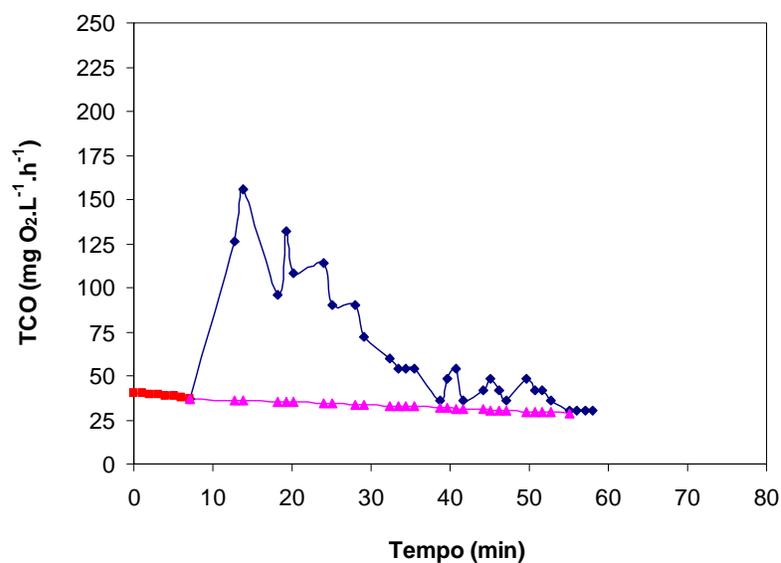
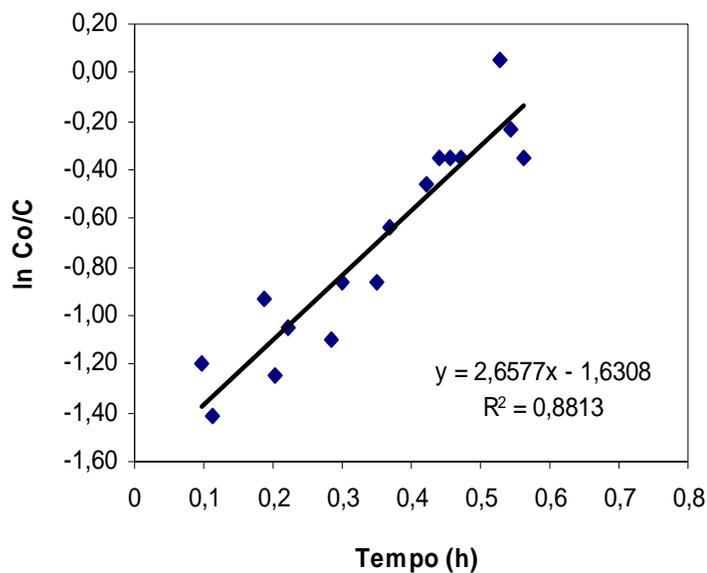
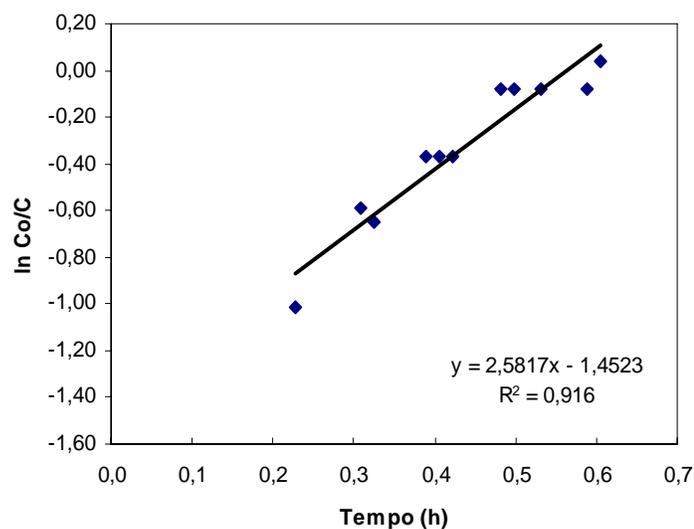


Figura 4.23. (a) e (b) Curvas da TCO x Tempo (usando-se biomassa após reativação do reciclo da ETE-Caçote).

A partir dos dados obtidos na TCO, supondo-se um modelo de primeira ordem para a degradação microbiana da matéria orgânica, foram obtidos os valores da constante de velocidade, linearizando-se a equação. Os resultados obtidos para as várias repetições foram semelhantes. Na Figura 4.24 são apresentados os valores correspondentes às curvas (a) e (b) da Figura 4.23.



(a)



(b)

Figura 4.24. (a) e (b) Retas obtidas para determinação da constante de velocidade (k).

Foram então obtidos os valores para os vários experimentos (seis) e destes, após tratamento estatístico, foram selecionados três. Foram então tomados os valores médios de k , o qual consiste da inclinação da reta. Dessa forma, encontrou-se pelo método de cálculo integral um valor médio para a constante de velocidade (k) igual a 2,6, tendo sido considerado a reação como de 1ª ordem.

Pode ser observado que nas equações da reta ($y=ax+b$) dos gráficos da Figura 4.24, os valores de b foram diferentes de zero. Este erro pode ter sido ocasionado devido à forma manual pela qual foi realizada a determinação da TCO pela variação do consumo endógeno ou por problemas de sensibilidade da sonda de oxigênio.

4.5. Avaliação da ETE ao Término da Pesquisa

Como reflexo do trabalho de monitoramento, a ETE em estudo superou a eficiência de remoção de DBO estimada em projeto de 94% para 96%, uma vez sendo ativa a recirculação de lodo para o tanque aerado.

Na Figura 4.2, observa-se a recirculação em funcionamento, bem como o decantador secundário totalmente recuperado.



(a) Tanque de aerção e tanque de mistura de lodo recirculado com o esgoto bruto.



(b) Lodo ativado.



(c) Mistura do lodo ativado com esgoto bruto.



(d) Decantador secundário.

Figura 4.25. Fotos da ETE-Caçote ao término do estudo (outubro/2005).

5. CONCLUSÕES E PERSPECTIVAS

A avaliação preliminar da ETE permitiu constatar a baixa eficiência de remoção de DBO. Ao longo do desenvolvimento da pesquisa foi possível também evidenciar a importância da recirculação do lodo no processo de tratamento, fato bastante perceptível em escala piloto. Este inclusive, apresentando as mesmas dificuldades de operação que uma ETE em escala real, com a ocorrência de obstruções, perda de biomassa, entre outros, permitindo também observar a redução na eficiência em virtude destes problemas operacionais.

O estudo cinético demonstrou que o lodo empregado nos experimentos iniciais encontrava-se séptico, ou seja, devido ao tempo que permaneceu residente na estação elevatória de lodo, apresentava-se com baixa qualidade. Em outras palavras, o lodo empregado não estava novo, consistente, com característica de um lodo ativado. De modo que após o retorno da operação total da ETE, através da colocação da recirculação de lodo para funcionar continuamente, a eficiência da estação manteve-se bem, e em alguns casos, até superou o valor projetado.

Outro aspecto importante no presente trabalho foi a possibilidade de aplicação dos conhecimentos teóricos obtidos, entre eles, a Determinação do Tempo de Residência e do Estudo da Cinética Microbiana, como ferramentas para se avaliar o processo de tratamento de efluentes, buscando assim uma melhora de sua performance.

O estudo em escala piloto permitiu um melhor conhecimento sobre o lodo que se estava trabalhando o que permitiu realizar ajustes na ETE, os quais foram fundamentais para o aumento de sua eficiência.

Como perspectivas, poderá ser realizado um estudo hidrodinâmico da estação do Caçote, para se avaliar a dispersão e se identificar áreas de estagnação, assim como um estudo mais aprofundado da qualidade do efluente que chega à estação e do comportamento da microfauna do lodo ativado a este efluente.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN PUBLIC HEALTH ASSOCIATION – APHA – American Water Works Association, Water Pollution Control Federation – Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 19th ed, 1995;
- ANDREOTTOLA, G., OLIVEIRA, E.L., FOLADORI, P., DALLAGO, L., PETERLINI, R., CADONNA, M., Método respirométrico para o monitoramento de processos biológicos. Revista Brasileira de Engenharia Sanitária, p. 14-23, V. 10, No 1, jan/mar 2005.
- CIEMAT – Centro de Investigaciones Energéticas, Medioambientales y Tecnológicas, Tratamiento de Aguas Residuales, Serie Ponencias. Madrid, 1992;
- COMPESA, Projeto Técnico Executivo do S.E.S. do Conjunto Ignez Andrezza, 1982;
- COSTA, A.G., FERREIRA, A.F., GUIMARÃES, P., CATUNDA, S.Y.C., VAN HAANDEL, A., Respirometria Aplicada no sistema de lodo ativado. Influência de interrupções de oxigenação sobre a atividade e viabilidade de lodo ativado. 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. João Pessoa, 2001;
- CPRH, Monitoramento da Qualidade da Água das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco, 1998;
- CZECHOWSKI, F.; Sewage sludge stabilisation with calcium hydroxide: Effect on physicochemical properties and molecular composition, Water Research, V. 40, No 9, p. 1895-1905, mai, 2006;
- DA MOTTA, M.; Applications de l'analyse d'image à la caractérisation de la microfaune de stations d'épuration des eaux usées, These Doctorat, Institut National Polytechnique de Lorraine – École Nationale Supérieure des Industries Chimiques, Nancy-France, 2001;
- DANTAS, M. A. R.; Aplicação de Traçadores em Filtros Anaeróbios para Avaliação das Características Hidrodinâmicas, 27º Congresso Interamericano de Engenharia Sanitária e Ambiental, São Paulo, 2002;
- FOGLER, H. S.; Elementos de Engenharia das Reações Químicas, 3ª ed., LTC editora, 2002;
- FUNASA, Manual de saneamento – orientações técnicas. Brasília, 2004;

- JORDÃO, E. P.; PESSOA, C. A.; Tratamento de Esgotos Domésticos, 3ª ed., ABES, 1995;
- LEVENSPIEL, O.; Engenharia das Reações Químicas: cálculo de reatores, vol. 2, editora Edgard Blücher Ltda, 1974;
- MATOS, B. A.; Avaliação da Ocorrência e do Transporte de Microrganismos no Aquífero Freático do Cemitério de Vila Nova Cachoeirinha-Município de São Paulo, Tese de Doutorado – Instituto de Geociências – USP, São Paulo, 2001;
- METCALF & EDDY, Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse, Tata Mc Graw Hill, New Deli, 1995.
- SOARES, S. R. A.; Respirometria na caracterização do afluente para o controle operacional de ETE, 21º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, Trabalhos Técnicos. João Pessoa, 2001.
- USAID – Agência Norte-Americana para o Desenvolvimento Internacional, Projeto de Instalação de Tratamento de Esgoto. Rio de Janeiro, 1969.
- VICZNEVSKI, I.S., SILVA, C.G., Tratamento biológico de esgoto com zona de raízes – experiência da prefeitura municipal de Joinville. 22º Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental. Joinville, 2003.
- VAN HAANDEL, A. C.; Determinação da taxa de consumo de oxigênio em sistemas de tratamento de esgoto, Engenharia Sanitária, vol. 21, nº 4, 481-488, out/dez, 1982;
- VAN HAANDEL, A. C.; MARAIS, G. v. R.; O Comportamento do Sistema de Lodo Ativado – Teoria e Aplicações para Projetos e Operação, Campina Grande-PB, 1999;
- VON SPERLING, M. V.; Introdução à Qualidade das Águas e ao Tratamento de Esgotos, vol. 1, 2ª ed., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental de Minas Gerais, 1998;
- VON SPERLING, M. V.; Princípios do Tratamento Biológico de Águas Residuárias , vol. 4, 2ª ed., Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental de Minas Gerais, 2002;
- ZHANG, D. et all; A Method for Characterizing the Complete Settling Process of Activated Sludge, Water Research, v. 40, no 14, 2637-2644, ago, 2006.

ANEXO A

Resumo de Cálculos e Dimensionamento de Projeto

- **Dados Básicos**

População servida: 12.320 pessoas

Vazão média diária: 31,31 L/s

Vazão máxima diária: 37,01 L/s

Vazão máxima horária: 54,42 L/s

Vazão mínima: 17,06 L/s

Temperatura média: mês mais quente (27°C) e mês mais frio (24°C).

- **Características dos Esgotos Estimadas no Projeto**

DBO do esgoto bruto (5 dias, 20°C): 246 mg/L

DBO total: 666,36 Kg/dia

DBO efluente: 15 mg/L

- **Dimensionamento**

Calha Parshall

Vazão máxima horária: 54,12 L/s

Caixa de Areia

Altura máxima da lâmina: 0,22 m

Área útil da secção transversal do canal: 4,51 m² (onde L=5,5m e H=0,22m)

Para limpezas quinzenais, um volume retido: 2,1 m³

Tanque de Aeração

Sólidos suspensos no tanque: 5.000 mg/L

Fração biodegradável dos sólidos suspensos nos esgotos: f=0,50

Eficiência esperada do processo: E=0,94 ou 94%.

Livros Grátis

(<http://www.livrosgratis.com.br>)

Milhares de Livros para Download:

[Baixar livros de Administração](#)

[Baixar livros de Agronomia](#)

[Baixar livros de Arquitetura](#)

[Baixar livros de Artes](#)

[Baixar livros de Astronomia](#)

[Baixar livros de Biologia Geral](#)

[Baixar livros de Ciência da Computação](#)

[Baixar livros de Ciência da Informação](#)

[Baixar livros de Ciência Política](#)

[Baixar livros de Ciências da Saúde](#)

[Baixar livros de Comunicação](#)

[Baixar livros do Conselho Nacional de Educação - CNE](#)

[Baixar livros de Defesa civil](#)

[Baixar livros de Direito](#)

[Baixar livros de Direitos humanos](#)

[Baixar livros de Economia](#)

[Baixar livros de Economia Doméstica](#)

[Baixar livros de Educação](#)

[Baixar livros de Educação - Trânsito](#)

[Baixar livros de Educação Física](#)

[Baixar livros de Engenharia Aeroespacial](#)

[Baixar livros de Farmácia](#)

[Baixar livros de Filosofia](#)

[Baixar livros de Física](#)

[Baixar livros de Geociências](#)

[Baixar livros de Geografia](#)

[Baixar livros de História](#)

[Baixar livros de Línguas](#)

[Baixar livros de Literatura](#)
[Baixar livros de Literatura de Cordel](#)
[Baixar livros de Literatura Infantil](#)
[Baixar livros de Matemática](#)
[Baixar livros de Medicina](#)
[Baixar livros de Medicina Veterinária](#)
[Baixar livros de Meio Ambiente](#)
[Baixar livros de Meteorologia](#)
[Baixar Monografias e TCC](#)
[Baixar livros Multidisciplinar](#)
[Baixar livros de Música](#)
[Baixar livros de Psicologia](#)
[Baixar livros de Química](#)
[Baixar livros de Saúde Coletiva](#)
[Baixar livros de Serviço Social](#)
[Baixar livros de Sociologia](#)
[Baixar livros de Teologia](#)
[Baixar livros de Trabalho](#)
[Baixar livros de Turismo](#)