



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA
CENTRO TECNOLÓGICO
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA AMBIENTAL**

**TRATAMENTO DE EFLUENTES DE EM REATOR DE LEITO FLUIDIZADO SEQUENCIAL EM
BATELADA.**

Dissertação apresentada ao Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental do Centro Tecnológico da Universidade Federal de Santa Catarina, como requisito final à obtenção do título de Mestre.

Orientadora: Prof^a. Rejane Helena Ribeiro da Costa, PhD.

SUZELE ROSA BARBOSA

FLORIANÓPOLIS-SC 2004

TRATAMENTO DE EFLUENTES EM REATOR DE LEITO FLUIDIZADO SEQUÊNCIAL EM BATELADA

Por

SUZELE ROSA BARBOSA

Dissertação submetida ao corpo docente do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental da Universidade Federal de Santa Catarina como parte dos requisitos necessários para obtenção do grau de

MESTRE EM ENGENHARIA AMBIENTAL

na Área de Tecnologias de Saneamento Ambiental.

Aprovado por:

Prof^a. Heike Hoffmann, Dr^a.

Prof^o Djalma Dias da Silveira, Dr.

Prof^o Armando B. de Castilhos, Dr.
(coordenador)

Prof^a. Rejane Helena Ribeiro da Costa, PhD
(orientadora)

FLORIANÓPOLIS, SC – BRASIL

Fevereiro/2004

"Descobri como é bom chegar quando se tem paciência. E para se chegar, onde quer que seja, aprendi que não é preciso dominar a força, mas a razão. É preciso, antes de mais nada, querer. Aquele que tem idéias é forte, mas aquele que tem ideais é invencível."

Determinação, coragem e confiança são fatores decisivos para o sucesso.
(Autor Desconhecido)

*A minha mãe (in memória) e ao meu pai pelo amor
e ensinamentos que me abriram as portas da vida
A Paulo por tudo.*

AGRADECIMENTOS

À Deus, pela vida, saúde, força enfim por tudo.

À Professora Rejane Helena Ribeiro da Costa pelo apoio orientação e credito para que esse trabalho realizasse.

Aos bolsistas Daniela, Luiz, Rodrigo, Beiqui , Dariane, por realizarmos juntos esse trabalho.

Ao Professor Paulo Modesto pelo apoio e ajuda para ampliar meus conhecimentos.

Aos meus amigos de Cuiabá em especial Selma e família, Alice Valeira, Jádina e família que sempre me deram força apesar da distancia.

Aos amigos Claudia e família, Fernanda, Gersina, Débora e família, Flávia, Pâmella, Gizele, pela amizade e rica convivência nos momentos felizes e difíceis.

Ao LIMA (Laboratório Integrado do Meio Ambiente).

A Profª Drª Haike Hoffmam pelas análises microscópicas e participação na banca examinadora..

À Claudia e Rosane pela colaboração e auxílio neste projeto.

A banca examinadora, Profº Djalma Dias da Silveira, pela participação na banca examinadora.

A UFSC (Universidade Federal de Santa Catarina) e os professores e servidores do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, e também aos servidores do NUMA e da Prefeitura Universitária (Hidráulica) pela disposição, pelos consertos e ajustes nos equipamentos.

Ao CNPq,(Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnologia) pela concessão da bolsa de estudo.

A Todos aqueles que contribuíram direta ou indiretamente para a realização deste trabalho, certamente foram importantes durante o trajeto percorrido.

RESUMO

No presente trabalho foram utilizados dois reatores de leito fluidizado seqüencial em batelada (RLFSB), com o objetivo de estudar o tratamento biológico de efluentes do restaurante universitário da UFSC e esgoto doméstico. Os reatores eram constituídos de coluna em acrílico transparente com volumes de 62,8 L e 12,72 L, reator 1 e 2, respectivamente. O material suporte utilizado foi o PET reciclado. O reator 1 foi operado em ciclos completos (enchimento, reação anaeróbia, reação aeróbia e sedimentação) e ciclos simplificados (enchimento e reação aeróbia). O reator 2 foi operado com ciclos aeróbios (preliminares) e ciclos com aeração-sem aeração, onde foram testadas estratégias operacionais 2:2, 1:3 e 1,5:4,5 correspondentes aos tempos de aeração e sem aeração, em horas. Além dos parâmetros físico-químicos de monitoramento (pH, temperatura, OD, DQO_F, SS, nitrogênio e fósforo total), também foi monitorado o biofilme através da microscopia ótica, produção de polissacarídeos e proteínas e produção específica de lodo. Os reatores mostraram-se capazes de tratar cargas orgânicas aplicadas entre 0,80 e 5,50 kg DQO_F/m³.d, com TRH entre 4,50 e 74,5 horas, apresentando remoções da DQO_F entre 41,5 e 86%. A nitrificação não foi favorecida em função das condições operacionais dos reatores (temperatura, OD) e qualidade do esgoto afluente. O fósforo total foi removido satisfatoriamente chegando próximo ao exigido pela legislação ambiental (1,0 mg/L) quando a relação DQO_F/P do afluente esteve próxima de 46, havendo relargagem em algumas etapas dos ciclos. O esgoto do RU apresentou-se na maioria das vezes desequilibrado em termos de C/N/P, prejudicando o tratamento biológico, enquanto o esgoto doméstico esteve mais equilibrado e regular, apresentando maior eficiência no tratamento. O biofilme desenvolvido mostrou-se sensível às forças de atrito e cisalhamento dos RLFSB, a produção específica de lodo (Y) variou entre 0,50 e 1,0 mgPN/mgDQO_{removida}. O uso da microscopia ótica apresenta-se como uma ferramenta de avaliação rápida das condições operacionais dos reatores; a presença de ciliados e rotíferos atuando como indicadores positivos do tratamento, e a presença de filamentosos e flocos mal formados no meio líquido caracterizando mal funcionamento dos processo biológico.

PALAVRAS-CHAVE: Biofilme, efluente de restaurante, esgoto sanitário, leito fluidizado seqüencial em batelada, tratamento biológico.

ABSTRACT

In the present study, two reactors of sequential fluidized bed in batch (SBFBR) were used, with the objective of investigating the effluent biological treatment of the university restaurant of the Federal University of Santa Catarina (UFSC) as well as of the domestic sewage. The reactors comprised of transparent acrylic columns with volumes of 62,8 liters and 12,72 liters, reactors 1 and 2, respectively. The supporting material applied was the recycled PET. Reactor 1 was operated in complete cycles (filling, anaerobic reaction, aerobic reaction and sedimentation) as well as in simplified cycles (filling and aerobic reaction). Reactor 2 was operated in aerobic cycles (preliminaries) and in with/without aeration cycles. In the reactor 2, the operational strategies 2:2, 1:3 and 1,5: 4,5, which corresponded the period of time of aeration and without aeration (measured in hours), were tested. In addition to the chemical physical parameters of monitoring (pH, temperature, OD, DQO_F, SS, nitrogen and total phosphorus), the biofilm was also monitored through the optical microscopy, the production of polysaccharides and proteins and the specific production of sludge. The reactors demonstrated to be capable to treat organic load applied between 0,80 and 5,50 kg DQO_F/m³.d, with TRH between 4,50 and 74,5 hours, presenting removal of DQO_F between 41,5 and 86%. The nitrification was not favored due to the operational conditions of the reactors (temperature, OD) and the quality of the affluent sewage. The total phosphorus was satisfactorily removed, approaching the standard required by the environmental legislation (1,0 mg/L) when the relationship DQO_F/P of the affluent was close to 46 (forty-six), there was reappearance in some stages of the cycles. It was found that the sewage of the university restaurant was most frequently unbalanced in terms of C/N/P, damaging the biological treatment, whereas the domestic sewage was more balanced and regular, presenting more efficiency in the treatment. The developed biofilm showed to be sensitive to attrition force and shearing of SFBS, and the specific production of the sludge (Y) varied between 0,50 and 1,0 mgPN/mgDQO_{removed}. The use of optical microscopy is presented as a tool of fast evaluation of operational conditions of reactors; the presence of ciliaries and rotifers acts as positive indicators of treatment, and the presence of filamentous and malformed floc in the liquid medium characterizes a malfunction of the biological processes.

KEY WORDS: Biofilm, effluent of restaurant, sanitary wastewater, sequential fluidized bed in batch, biological treatment.

LISTA DE FIGURAS

| | | | |
|--------|------|--|----|
| Figura | 3.1 | O reator no processo de enchimento..... | 09 |
| Figura | 3.2 | Fase onde o reator é aerado e ocorre reação..... | 09 |
| Figura | 3.3 | O reator está em repouso..... | 10 |
| Figura | 3.4 | O efluente é retirado do reator..... | 10 |
| Figura | 3.5 | Repouso do reator..... | 10 |
| Figura | 4.1 | Esquema da instalação experimental..... | 26 |
| Figura | 4.2 | Detalhes do sistema piloto dos reatores de leito fluidizado RLFSB..... | 28 |
| Figura | 4.3 | Foto do Reator de Leito Fluidizado Seqüencial em Batelada | 28 |
| Figura | 4.4 | PET não tratado (500x)..... | 29 |
| Figura | 4.5 | PET tratado (2000x)..... | 29 |
| Figura | 4.6 | PET colonizado (2000x)..... | 30 |
| Figura | 4.7 | PET colonizado (500x)..... | 30 |
| Figura | 4.8 | Esquema dos diferentes tempos dos ciclos do reator..... | 32 |
| Figura | 4.9 | Esquema das etapas do tratamento nos ensaios iniciais no reator 1..... | 32 |
| Figura | 4.10 | Esquema das etapas do tratamento nos ensaios iniciais no reator 2..... | 35 |
| Figura | 5.1 | Resultados obtidos ao longo do ciclo P45 com 2 h 05 de duração..... | 45 |
| Figura | 5.2 | Variação dos parâmetros medidos nos ensaios E1 e E2..... | 47 |
| Figura | 5.3 | Variação dos parâmetros DQO _F e SS nos ensaios E3 e E4..... | 48 |
| Figura | 5.4 | Variação dos parâmetros medidos nos ensaios E5 e E6..... | 50 |
| Figura | 5.5 | Floco mal formado (T=30dias)..... | 51 |
| Figura | 5.6 | Spirilos (T= 70 dias)..... | 51 |
| Figura | 5.7 | Zooflagelado e bactérias livres (T= 70 dias)..... | 51 |
| Figura | 5.8 | Cabeça de <i>Vorticella sp</i> (T= 100 dias)..... | 51 |
| Figura | 5.9 | Pequena quantidade de biofilme e aderido (T= 50 dias)..... | 52 |
| Figura | 5.10 | Biofilme mal formado (T=100 dias)..... | 52 |
| Figura | 5.11 | Pequenos flocos e bactérias livres (T= 105 dias)..... | 54 |
| Figura | 5.12 | Biofilme com Zooglea (T= 105 dias)..... | 54 |
| Figura | 5.13 | Biofilme (T= 110 dias)..... | 54 |
| Figura | 5.14 | Rotíferos (T= 120 dias)..... | 54 |

| | | | |
|--------|------|--|----|
| Figura | 5.15 | Meio suporte sendo colonizado (T= 110 dias)..... | 54 |
| Figura | 5.16 | Floco com <i>Vorticellas</i> sp. (T= 110 dias)..... | 54 |
| Figura | 5.17 | Evolução do Oxigênio Dissolvido (OD) e da temperatura ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 57 |
| Figura | 5.18 | Evolução da temperatura ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 57 |
| Figura | 5.19 | Evolução do pH ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 57 |
| Figura | 5.20 | Evolução da DQO _F ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 57 |
| Figura | 5.21 | Evolução do fósforo total ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 58 |
| Figura | 5.22 | Evolução dos sólidos suspensos ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 58 |
| Figura | 5.23 | Perfil temporal dos compostos de nitrogênio (NH ₄ - N, NO ₂ -N, NO ₃ -N e NTK) ao longo dos ciclos E7 a E14..... | 59 |
| Figura | 5.24 | Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos da estratégia 2:2..... | 61 |
| Figura | 5.25 | Resultados do OD e da DQO _F ao longo dos ciclos, estratégia 2:2..... | 62 |
| Figura | 5.26 | Resultados do fósforo total ao longo dos ciclos, estratégia 2:2..... | 63 |
| Figura | 5.27 | Resultados sólidos suspensos ao longo dos ciclos, estratégia 2:2..... | 63 |
| Figura | 5.28 | Evolução do NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ ⁺ -N e NTK ao longo dos ciclos efetuados com a estratégia 2:2..... | 64 |
| Figura | 5.29 | Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E15..... | 65 |
| Figura | 5.30 | Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos da estratégia 1:3..... | 67 |
| Figura | 5.31 | Resultados do OD e da DQO _F ao longo dos ciclos, estratégia 1:3..... | 68 |
| Figura | 5.32 | Resultados do fósforo total ao longo dos ciclos, estratégia 1:3..... | 69 |
| Figura | 5.33 | Resultados sólidos suspensos ao longo dos ciclos, estratégia 1:3..... | 69 |
| Figura | 5.34 | Evolução do NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ ⁺ -N e NTK ao longo dos ciclos efetuados com a estratégia 1:3 (obs. ciclos E25 e E27 problemas na determinação do NTK do enchimento)..... | 70 |
| Figura | 5.35 | Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E29..... | 71 |
| Figura | 5.36 | Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos da estratégia 1,5:4,5..... | 73 |

| | | | |
|--------|------|--|----|
| Figura | 5.37 | Resultados do OD e da DQO _F ao longo dos ciclos, estratégia 1,5:4,5.... | 73 |
| Figura | 5.38 | Resultados do fósforo total ao longo dos ciclos, estratégia 1,5:4,5..... | 74 |
| Figura | 5.39 | Resultados sólidos suspensos ao longo dos ciclos, estratégia 1,5:4,5 . | 74 |
| Figura | 5.40 | Evolução do NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ ⁺ -N e NTK ao longo dos ciclos efetuados com a estratégia 1,5:4,5..... | 75 |
| Figura | 5.41 | Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E31..... | 76 |
| Figura | 5.42 | Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico (1:3 = E39 e E40; 1,5:4,5 = E41 e E42; e 2:2 = E43)..... | 78 |
| Figura | 5.43 | Resultados do OD e da DQO _F ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico..... | 78 |
| Figura | 5.44 | Resultados do fósforo total ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico..... | 79 |
| Figura | 5.45 | Resultados sólidos suspensos ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico..... | 79 |
| Figura | 5.46 | Evolução do NO ₃ -N, NO ₂ -N, NH ₄ ⁺ -N e NTK ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico em diferentes estratégias (1:3= E39 e E40, 1,5:4,5= E41 e E42, 2:2= E43)..... | 80 |
| Figura | 5.47 | Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E40, 1:3 – esgoto doméstico..... | 81 |
| Figura | 5.48 | Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E41, 1,5:4,5 – esgoto doméstico..... | 82 |
| Figura | 5.49 | Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E43, 2:2 – esgoto doméstico..... | 83 |
| Figura | 5.50 | Comportamento da relação PS/PN aderidos e suspensos ao longo dos ciclos..... | 84 |
| Figura | 5.51 | Evolução da produção específica do lodo (Y) ao longo dos ciclos | 85 |
| Figura | 5.52 | Suporte colonizado com <i>Vorticellas</i> sp (30x)..... | 86 |
| Figura | 5.53 | <i>Uronema</i> sp no meio líquido (100x)..... | 86 |
| Figura | 5.54 | Biofilme com <i>Vorticellas</i> (100x)..... | 87 |
| Figura | 5.55 | Biofilme com <i>Vorticellas</i> sp e <i>Epistylis</i> sp (100x) | 87 |

| | | | |
|--------|------|--|----|
| Figura | 5.56 | Floco com <i>Zooglea</i> e <i>Rotífero</i> (100x) | 88 |
| Figura | 5.57 | Biofilme com <i>Vorticellas</i> sp (100x)..... | 88 |
| Figura | 5.58 | Floco com Tardígrados e Rotíferos (100x)..... | 89 |
| Figura | 5.59 | Floco com Amebas com teca(100x)..... | 89 |
| Figura | 5.60 | Rotífero – tronco sem cabeça de <i>Vorticellas</i> e <i>Epistylis</i> sp (100x)..... | 89 |
| Figura | 5.61 | <i>Epistylis</i> sp – tronco sem cabeça) (100x)..... | 89 |
| Figura | 5.62 | Restos de <i>Epistylis</i> sp no biofilme (100x) | 89 |
| Figura | 5.63 | Zooglea e filamentosos (100x)..... | 89 |
| Figura | 5.64 | Rotíferos (100x)..... | 91 |
| Figura | 5.65 | Biofilme com <i>Epistylis</i> sp(100x)..... | 91 |
| Figura | 5.66 | Biofilme com <i>Epistylis</i> sp (100x)..... | 91 |
| Figura | 5.67 | Floco com <i>Vorticellas</i> sp..... | 91 |
| Figura | 5.68 | <i>Vorticellas</i> sp e <i>Sphaerotilus</i> sp (100x)..... | 91 |
| Figura | 5.69 | Fase líquida com Zooflagelado e bactérias livres (100x)..... | 91 |
| Figura | 5.70 | Bactérias filamentosas (100x)..... | 92 |
| Figura | 5.71 | Biofilme com predominância de filamentosos (100x)..... | 92 |
| Figura | 5.72 | <i>Vorticellas</i> sp (100x)..... | 93 |
| Figura | 5.73 | <i>Vorticellas</i> sp (100x)..... | 93 |
| Figura | 5.74 | <i>Beggiatoa</i> sp (100x)..... | 93 |
| Figura | 5.75 | Flocos bem formados (100x)..... | 93 |

LISTA DE TABELAS

| | | | |
|--------|-----|--|----|
| Tabela | 3.1 | Padrões relativos aos nutrientes segundo a Resolução CONAMA nº 20 de 1986..... | 06 |
| Tabela | 4.1 | Ciclos operacionais do reator 1..... | 33 |
| Tabela | 4.2 | Estratégias Operacionais testadas no reator 2..... | 34 |
| Tabela | 4.3 | Parâmetros monitorados no RLFSB e a frequência de amostragem por ciclos..... | 36 |
| Tabela | 5.1 | Características médias do afluente do RU..... | 42 |
| Tabela | 5.2 | Resultados médios obtidos nos ensaios com os ciclos de 5 horas (P1 a P16) (n=17)..... | 43 |
| Tabela | 5.3 | Resultados médios obtidos nos ensaios com os ciclos 2h e 05 min. (P17 a P47) (n = 31)..... | 44 |
| Tabela | 5.4 | Resultados médios obtidos nos ensaios com os ciclos aeróbios de 6 horas..... | 46 |
| Tabela | 5.5 | Resultados médios obtidos nos ensaios de 2 horas (E3 e E4)..... | 48 |
| Tabela | 5.6 | Resultados médios obtidos nos ciclos de 1 hora (E5 e E6)..... | 49 |
| Tabela | 5.7 | Resumo das condições operacionais e cargas aplicadas e removidas do reator 1..... | 55 |
| Tabela | 5.8 | Resumo das condições operacionais e cargas aplicadas e removidas do reator 2..... | 94 |

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

- BFSBR = Biofilm Filter Sequencing Batch Reactor
- CASAN = Companhia Catarinense de Água e Saneamento
- CETESB = Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental
- CONAMA = Conselho Nacional do Meio Ambiente
- CO₂ = Dióxido de carbono
- COV = Carga Orgânica Volumétrica (aplicada ou removida)
- DBO = Demanda Bioquímica de Oxigênio
- DBO₅ = Demanda Bioquímica de Oxigênio de 5 dias
- DQO = Demanda Química de Oxigênio
- DQO_F = Demanda Química de Oxigênio Filtrada
- DQO/N = Relação da Demanda Química de Oxigênio e Nitrogênio
- E = Eficiência de Remoção.
- ε = Eficiência de remoção (%)
- ETE = Estação de Tratamento de Esgoto
- EUA = Estados Unidos da América
- LABEFLU = Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos da UFSC.
- M = número de ciclos possíveis por dia
- MBBR = Moving Bed Biofilm Reactor
- MEV = Microscopia Eletrônico de Varredura
- N = Nitrogênio
- NH₃ = Amônia livre
- NH₄-N = Íon amônio
- NTK = Nitrogênio Total Kjeldhal

$\text{NO}_2\text{-N}$ = Nitrito

$\text{NO}_3\text{-N}$ = Nitrato

OD = Oxigênio Dissolvido

ORP = Potencial de Óxi -redução

OSBG = Optimized Support for Biological Growth

P = Fósforo

PET = Polietileno Terftalo

pH = Potencial Hidrogênio Iônico

PHB = Poli -hidroxi-butiratos

PN = Proteínas

PN_s = Proteínas Suspensas

PO_4^{3-} = Ortofosfatos

PPGEA = Programa de Pós – Graduação em Engenharia Ambiental

PS = Polissacarídeos

PS/PN = Relação Polissacarídeos / Proteínas

P_t = Fósforo total

PVC = Policloreto de Vinila

Q= vazão

RLF = Reator de Leito Fluidizado

RLF_{SB} = Reator de Leito Fluidizado Seqüencial de Batelada

RSB = Reator Seqüencial de Batelada.

SABESP = Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

SBR = Sequencing Batch Reactor

S_{cons} = Concentração de substrato consumido

S_0 = Concentração na entrada do reator

S_s = Concentração no final de cada etapa

SS = Sólidos Suspensos

T = Tempo

$T(^{\circ}\text{C})$ = Temperatura

T_A = Tempo de Aeração.

T_{AN} = Tempo de reação anaeróbia

T_c = Tempo total do ciclo

TCU = Tribunal de Contas da União

T_E = Tempo de Enchimento

T_{EV} = Tempo de Esvaziamento

T_M = Tempo de Mistura

T_p = Tempo do Processo

T_R = Tempo de Reação

TRH= Tempo de Retenção Hidráulica

T_S = Tempo de Sedimentação

T_V = Tempo vazio

UFRJ = Universidade Federal do Rio de Janeiro.

UFSC = Universidade Federal de Santa Catarina

V_E = Volume de enchimento

V_0 = Volume estacionário

X_e = Teor de proteínas no material suspenso

Y = Produção Específica de Lodo

SUMÁRIO

| | |
|--|------------|
| RESUMO | V |
| ABSTRACT | VI |
| LISTA DE FIGURAS | VII |
| LISTA DE TABELAS | XI |
| LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS | XII |
| 1. INTRODUÇÃO | 1 |
| 2. OBJETIVOS | 4 |
| 2.1. OBJETIVO GERAL | 4 |
| 2.2. <i>Objetivos Específicos</i> | 4 |
| 3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 5 |
| 3.1. INTRODUÇÃO | 5 |
| 3.2. REATOR SEQÜENCIAL EM BATELADA (RSB) | 7 |
| 3.3. BIOMASSA FIXA – BIOFILME | 18 |
| 3.4. REATOR DE LEITO FLUIDIZADO (RLF) | 22 |
| 3.4.1. <i>Reator de biofilme seqüencial em batelada</i> | 24 |
| 4. MATERIAIS E MÉTODOS | 26 |
| 4.1. INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL | 26 |
| 4.1.1. <i>REATOR DE LEITO FLUIDIZADO SEQÜENCIAL EM BATELADA (RLFSB)</i> | 27 |
| 4.1.2. <i>MATERIAL SUPORTE</i> | 29 |
| 4.2. INOCULAÇÃO DOS REATORES..... | 30 |
| 4.3. OPERAÇÃO DOS REATORES | 31 |
| 4.3.1. <i>Operação do Reator 1</i> | 31 |
| 4.3.2. <i>Operação do Reator 2</i> | 34 |
| 4.4. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS | 36 |
| 4.5. MÉTODOS DE CÁLCULOS | 38 |
| 4.5.1. <i>Eficiência de Remoção – ϵ</i> | 38 |
| 4.5.2. <i>Produção Específica de Lodo – Y</i> | 39 |
| 4.5.3. <i>Parâmetros operacionais do RLFSB (ARTAN et al., 2002)</i> | 39 |
| 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES | 41 |
| 5.1. ETAPA 1 – ENSAIOS NO REATOR 1 | 41 |
| 5.1.1. <i>Ensaio com ciclos de longa duração (P1 a P16)</i> | 41 |
| 5.1.2. <i>Ensaio com ciclos de curta duração (P17 a P47)</i> | 43 |
| 5.1.3. <i>Ensaio com ciclos aeróbios (E1 a E6)</i> | 46 |
| 5.1.4. DESENVOLVIMENTO DO BIOFILME | 51 |
| 5.1.4.1. <i>Ensaio preliminares P1 a P47</i> | 51 |
| 5.1.4.2. <i>Ensaio com ciclos aeróbios E1 a E6</i> | 53 |
| 5.1.5. <i>Resumo das condições operacionais e discussão final dos resultados com o reator 1</i> .. | 55 |
| 5.2. ETAPA 2 – ENSAIOS NO REATOR 2 | 56 |
| 5.2.1. <i>Ensaio com ciclos com aeração</i> | 56 |
| 5.2.2. <i>Estudo de estratégias operacionais ciclos com aeração – sem aeração</i> | 60 |

| | |
|--|------------|
| 5.2.2.1. <i>Estratégia 2:2</i> | 61 |
| 5.2.2.2. <i>Estratégia 1:3</i> | 67 |
| 5.2.2.3. <i>Estratégia 1,5:4,5</i> | 72 |
| 5.2.2.4. <i>Estratégias utilizando esgoto doméstico (1:3, 1,5:4,5 e 2:2)</i> | 77 |
| 5.2.3. DESENVOLVIMENTO DO BIOFILME..... | 84 |
| 5.2.3.1. <i>Polissacarídeos, proteínas e produção específica de lodo (Y)</i> | 84 |
| 5.2.3.2. MICROSCOPIA ÓTICA | 86 |
| 5.2.4. RESUMO DAS CONDIÇÕES OPERACIONAIS E DISCUSSÃO FINAL DOS RESULTADOS COM O REATOR 2 | 94 |
| 6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES..... | 96 |
| 6.1. CONCLUSÕES | 96 |
| SOBRE O TRATAMENTO BIOLÓGICO: | 96 |
| 6.2. RECOMENDAÇÕES | 98 |
| REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 99 |
| APÊNDICE | 115 |
| APÊNDICE H - MATERIAL SUPORTE -PET | 157 |
| ANEXOS..... | 158 |

1. INTRODUÇÃO

As atividades humanas, assim como os processos industriais, podem gerar efluentes contendo além da matéria orgânica carbonácea, elevadas concentrações de nutrientes e de metais pesados, que devem ser consideradas quando se realiza o tratamento de águas residuárias, responsáveis pelo aporte desses poluentes aos corpos d'água receptores.

As exigências relativas aos padrões de lançamento de efluentes nos corpos receptores, aliadas à falta de espaço físico, cada vez mais reduzido nos centros urbanos e nas plantas industriais, e à procura pelo menor custo de estações de tratamento de efluentes, impulsionam o desenvolvimento de pesquisas com o objetivo de incorporar novas tecnologias de tratamento.

O tratamento biológico de efluentes, de origem doméstica ou industrial, exige contato dos componentes reativos (substrato, biomassa e oxigênio). Uma maneira de aumentar esse contato, reduzindo assim o tamanho da unidade tratamento, é aumentar a concentração de biomassa no interior dos reatores biológicos. Em reatores convencionais, como no processo de lodos ativados, o aumento da concentração de biomassa fica limitado pela condição de transferência de oxigênio e pelo fato de que, em concentrações mais elevadas, a biomassa não pode ser prontamente separada da fase líquida pela simples ação da gravidade.

Vários métodos de tratamento têm sido utilizados para melhorar o desempenho das estações de tratamento de águas residuárias, incluindo o uso de processos físicos, químicos e biológicos. Dos métodos propostos, os reatores seqüenciais de batelada (RSB) constituem-se em uma importante alternativa de tratamento biológico (KETCHUM JR et. al., 1987).

A utilização de RSB foi incrementada a partir da década de 80, em função do desenvolvimento tecnológico na área de eletromecânica. A facilidade de automação da operação e monitoramento do comportamento do reator em batelada contribuiu para o aumento na estabilidade operacional, economia de energia e redução nos gastos com mão-de-obra. Esses reatores têm sido estudados, nos últimos anos, com fim de remover matéria carbonácea e nutrientes em um único ciclo de operação (ARTAN et al., 2001). Cada ciclo funciona com diferentes fases, quais sejam: enchimento, reação anaeróbia/anóxica, reação aeróbia, reação anóxica, sedimentação, descarga e repouso (para ajuste de ciclos).

Apesar deste potencial a ser explorado, o Brasil ainda possui um número reduzido de estações de tratamento de esgoto doméstico operando com reatores seqüenciais em batelada. Na maioria dos casos, estas estações operam de forma inadequada. Ao mesmo tempo, a capacidade de remoção de matéria orgânica e nitrogênio não é explorada em sua plenitude (LUZ, 1998).

De acordo com Moreira et al. (2002), encontrar a estratégia de operação do reator seqüencial de batelada, de forma a reduzir a concentração de matéria carbonácea e nutrientes de águas residuárias até limites desejáveis para descarte, não é tarefa simples, sendo recomendo a realização de ensaios práticos. Para Katsogiannis et al. (2002), o tempo de duração de cada etapa do ciclo tem considerável influência no desempenho do reator, sendo considerada a variável mais importante de dimensionamento.

Por outro lado, os reatores aeróbios de leito fluidizado trifásico constituem uma alternativa interessante aos processos convencionais de tratamento biológico, principalmente devido às elevadas eficiências de remoção de matéria orgânica. Suas potencialidades vêm despertando o interesse de muitos pesquisadores, indústrias e empresas de saneamento (LAZAROVA e MANEM, 1995; GONÇALVES et al., 2001). Nestes reatores, a biomassa é fixada a um suporte que favorece uma área superficial maior por unidade de volume, alcançado-se desta maneira maiores concentrações de biomassa, com pequena produção de lodo em excesso.

O Programa de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental (PPGEA) da Universidade Federal de Santa Catarina, dando seqüência aos estudos desenvolvidos por Costa (1989), vem realizando pesquisas com o reator de leito fluidizado trifásico aeróbio, destacando-se: Wolff (1997), Barthel (1998), Sales (1999), Grandó-Alves (2000) com tratamento de efluentes têxteis, e Hein de Campos (2001) e Martins (2003) com efluentes urbanos e de restaurante universitário. Cujos resultados evidenciaram que, o leito fluidizado retém uma grande concentração de biomassa no seu interior, possibilita melhor contato da biomassa com o substrato, possui tempo de retenção hidráulica reduzido, grande eficiência na remoção da matéria orgânica dissolvida, baixa produção de lodo e instalações de tratamento compactas.

Uma alternativa promissora para o processo é a utilização combinada de RSB com processo de biomassa fixa, oferecendo vantagens como: são compactos e estáveis, toleram as flutuações de vazão do afluente e cargas de choque, baixa produção de lodos e elevada superfície específica (ØDEGAARD et al., 1994).

Neste trabalho é estudado um novo tipo de RSB: o *reator de leito fluidizado seqüencial em batelada* (RLFSB), que não necessita retrolavagens, nem recirculação da biomassa, e diferente do RSB convencional, dispensa a etapa de sedimentação; objetivando o desenvolvimento de uma nova tecnologia de tratamento, inédita no Brasil, visando combinar as vantagens de reatores RSB com reatores de biofilmes.

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo Geral

Estudar o tratamento biológico de efluentes do restaurante universitário e esgoto doméstico em reator de leito fluidizado seqüencial em batelada (RLFSB), deixando-os dentro dos padrões de lançamento exigidos pela legislação ambiental.

2.2. Objetivos Específicos

Estudar a remoção carbonácea e de nutrientes (nitrogênio e fósforo) no RLFSB

Testar estratégias operacionais de ciclos no reator

Efetuar estudos qualitativos (observações microscópicas) e quantitativos (polissacarídeos, proteínas e produção específica de lodo) do biofilme desenvolvido no reator.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. Introdução

O rápido aumento populacional, em conjunto com o intenso desenvolvimento industrial e comercial, resultaram na poluição dos recursos hídricos, superficiais e subterrâneos, por esgotos, fertilizantes, percolados tóxicos de aterro sanitários, enfim, uma enorme variedade de efluentes industriais e sanitários. O agravamento da situação pelo uso indiscriminado dos sistemas hídricos verificou-se ainda, pelo aumento da demanda do consumo de água, que em último caso, provoca a redução do fluxo de água disponível no meio ambiente para a diluição dos despejos (COMMITTEE ON RESTORATION OF AQUATIC ECOSYSTEMS – EUA, 1992) citado por Vazzoler (1996).

Vazzoler (1996), citando Griffiths (1992), relatou que apenas 10% do total mundial de águas residuárias estão sujeitas a algum tipo de tratamento. O residual de 90% permanece no meio suscetível à autodepuração nos sistemas aquáticos. E como abordado por Glazer & Nikaido (1995) citados em Vazzoler (1996), em termos quantitativos, 10% de todas as bacias continentais no mundo suprem as necessidades de uso da água. Deste valor, são consumidos 70% na irrigação agrícola, 20% nos processos industriais, e o restante pelas atividades domésticas e de agropecuária, entre outras.

Segundo relatório do TCU, no Brasil, mais de 34 milhões de brasileiros ainda não são abastecidos com água potável, o que equivale a 20% da população. Em relação ao esgoto, apenas cerca de 20 milhões de habitantes (12% da população) tem esgoto tratado (CRISTINA, 2003). De acordo com a Agência Nacional de Águas, somente 20% do volume de esgotos coletados no país passam por uma estação de tratamento.

A maioria das estações de tratamento de esgotos no mundo utiliza processos biológicos; os quais, resumidamente, consistem em colocar em um reator os esgotos brutos em contato com uma massa pré-formada de microrganismos. A matéria orgânica presente nos esgotos serve como fonte de carbono e energia para o crescimento microbiológico, ao fim do processo, ela é convertida em tecido celular e produtos finais oxidados, principalmente CO₂ (AMBIO, 2002).

Além da matéria orgânica, um importante número de poluentes inorgânicos contidos nos esgotos pode ocasionar efeitos prejudiciais ao meio ambiente, como é o caso de várias formas de nitrogênio, fósforo e metais pesados.

Os padrões de lançamento de despejos e classificação dos corpos d'água podem direcionar a decisão sobre a necessidade e o nível em que deve ser praticado o tratamento. Nos países da Comunidade Européia, os padrões de lançamento em corpos d'água, relativos ao tratamento de esgotos urbanos, estabelecem uma concentração de nitrogênio total inferior a 15 mg/L para populações entre 10.000 e 100.000 hab. e inferior a 10 mg/L para populações acima de 100.000 hab. (VON SPERLING, 1997).

No Brasil, a Resolução CONAMA N° 20, de 1986, estabelece padrão de lançamento de esgotos para a demanda bioquímica de oxigênio (DBO₅) de 60 mg/L; não existe padrão para a demanda química de oxigênio (DQO), porém esse parâmetro, pela praticidade e rapidez de sua determinação, vem sendo cada vez mais usado no lugar da DBO₅, para caracterização de despejos e monitoramento de estações de tratamento. De acordo com Metcalf & Eddy (1991), uma relação DBO₅/DQO maior ou igual a 0,50 indica efluentes de elevada biodegradabilidade.

Em relação aos nutrientes, a Resolução CONAMA N° 20, de 1986, estabelece padrões de lançamento apenas para amônia total, cujo limite máximo deve ser inferior a 5 mg/L não havendo, até então, a preocupação de se limitar a descarga de nitrogênio total e fósforo total (Tabela 3.1).

Tabela 3.1- Padrões relativos aos nutrientes segundo a Resolução CONAMA N° 20 de 1986

| PARÂMETRO | Padrão para corpo receptor | | | | Padrão de lançamento |
|---|----------------------------|----------|----------|----------|----------------------|
| | Classe 1 | Classe 2 | Classe 3 | Classe 4 | |
| Amônia livre (NH ₃) (mgN/L) | 0,02 | 0,02 | - | - | - |
| Amônia total (mgN/L) | - | - | 1,0 | - | 5,0 |
| Fosfato total (mP/L) | 0,025 | 0,025 | 0,025 | - | - |

Fonte: Von Sperling, 1998.

Na legislação ambiental do Estado de Santa Catarina, o padrão de lançamento de efluentes, tratados ou não, em corpos d'água, quanto a DBO₅ é de 60 mg/L; para os nutrientes, a legislação

especifica nitrogênio total em 10 mg/L e fósforo total em 1 mg/L, para lançamento em lagoas, lagunas e estuários; não havendo a preocupação em se padronizar também o lançamento da amônia, que mesmo em baixas concentrações, pode ser altamente danosa ao meio ambiente.

No entanto, apesar das exigências da legislação no País, poucas estações de tratamento de esgotos contemplam uma etapa destinada à remoção de nitrogênio e fósforo.

3.2. REATOR SEQÜENCIAL EM BATELADA (RSB)

A descoberta do método de lodos ativados no tratamento de águas residuárias é, em geral, atribuída a Arden e Lockett em 1914 (IRVINE e BUSCH, 1979; GORONSZY, 1979; JORDÃO e PESSÔA, 1995). Surpreendentemente, o processo original de lodos ativados era um processo de enchimento-descarga. Arden e Lockett desenvolveram a biomassa aerando primeiramente a água residuária sem prévio tratamento, até que ela ficasse completamente nitrificada. O líquido misturado (“*mixed liquor*”) era então decantado e o líquido clarificado drenado, deixando atrás os sólidos suspensos separados através da decantação.

O primeiro “ressurgimento” notável de interesse em tratamento biológico de batelada ocorreu no início dos anos 50 (NG, 1989), para o tratamento de águas residuárias de indústrias de laticínios. No entanto, esse ressurgimento teve vida curta.

O segundo “ressurgimento” ocorreu nos anos 70, e ainda está, até o momento, em andamento. Muito foi feito por Irvine e seus colaboradores, na investigação do uso do processo biológico de batelada no tratamento de águas residuárias domésticas e remoção de nutrientes (IRVINE e BUSCH, 1979; DENNIS e IRVINE, 1979).

Durante esse período, o interesse em sistema de batelada também chegou a Austrália, o sistema descrito por Goronszy (1979) difere do sistema proposto por Irvine quanto à alimentação da água residuária sem prévio tratamento. O sistema de Irvine é um sistema intermitente de enchimento e descarga, enquanto que o de Goronszy é um sistema com enchimento contínuo, mas com uma descarga intermitente.

Embora, o uso dos reatores com operação intermitente (batelada) tenha se dado há décadas, foi a partir do início da década de 80 que essa tecnologia tornou-se mais difundida e aplicada ao tratamento de uma maior diversidade de efluentes domésticos e industriais. O interesse no RSB foi se firmando e os trabalhos foram estendidos para a remoção de nutrientes (ALLEMAND e IRVINE, 1980; KETCHUM et al.,1987) e para tratamento de resíduos perigosos (HERZBRUN et al., 1985; SUTTON,1988, IRVINE et al.,1997). No Sudeste da Ásia, o primeiro uso registrado do RSB aconteceu em 1985, quando NG e colaboradores fizeram suas investigações e registraram a bem sucedida aplicação do RSB no tratamento de água residuária de suinoculturas e no tratamento de efluentes de refinaria de óleo de palmeira (NG, 1989). Esses sistemas parecem-se mais com o RSB original de Irvine, uma vez que tanto a descarga quanto à alimentação são processos intermitentes.

No Brasil, a SABESP aplicou o processo pela primeira vez para o tratamento do esgoto sanitário da cidade de Paranapuã (1989), obtendo-se excelentes resultados (KAMIYAMA, 1991). Poucas, porém são as estações funcionando como Reator Seqüencial em Batelada (RSB). De Lucca e Faccin (1991) operaram um RSB tratando as águas residuárias do campus da Universidade Federal do Rio Grande do Sul, onde os dados obtidos de remoção de matéria orgânica confirmaram os valores internacionais de eficiência de remoção de DBO.

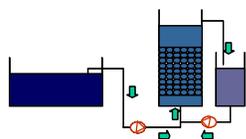
Outros estudos se sucederam, entre eles, Monteiro Barros, na UFRJ, que publicou em maio de 1994, estudo sobre o tratamento de esgoto do tipo SBR, onde faz rastreamento histórico do emprego desta tecnologia para tratamento de efluentes domésticos e industriais. (LUZ 1998)

O processo de batelada vem sendo cada vez mais aplicado e pesquisado com profundidade notadamente na Austrália, no Japão e nos Estados Unidos, sendo a maior das instalações existentes com capacidade para vazão máxima de 22 milhões de galões por dia (cerca de 83.000 m³/dia) nos EUA (LUZ, 1998).

De modo geral, o Reator Seqüencial em Batelada (RSB) é um sistema biológico de tratamento de águas residuárias, constituído por um ou mais reatores, onde se realizam, seqüencialmente, em uma mesma unidade, a oxidação da matéria carbonácea, a remoção de nutrientes e a separação sólido-líquido através da sedimentação (SOUSA e FORESTI, 2001).

A manipulação de um RSB foi adaptada para vários ciclos. Segundo Irvine et al. (1983), nesse tipo de tratamento biológico, cada reator tem um ciclo operacional (batelada) composto de,

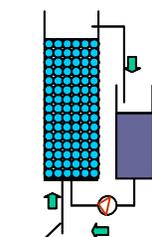
pelo menos, cinco períodos distintos: enchimento, reação, sedimentação, descarte do sobrenadante e repouso, representados respectivamente nas figuras 3.1 a 3.5.



Enchimento: entrada do esgoto bruto ou decantado no reator a ser tratado.

Figura 3.1 – O reator no processo de enchimento.

Nesta fase o esgoto é admitido sem aeração, ou o aerador é ligado, elevando o oxigênio dissolvido. Inicia-se a remoção da DBO e a nitrificação. Vários esquemas de enchimento têm sido registrados na literatura, mas, de maneira geral, é recomendado um enchimento estático sem mistura entre o lodo e o afluente (SILVERSTEIN e SCHROEDER, 1983). Isto significa que, para a maior parte do enchimento, nem aeração e nem mistura mecânica devem ser fornecidas. A mistura pode ser iniciada quando o reator estiver com 80% de seu volume, de forma a produzir uma alta taxa de fermentação que permite às bactérias floculantes superar as espécies filamentosas, prevenindo o “intumescimento” (*bulking*) do lodo (NG, 1989).

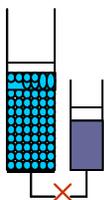


ar

Reação: O oxigênio dissolvido é mantido alto.

Figura 3.2- Fase onde o reator é aerado e ocorre reação.

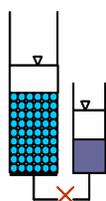
Ocorre a remoção da DBO e a nitrificação. Quando o objetivo do tratamento é a nitrificação seguida da desnitrificação, a aeração deve ser interrompida durante a reação, para que prevaleçam condições anóxicas durante um período de tempo (cerca de uma hora), depois do qual recomenda-se um pequeno período de aeração, para que se consiga eliminar as bolhas de gás nitrogênio e, com isso, ajudar a sedimentação (SILVERSTEIN e SCHROEDER, 1983; METCALF & EDDY, 1991).



Sedimentação: A aeração é desligada.

Figura 3.3- O reator está em repouso.

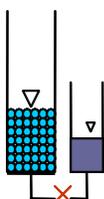
Os sólidos suspensos provenientes dos períodos do tratamento anterior irão sedimentar após o desligamento dos equipamentos de mistura e aeração.



Esvaziamento: O efluente tratado é retirado do reator, dando início a um novo ciclo.

Figura 3.4 – O efluente é retirado do reator.

O líquido sobrenadante será drenado através de sistema apropriado.



Repouso: após a drenagem do líquido sobrenadante.

Figura 3.5 – Repouso do reator

O lodo remanescente permanecerá em repouso até o próximo início do ciclo de operação.

De acordo com Metcalf & Eddy (1991), a porcentagem do tempo de cada período, em relação à duração do ciclo total, pode ser: enchimento = 25%, reação = 35%, sedimentação = 20%, decantação = 15% e repouso = 5%.

Moreira et. al. (2002) recomendam a realização de ensaios práticos a fim de encontrar a estratégia de operação de reator seqüencial de batelada, de forma a reduzir a concentração de material carbonáceo e nutrientes de águas residuárias até limites desejáveis para descarte.

Para Katsogiannis et al. (2002), o tempo de duração de cada etapa do ciclo tem considerável influência no desempenho do reator, sendo considerada a variável mais importante de dimensionamento. Ketchum JR (1997) afirma que o projetista ou o futuro operador de uma estação de RSB pode facilmente variar os tempos alocados para cada fase, modificando o escopo do tratamento. Durante qualquer uma das fases podem ocorrer diferentes reações, dependendo do objetivo particular de um tratamento.

A classificação de um sistema RSB distingue-se devido a operação com alimentação contínua ou cargas intermitentes. Primeiramente o líquido é inserido no reator atingindo seu volume máximo em um determinado período. A mistura e aeração vêm promover o crescimento da biomassa, reações de oxidação e a reação microbiana de nitrificação e desnitrificação. A sedimentação promove a clarificação. Durante o período de esvaziamento, o excesso de biomassa pode ser removido do tanque e manter uma fração restante de sólido residente por um certo tempo.

As principais vantagens do processo RSB são:

- Economiza energia, por permitir o controle sobre os períodos dos ciclos e da aeração em função da entrada de cargas orgânicas. Este tipo de sistema pode ter ampla aplicação para esgotos domésticos e indústrias, e pode ser indicado para pequenas cidades ou mesmo para grandes cidades se o tratamento for feito setorial. Tem a grande vantagem na construção que pode ser feita em módulos, sendo o seu custo 17% inferior ao encontrado para os lodos ativados convencionais, assim como economiza cerca de 10% na energia elétrica (KAMIYAMA e TSUTIYA, 1992).
- Permite a programação dos ciclos operacionais para o nível de tratamento desejado. (AMBIO,2002)
- Apresenta melhor performance, por permitir a equalização das vazões e das cargas orgânicas (AMBIO, 2002).

- Realiza remoção biológica do fósforo, do nitrogênio e da matéria orgânica, absorve melhor as variações de vazões e de cargas orgânicas, flexibilidade de operação (TORRIJOS e MOLETTA, (1997) apud CASTELLÓ et al.(2002).
- A operação do reator em batelada incorpora etapas de desnitrificação, recuperando parcialmente a energia consumida, além de remover o nitrogênio do esgoto (KAMIYAMA, 1991).
- É sempre desejável que um projeto seja o mais simples possível, reduzindo a necessidade de especialistas, de número de plantas, etc. Geralmente, o processo de batelada é normalmente composto apenas por tanque único ou múltiplo, podendo ser de diversos formatos, desde que permitam uma boa mistura. Os equipamentos são mais simplificados. A simplicidade permite a instalação de unidades menores, dispensando assim elevatórias e emissários de grande porte (KAMIYAMA, 1991).

Uma desvantagem é que grande parte do carbono de entrada é removida na fase aeróbica e, conseqüentemente, é necessária a adição de uma fonte de carbono externa (usualmente metano), para a desnitrificação. Atualmente, algumas pesquisas vêm sendo conduzidas no uso de alternativas (outro que metano) e menos consumo de carbono pela desnitrificação (THALASSO et al., 1997; VALOKITA et al., 1996). Várias pesquisas vêm demonstrando a capacidade do lodo em armazenar carbono e imediato uso para desnitrificação (ALLEMAN e IRVINE, 1980; HOEPKER e SCHROEDER, 1979; SILVERSTEIN e SCHROEDER, 1983).

Conceitos conservadores a respeito da remoção de nitrogênio colocam como impossível acontecer nitrificação e a desnitrificação simultaneamente, uma vez que a nitrificação ocorre na presença de oxigênio, enquanto que a desnitrificação se verifica na ausência de oxigênio molecular. Neste caso, seria necessário um sistema com dois tipos de biomassa (MUNCH et al., 1996). Contudo, o fenômeno da nitrificação e desnitrificação simultânea tem sido descrito na literatura, revelando que esses dois processos podem ocorrer em um mesmo reator (POCANA & KELLER, 1999). Segundo SURMACZ-GÓRSKA et al. (1997) e KATSOGIANNIS et al. (2003), uma otimização possível do processo de remoção de nitrogênio consiste na diminuição do fenômeno da nitrificação e desnitrificação simultânea, ou seja, inibindo o crescimento das *Nitrobacter*, bactérias responsáveis pela nitratação, eliminando a segunda etapa do processo de nitrificação. Conseqüentemente, a

primeira fase do processo de desnitrificação também seria eliminada, existindo apenas a redução de nitrito para nitrogênio gasoso. Influenciam também o processo de desnitrificação, o tipo de fonte de carbono e a relação DQO/N. Bae et al.(1997) apud CALLADO et al.(2000), citam que as relações teóricas DQO/N via nitrito e nitrato são 1,72 e 2,86, respectivamente.

Através dos tempos foram desenvolvidos diferentes alternativas de tratamento para a remoção de nutrientes, utilizando-se sistemas químicos, físicos e biológicos (DURÁN,1997). A fundamental diferença entre os processos é a forma que se pretender designar o tratamento, se é oxidação do nitrogênio ou remoção. O processo biológico oferece a conversão da biodegradabilidade orgânica do nitrogênio para amônia, e o processo físico-químico dissolve nitrogênio orgânico essencialmente intocado. O processo biológico objetiva a oxidação do carbono, oxidação do nitrogênio e redução do nitrogênio. O processo físico-químico foi atrativo para alguns projetos por causa do pouco consumo de energia, mas o processo deparou -se com o temor industrial por causa da toxicidade da água e a determinação da reação cinética, sendo necessário mais investigações (ENVIRONMENTAL PROTECTION AGENCY,1993).

Katsogiannis et al. (2003) observaram a remoção do nitrogênio sem a formação de nitratos (etapa de nitratação), usando reator RSB com múltiplas fases aeróbia/anóxica. Os autores relatam algumas vantagens apresentadas por vários pesquisadores, nesse processo: (1) redução de 40% da DQO durante a desnitrificação; (2) taxa de desnitrificação 63% mais elevada; (3) redução de 25% da demanda de oxigênio para a nitrificação parcial (oxidação da amônia a nitrogênio nitrito) comparada à oxidação completa para nitrato; e (4) 300% menor a taxa de produção específica de lodo durante o crescimento anóxico (TURK e MAVINIC, 1986, 1987; ABELING e SEYFRIED, 1992, citados por KATSOGIANNIS et al., 2003).

Uma condição fundamental para a remoção biológica do fósforo é a existência de estágios anaeróbios/aeróbios. Sob condições anaeróbias, bactérias bio-P relargam os polifosfatos armazenados nas suas células, na forma de ortofosfatos (PO_4^{3-}) e convertem a DQO biodegradável a poli-hidroxi-alcanoatos, principalmente na forma de poli-hidroxi-butilatos (PHB), que são então armazenados nas células. Sob condições aeróbias (ou anóxicas), os PHB são utilizados como fonte de carbono orgânico e de energia para o armazenamento dos polifosfatos, resultando na remoção biológica do fósforo (HENZE et., 1995).

Nos reatores RSB é necessário determinar os tempos de funcionamento das distintas etapas envolvida no processo, ou se for necessário um ajuste dos tempos de operação em função do tipo de água residuária a tratar. As necessidades do tratamento podem determinar não somente os tempos de cada etapa, mas também as estratégias de operação. A aparente complexibilidade operacional que poderia apresentar este sistema se resolve através de suas vias fundamentais: adequação do mesmo ao esquema de produção da planta industrial e mediante a automatização do funcionamento Brenner (1997) apud CASTELLÓ et al.(2002).

Irvine e Bunsh (1979) citados por Pires e Figueiredo (1998) estabeleceram que o suprimento de oxigênio afeta diretamente a concentração de carbono orgânico durante os períodos de enchimentos e reação. Schroeder (1982) recomenda condições anóxicas durante o período de enchimento. Esta condição é atingida com a ausência de mistura e aeração, durante o período de enchimento, até o volume líquido atingir 80 % do volume total. A partir desse ponto a mistura poderia ser iniciada de forma lenta. Quando o tanque estiver completo, a aeração é ligada. O período de reação pode ser curto, 15 minutos para a remoção de matéria orgânica, mas períodos maiores são necessários para um processo mais estável. Um ciclo típico de SBR consistirá de: enchimento = 2 horas; reação = 2 horas; sedimentação = 1 hora; e repouso = 1 hora.

Herzburn et al. (1985) operaram simultaneamente nove reatores em escala de bancada durante um ano, sob diferentes condições (com simulações de temperaturas entre 6°C e 25°C) e demonstraram que o RSB é uma excelente alternativa para o sistema de lodos ativados convencional, tanto no tratamento de águas residuárias municipais como no tratamento de resíduos perigosos (fenol). Normalmente na primeira semana inicia-se uma fase de estabilização, a qual só se completa após um período de quatro a oito semanas. Neste período de estabilização, os dados obtidos sofrem uma variação muito grande, sendo comum considerar, para efeitos de análise, somente os dados obtidos a partir da sexta semana.

Andreottola et al. (2001) estudaram um sistema RSB usando um reator em escala experimental de 3,5 L, com temperatura fixa de 20°C, o pH foi regulado não muito ácido e nem básico, a mistura obtida por um agitador magnético com difusores de ar promoveram a nitrificação e desnitrificação, com um controle *on-line* que permitia o desenvolvimento de técnicas e estratégias operacionais capazes de otimizar o tratamento em termos de eficiência e custos. Usando os parâmetros de controle ORP (Potencial de Óxido-Redução) e OD. O período não otimizado levou um

tempo total de 12 horas, houve uma remoção no nível de amônia de 99%; nos ciclos otimizados, de 3 horas aeróbio e anóxico, desenvolvendo estágio de 6 horas, a eficiência de remoção de nitrogênio também foi alta de 99%.

Dornellas e Figueiredo (1993) usaram um tempo de enchimento fixo de 2 horas e diferentes tempos de reação, variando de 0 a 4 horas. Durante o período de enchimento, o líquido no reator foi agitado e foi aplicada aeração. Outros períodos foram: sedimentação = 0,5 hora, drenagem = 0,5 hora, e repouso = 1 hora. A duração total dos ciclos foi de 4 a 8 horas. Foram utilizadas três concentrações de sólidos suspensos voláteis: 2000, 2500 e 3000 mg/L. Foi observado que a eficiência do processo é função do tempo de reação e que com o aumento desse tempo a eficiência melhora. Os autores então verificaram que a eficiência do processo será função da relação entre os tempos de reação e de enchimento, observando que quanto maior esta relação melhor será a eficiência do sistema na remoção de DQO e DBO.

Cybis e Horan (1995) investigaram o uso potencial de medições “on line” de pH, potencial redox e OD, para o monitoramento dos processos de nitrificação e desnitrificação em RSB, sendo que o parâmetro operacional que se mostrou mais confiável foi o pH.

Igualmente, Cybis e Horan (1997) desenvolveram um experimento em um RSB de bancada, operado para realizar a nitrificação e a desnitrificação, durante 60 dias, com o intuito de comprovar a relação entre a população de protozoários e a eficiência do tratamento. Foi observado que o aparecimento de espécies de metazoários é bom indicador de estabilidade na performance do sistema e na qualidade do efluente. Durante o estudo ocorreram variações cíclicas características na composição e densidade das espécies.

Ketchum JR (1997) utilizando ciclos de 1-4 horas, concluiu que o sistema de remoção de nutrientes no RSB é um processo estrutural complicado, envolvendo diferentes associações microbianas em diferentes condições. A qualidade do efluente pode impossibilitar o uso de programas de simulação.

Katsogiannis et al (2002) utilizaram várias estratégias em um reator de escala de laboratório, usando fonte de carbono endógeno para desnitrificação, mostraram que o RSB é flexível com boa eficiência ($77 \pm 2,5\%$ no caso de 8 horas de tempo de ciclo aeróbio/anóxico, taxa de 1:3).

Okada et al. (1990) operaram um RSB em escala real no Japão. A concentração de OD sofria variações diurnas levando a ocorrência simultânea da nitrificação e desnitrificação em

regiões distintas do reator, com valores de OD distintos. Esta variação de OD também levou a uma remoção de fósforo no reator. O aumento da carga aplicada ao reator favoreceu a desnitrificação, manteve o nível de remoção de DBO, mas prejudicou a remoção de fósforo devido a uma produção de lodo insuficiente.

A identificação de parâmetros de controle que podem monitorar *on-line*, e que, além de se relacionar com o funcionamento do reator, está dentro das possibilidades de instrumentação de uma planta de tratamento, é relativamente simples. Entretanto, para sua implementação efetiva é necessário o conhecimento dos fenômenos que ocorrem nas distintas etapas do processo e a formulação de modelos simples que são ferramentas para o projeto, a operação e o controle (CASTELLÓ et al., 2002).

Segundo NG (1989), a necessidade de uma estratégia de controle particular depende das dificuldades que o sistema poderá enfrentar. Exemplos destas dificuldades são:

- A necessidade óbvia de manter toda a água residuária dentro dos tanques de reação, para evitar transbordamentos;
- A concentração de oxigênio dissolvido no reator deve exceder 1,5 mg/L para que ocorra a nitrificação e deve ficar abaixo de 0,5 mg/L para a desnitrificação;
- Deve haver aeração suficiente durante a reação para que se obtenha uma remoção de substratos orgânicos;
- Em caso de presença de substâncias inibidoras de algum processo do tratamento biológico, o enchimento deve ser feito de forma a manter suas concentrações abaixo do limite de tolerância do sistema.

Yu et al. (1997) verificaram em seus estudos que o monitoramento dos valores de ORP e pH pode detectar com precisão os finais da nitrificação e da desnitrificação, podendo ser usados como parâmetros de controle do processo. Tanto os valores de “break-point”, “set-point” e “set-time” nas curvas de ORP e pH foram utilizados para estabelecer a estratégia de controle da estação. O controle em tempo real das operações, baseado nos valores de pH e ORP, exibiu uma performance melhor que a operação com tempos pré-fixados, reduzindo o tempo total do ciclo em 35% e economizando 42% de energia na fase de aeração. A “operação em tempo real” para remover

fósforo e nitrogênio teve uma eficiência maior de remoção obtida com o processo de tempos pré-fixados.

Cybis e Pickbrenner (2000) em seus estudos com RSB com períodos diferenciados de enchimento e reação, comprovaram a importância de utilizar um sistema automatizado de monitoramento para a observação do tratamento biológico conjuntamente com a característica seqüencial do reator.

Rim et al. (1997), numa estação de tratamento funcionando em sistema de RSB em escala real, obtiveram remoção de 70% de nitrogênio total e de 77% de fósforo total. O RSB operava com 3 ciclos distintos (de 6 horas, de 8 horas e de 12 horas), com uma reação anaeróbia seguida de uma aeróbia. O ciclo de 8 horas foi o que apresentou resultados melhores, com remoções de 89% de $PO_4\text{-P}$ e 73% de P total; 90% de $NH_4\text{-N}$ e 65% TKN; a amônia tinha concentrações constantes sob condições anaeróbias e tendia a zero sob condições aeróbias; os nitratos eram praticamente desnitrificados no início da fase anaeróbia e removidos em mais de 90%, em 1 hora.

Nos estudos desenvolvidos por Thayalakumaran et al. (2003), com RSB, no tratamento de efluentes de abatedouros bovinos, com ciclos de 6 horas, utilizando as seguintes relações:

- $DBO_5 / DQO = 0,5$
- $DQO / NTK = 9$
- $DQO / Pt = 46$

os resultados mostraram eficiências de remoção superiores a 99% para DQO solúvel, amônia e fósforo total. Os autores ressaltam que para conseguir desnitrificar, a concentração de OD deve ser muito baixa, concentrações da ordem de 0,50 mg/L mostraram taxa iguais para a nitrificação e para a desnitrificação; e para evitar a ocorrência de filamentosos e aumentar a taxa de degradação das gorduras, o OD deve ser mantido acima de 4,0 mg/L na fase aeróbia.

Bernades e Klapwijk (1995) avaliaram a performance de um RSB com nitrificação, desnitrificação, remoção de fósforo e oxidação de carbono, para definir uma estratégia de modos operacionais que otimizasse este processo. Seus estudos concluíram que a concentração de substrato rapidamente assimilável no afluente é muito importante para boas eficiências dos processos de remoção biológica de nutrientes, sendo fator limitante para a remoção de fósforo.

3.3. BIOMASSA FIXA – BIOFILME

A aplicação de processos com biomassa fixa (biofilme) na área de tratamento de efluentes está se tornando cada vez mais popular, devido às suas vantagens com relação aos processos tradicionais: alta concentração de biomassa, que possibilita operar com maior carga; a redução de dimensões das instalações de tratamento; e a eliminação das etapas de separação e reciclo de sólidos (LAZAROVA e MANEM, 1994).

O biofilme pode ser definido como um conjunto de microrganismos e de produtos extracelulares que se aderem sobre um suporte sólido, formando uma camada volumosa e espessa, com uma estrutura externa não totalmente regular e uniforme. É composto por $91 \pm 5\%$ de água; $2,5 \pm 0,5\%$ de material volátil e $6,7 \pm 4,8\%$ de matérias não voláteis. Sua composição química, tanto inorgânica, quanto orgânica, é função da composição do substrato (COSTA, 1989).

A composição do biofilme consiste de células bacterianas, polímeros extracelulares produzidos pelos microrganismos, produtos de lise e hidrólise, matéria orgânica aderida e alguns compostos inorgânicos. A composição determina propriedades importantes do biofilme, tais como força de adesão, elasticidade, capacidade de adsorção, etc. (NIELSEN et al, 1997).

Os biofilmes podem ser encontrados em qualquer sistema (natural ou artificial), expostos a um ambiente líquido não estéril (BRYERS, 1987 citado por ARAÚJO e CAMPOS, 1997).

Outro aspecto importante é que o biofilme é um ecossistema, no qual coabitam muitas espécies de microrganismos, as quais são sujeitas a interações, tais como simbiose ou competição por espaço e nutrientes. Isto é devido as constantes variações ambientais dentro do biofilme, como concentrações de substratos, de receptores de elétrons e de produtos intermediários (BISHOP, et al., 1995, BISHOP, 1997 WANNER e REICHERT, 1986).

O grande interesse em entender a formação de biofilmes, tanto no que diz respeito a sua utilização, como a sua distribuição, se deve ao fato de que, em geral, a biomassa, quando aderida, apresenta maior atividade, ou seja, apresenta maior taxa de crescimento e de utilização do substrato, em relação à biomassa livre (COSTA, 1989).

Este fenômeno é, em algumas vezes, atribuído as modificações fisiológicas sofridas pelas células aderidas; em outras, ao favorecimento de trocas no ambiente celular, em razão do aumento

da concentração local de nutrientes e enzimas; ou ao efeito seletivo da matriz polimérica extracelular do biofilme em relação a substâncias inibidoras ou tóxicas (BARTHEL, 1998).

Segundo Belkhadir (1986), o biofilme apresenta duas camadas: na primeira camada mais externa, as bactérias têm um metabolismo aeróbio, devido a disponibilidade de O₂; na segunda camada, sem oxigênio, as bactérias têm um metabolismo anaeróbio.

Os mecanismos de formação do biofilme, a estrutura molecular que o constitui e as interações entre os microorganismos e o suporte, têm sido extensivamente estudados (NGUYEN, 1989). O crescimento e a formação do biofilme é fator importante para a operação bem sucedida de um reator de biomassa fixa. Diferentes fatores têm sido mencionados em afetar a formação e o crescimento do biofilme, como por exemplo: características e concentração de água residuária, tipo de meio suporte, hidrodinâmica do reator, condições operacionais e adição de nutrientes, etc. (CHENG et al., 1997).

As condições de crescimento afetam a estrutura do biofilme, porosidade, distribuição da densidade, distribuição de microrganismos e transporte de massa (BEYENA e LEWANDOWSKI, 2000).

Muitos fenômenos físico-químicos e biológicos influenciam a adesão bacteriana. A força de adesão, entre o biofilme e o suporte, foi definida como o trabalho requerido para remover o biofilme por unidade de área do suporte. A força de adesão encontrada aumenta com a velocidade do fluido em que o biofilme cresceu, com um valor típico de aproximadamente 0,2 J/m² (Chen et al., 1998 citados por GRANDO ALVES, 2000).

A adesão dos microrganismos ao suporte está também associada com a produção de polímeros extracelulares, em particular os polissacarídeos (TRINET et al. 1991). Acredita-se que os polímeros extracelulares atuam como agentes de cimentação para reforçar a ligação dos microrganismos à superfície sólida (TAVARES, 1992).

O desenvolvimento do biofilme em uma superfície inerte ocorre em cinco fases distintas:

- Na 1ª fase, os microrganismos suspensos em meio nutriente são transportados à superfície do meio suporte via diferentes mecanismos, tais como: movimento *Browniano*, atração eletrostática, forças de *Van der Waals*, entre outras. Uma vez fixados, os microrganismos requerem tempo para aclimatar-se em seu novo ambiente, antes utilizam os substratos já

adsorvidos no meio suporte. Então, existe uma fase entre a fixação inicial dos microrganismos e a acumulação subsequente do biofilme no meio suporte.

- Na 2ª fase (logarítmica), os microrganismos crescem em uma determinada taxa para seu tempo de geração e sua capacidade de processar o substrato. No final desta fase, a superficial total está coberta pelo biofilme e a espessura do biofilme é alcançada.
- Na 3ª fase, o crescimento do biofilme, é essencialmente linear e o biofilme continua a se acumular somente sobre o suporte.
- Na 4ª fase, os microrganismos dentro do biofilme têm o substrato circundando-os e o crescimento de novas células é compensado pela morte das velhas. Porções de biofilmes são desprendidas do meio suporte e levadas no fluxo fluido.
- A 5ª fase é representada pelo período em que a taxa de desprendimento do biofilme é substancial, resultando em decréscimo de massa e espessura do biofilme.

O desprendimento do biofilme é o arrastamento de células microbianas e células produtoras de biofilme junto ao líquido, e é o processo primário que equilibra o crescimento de células no biofilme. O desprendimento é causado por processos contínuos e descontínuos, distinguindo-se: abrasão, erosão e tombamento (NICOLELLA *et al.*, 1997).

A fixação de microrganismos sobre uma superfície é resultante de fenômenos físicos, químicos e biológicos, sendo que os principais fatores que afetam sua formação e manutenção são:

- *Característica do suporte*: as propriedades das superfícies dos sólidos são importantes na formação inicial do biofilme. Entre elas podem-se destacar: carga da superfície, rugosidade e hidrofobicidade (BERGAMASCO, 1996). Alguns autores consideram a rugosidade como a mais importante (VAN LOODRECHT *et al.*, 1995), porque ela aumenta a superfície de fixação e protege do desprendimento provocado por cisalhamento, de modo a manter os microrganismos na superfície o tempo necessário para ocorrer a adesão irreversível, e possibilita, assim a formação do biofilme.
- *Espécie de microrganismos*: a formação de biofilme é função dos tipos de microrganismos presentes, devido à propriedade de superfície celular e da capacidade de produzir polissacarídeos extracelulares, que são os responsáveis por mantê-los agregados (TRINET *et al.*, 1991).

- *Características da fase líquida:* as características da fase líquida que afetam a formação do biofilme, tanto podem estar relacionadas com sua composição/concentração (composto orgânico e inorgânicos), como com suas condições ambientais, pH e temperatura, pois ambos interferem tanto no crescimento microbiano, como na produção de polissacarídeos extracelulares (NGUYEN, 1989).
- *Condições hidrodinâmicas:* a formação e manutenção do biofilme são influenciadas pelo balanço entre adesão, crescimento e desprendimento das células. O processo de desprendimento está intimamente ligado às forças de cisalhamento e ao atrito (resultado das colisões entre partículas) que são função da hidrodinâmica do processo (COSTA, 1989).

Estes mesmos fatores também afetam a estrutura do biofilme: densidade, porosidade e forma da superfície (VAN LOOSDRECHT et al., 1995).

Para Ellwood et al. (1982) apud Keevil (2003), os biofilmes constituem-se em um complexo consórcio de bactérias, fungos e protozoários crescendo nas interfaces líquido/líquido, ar/sólido, sólido/líquido ou ar/sólido/líquido. Keevil (2003) reforça que esse complexo consórcio microbiano forma uma estrutura que consiste em uma fina camada de base e diversas micro-colônias com centenas de microns de espessura acima do material suporte.

Além de bactérias, os biofilmes apresentam protozoários carnívoros, como os ciliados livres e ciliados fixos ou pedunculados, que se alimentam de bactérias, outros protozoários e matéria orgânica dissolvida e particulada, contribuindo para a remoção dos sólidos suspensos. Os ciliados fixos são muito parecidos com os ciliados livres, mas são fixados no floco ou material suporte, possuindo hastes rígidas ou contrativas; alguns formam colônias, do tipo *Vorticellas* sp, que são relativamente frágeis à introdução de compostos tóxicos e a falta de oxigênio. Sua presença em processos biológicos indica média a boa eficiência de depuração (CANLER et. al., 1999). Para Fried & Lemmer (2003), eles são capazes de mudar rapidamente suas comunidades em função de mudanças das condições operacionais da estação de tratamento.

Atualmente muitos estudos têm sido conduzidos sobre o monitoramento dos biofilmes (FLEMMING et al, 2003; LEWANDOSWSKI & BEYENAL, 2003). Diversas técnicas de medidas têm sido utilizadas na quantificação e caracterização do biofilme: microscópio eletrônico de varredura, câmeras que usam o infra-vermelho, hibridização *in situ*, espectroscopia fotoacústica, etc. (XAVIER et al., 2003; TINHAM & BOTT, 2003; NODA et al., 2003; SCHMID et al., 2003). Para Lewandowski &

Beyenal (2003), o principal problema no monitoramento dos biofilmes é a interpretação dos dados. A heterogeneidade dos biofilmes causa variações dentro dos próprios biofilmes.

Fried & Lemmer (2003) estudaram a dinâmica e a função de ciliados em reatores de biofilme seqüencial em batelada (RBSB), observando a sucessão de comunidades do biofilme, com ênfase especial para os ciliados, durante 12 meses. As espécies *Epistylis* cf. *coronata* e *Opercularia asymmetrica* foram as mais abundantes. Para os autores, os ciliados influenciaram diretamente a formação do biofilme, com a presença de grandes colônias em forma de “árvores”, e também produzindo correntes intensas de água devido a sua atividade na alimentação, levando os nutrientes para o interior do biofilme. Os ciliados, em particular os maiores, são facilmente removidos em sistemas turbulentos, como as retrolavagens, porém ficou evidente que os ciliados pedunculados conseguem proteger-se da abrasão através da retração para dentro do próprio biofilme (exemplo: *Vorticella*, *Carchesium*) ou pela formação de grandes colônias que aderem ao material suporte. Concluindo que, o monitoramento do desenvolvimento do biofilme, em estações de tratamento de águas residuárias, deveria considerar o impacto da presença dos protistas tais como os ciliados.

Hein de Campos (2001) e Martins (2003) acompanharam o desenvolvimento do biofilme em reator de leito fluidizado trifásico, com funcionamento em contínuo, através da microscopia ótica e microscopia eletrônica de varredura (MEV), evidenciando a presença massiva de ciliados livres e fixos no biofilme nos períodos de bom funcionamento do reator. Os autores concluíram que o uso dessas técnicas é importante para o controle operacional das estações de tratamento de esgotos.

3.4. REATOR DE LEITO FLUIDIZADO (RLF)

O leito fluidizado biológico é uma tecnologia vem sendo usada desde 1970 para tratamento de águas residuárias industriais. A partir daí, foram construídas plantas nos Estados Unidos e na Europa e muitos reatores em escala laboratorial e piloto passaram a ser estudados (GONÇALVES et al., 2001).

Segundo Poncelet et al. (1985), citados por Wolff (1997), a fluidização de um sólido por um líquido consiste em manter contato entre duas ou mais fases físicas distintas, de composição química diferente. Quando o leito opera com sólidos mais densos que a água, as velocidades são iguais à velocidade de sustentação da partícula. No entanto, quando opera com partículas menos densas que a água, denomina-se leito fluidizado inverso, porque as partículas são empurradas para baixo com a força do líquido (LAZAROVA e MANEM, 1994).

Os reatores biológicos de leito fluidizado podem ser de dois tipos: bifásicos e trifásicos. Os modelos hidrodinâmicos para a fase líquida em bioreatores de leito fluidizado são: tipo pistão, para reatores bifásicos, e mistura completa, para trifásicos.

Os reatores de leitos fluidizados bifásicos têm sido limitados por inúmeros problemas, tais como: controle de expansão do leito e espessura do biofilme, mecanismo de distribuição do afluente e sistema de saturação do oxigênio (LAZAROVA e MANEM, 1993). De acordo com Tavares (1992), os reatores bifásicos têm limitações de altura útil do reator para transferência de oxigênio e crescente perda de carga que pode levar a colmatação do leito.

O processo de leito fluidizado trifásico por sua vez, utiliza simultaneamente a injeção de gás e líquido, melhorando a transferência líquido/biofilme e induzindo alta força de cisalhamento que controla a espessura do biofilme (CHANG e RITTMANN, 1993).

Nos leitos fluidizados trifásicos, a força aplicada para fluidização pode decorrer da velocidade do gás ou do líquido. A vantagem dos reatores de leitos fluidizados trifásicos é a grande área de transferência de massa entre as fases e a não colmatação do leito, esta última muito comum nos processos com leito fixo. Porém, a espessura do biofilme e o sistema de distribuição e saturação de oxigênio dificultam sua aplicação em escala industrial para os processos aeróbios (LAZAROVA & MANEM, 1994).

Desta forma, muitos trabalhos vêm sendo desenvolvidos no sentido de buscar meios suportes com densidade próxima da água, fazendo com que a densidade da partícula permita uma distribuição homogênea das biopartículas no leito fluidizado (BERGAMASCO, 1996; MARTINS, 2003).

Os leitos fluidizados têm sido utilizados na atualidade para tratamento da poluição carbonácea e também para a remoção do nitrogênio. Vários estudos e instalações em escala real são relatados na literatura (GONÇALVES et al, 2001).

Em escala piloto, os estudos desenvolvidos na UFSC, utilizando diferentes efluentes (têxteis, restaurante e sanitários) e diferentes materiais suporte (PVC, PET, OSBG), mostraram excelente desempenho desse tipo de reator, que pode ser resumido em (WOLFF, 1997; GRANDO-ALVES, 2000; HEIN DE CAMPOS, 2001; MARTINS, 2003):

- Os RLF são capazes de tratar cargas orgânicas aplicadas (COV) variando entre 74 kg DQO/m³.d a 13 kg DQO/m³.d, com tempo de retenção hidráulica (TRH) compreendido entre 22 e 42 minutos;
- A produção específica de lodo é baixa, ficando entre 0,20 mgPN/mgDQO_{removida} e 0,50 mgPN/mgDQO_{removida};
- O biofilme desenvolvido é denso e coeso ao suporte, apresentando diversidade de microrganismos.

3.4.1. Reator de biofilme seqüencial em batelada

A opção de combinação de vantagens da tecnologia do RSB com sistema de biomassa fixa com um Reator de Biofilme de Leito Móvel (“Moving Bed Biofilm Reactor” MBBR) é uma das mais interessantes. De fato o sistema MBBR permite o tratamento de altas cargas orgânicas, a redução de um requerido volume para o tratamento biológico e a possibilidade de evitar o intumescimento (RUSTEN et al., 1999). Esta configuração foi desenvolvida por Brinke-Sieferth (1998), citado por Orhon et al. (2002), com o nome de “Biofilm-filter-sequencing batch reactor” (BFSBR). O sistema é operado como leito móvel, leito fixo e filtro, fornecendo assim grande flexibilidade operacional nas variações da qualidade do efluente e nível do tratamento para águas residuárias em áreas sensíveis, como por exemplo, as áreas costeiras.

A operação combinada do Reator Seqüencial em Batelada e as vantagens do Reator de Biofilme, que pode manter uma alta concentração de biomassa, incentiva o baixo crescimento de cultura de organismos e pode obter uma distribuição homogênea da biomassa (Kaballo et al., 1995 apud CHO *et al.*, 2001), é uma possibilidade de tecnologia para o tratamento ainda pouco investigada (ORHON et al., 2002).

Andreottola et al. (2002) utilizaram o reator de leito móvel seqüencial em batelada para tratar água residuária de uma vinícola, que apresentava dificuldades no tratamento biológico devido às altas concentrações de substâncias orgânicas e cargas flutuantes. O sistema RSB foi usado para remover carbono, oferecendo várias vantagens incluindo espaço mínimo e possibilidade de modificação do ciclo durante a operação da estação. E a opção de combinar as vantagens do RSB e sistema de biomassa fixa-biofilme desta maneira, tornou-se mais interessante, permitiu o tratamento de altas cargas orgânicas, a redução de volume exigido para tratamento biológico e a possibilidade de evitar problemas de implantação. Observou-se uma remoção de DQO entre 85% a 99% , com aplicação de carga superficial de 29 g DQO/ m².d e carga volumétrica de 88 kg DQO/ m³.d.

Atualmente muitas pesquisas são desenvolvidas combinando os processos de culturas floculadas com sistemas de culturas fixas, os quais são chamados processos híbridos (Al-Sharekh et Hamoda, 2001; Ødegaard et al., 2000, citados em WOLFF et al., 2003). O processo híbrido pode ser utilizado para a reabilitação de sistemas de lodos ativados existentes, através da adição de material suporte no tanque de aeração (para torná-lo capaz de absorver o aumento nas cargas orgânicas aplicadas e/ou para melhorar o seu desempenho na redução de nutrientes), ou na implantação de novas Estações de Tratamento de Esgoto. O meio suporte pode ser fixo no tanque de aeração ou se mover livremente no lodo ativado. Este tipo de processo tem apresentado excelentes resultados em relação à eliminação de carbono e nitrogênio, diminuição na produção de lodo e melhoria na decantabilidade do lodo biológico (GEBARA et al., 1999).

Wolff et al. (2003), estudando reatores híbridos, com funcionamento contínuo, testaram dois materiais suporte plásticos, os quais mostraram-se eficientes para a remoção de cargas orgânicas em torno de 1 kgDQO/m³.dia, mesmo trabalhando com baixa idade do lodo (3 e 10 dias), temperatura em torno de 16°C e taxas de preenchimento de suporte de 20 e 10%, o que implica em uma possibilidade na redução dos custos operacionais do sistema.

No entanto, o desenvolvimento de pesquisas com reatores de leito fluidizado seqüencial em batelada (RLFSB), combinando os conhecimentos da engenharia de reatores com a biologia do tratamento, para a remoção de matéria orgânica e de nutrientes, constitui-se ainda num desafio, não existindo relatos na literatura de um tal reator.

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. INSTALAÇÃO EXPERIMENTAL

O presente trabalho foi desenvolvido no Laboratório de Efluentes Líquidos e Gasosos (Labeflu) localizado em anexo do Restaurante Universitário, da Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC). O período experimental foi de março a dezembro de 2002. A figura 4.1. mostra um esquema da instalação experimental.

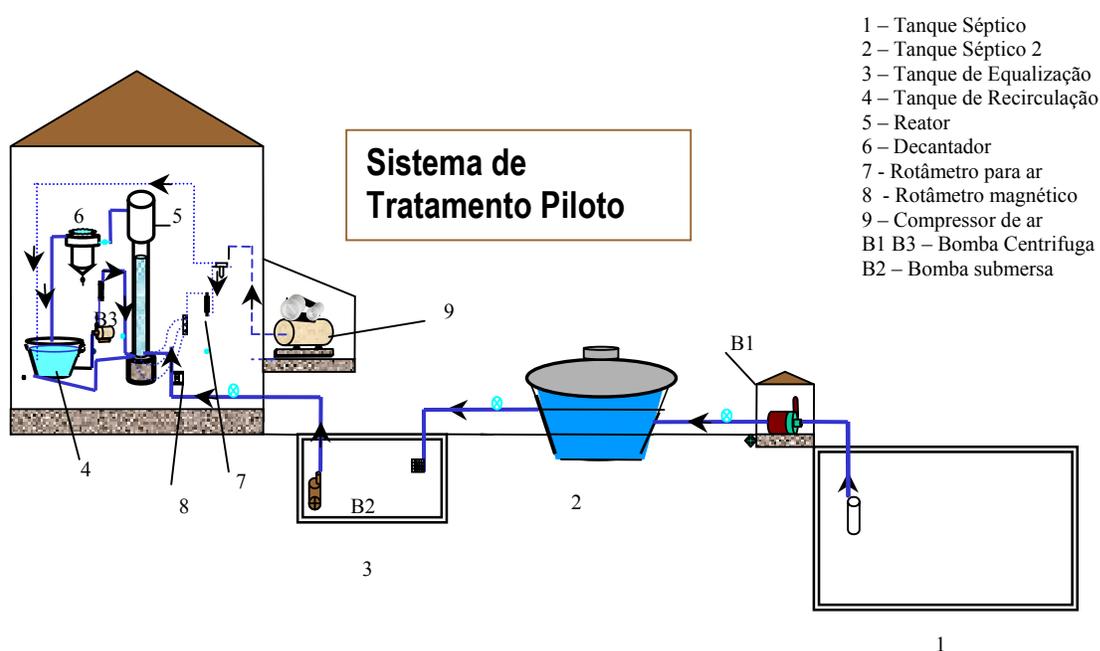


Figura 4.1. Esquema da instalação experimental.

O sistema piloto estudado era constituído de dois reatores de Leito Fluidizado Sequencial em Batelada - RLFSB (reatores 1 e 2), que trabalharam independentes. O efluente proveniente do Restaurante Universitário passava por um pré-tratamento, cujo sistema era composto

de dois tanques sépticos, com os seguintes de volumes: 25 m³ e 10 m³, e um tanque de equalização de 4m³, sendo daí o efluente bombeado para os reatores.

Do primeiro tanque, o efluente era bombeado para o tanque séptico seguinte através de uma bomba centrífuga de marca Schneider, BCA-1½" - 3/4CV Mono 60Hz. No tanque de equalização, o efluente era bombeado para dentro do reator através de uma bomba submersa de marca Schneider, BCS-94, tendo como reserva outra bomba de marca Schneider, BC- 92 HA 1 ½ CV Mono 60Hz. Um rotâmetro para esgoto com acoplamento magnético, marca CONAUT, Modelo 250, controlava a vazão de entrada no reator 1, e para o reator 2, utilizou-se um rotâmetro de marca CONAUT, Modelo 440 ϕ 1/4". A aeração dos reatores era promovida por um compressor de ar da marca Wayne Wetzel Modelo WV-15/230, o ar antes de chegar até os reatores passava por um filtro, um manômetro e um rotâmetro da marca OMEL – 760 mmHg 21°.

A recirculação do efluente do reator 1 era efetuada por uma bomba centrífuga da marca Schneider, BC-92S – 2 CV 60Hz, e a vazão era controlada por um rotâmetro para esgoto com acoplamento magnético marca CONAUT, modelo 250. Na recirculação do reator 2, a bomba utilizada era uma centrífuga da marca Schneider, BC-98 – 1/4CV Mono 60Hz.

4.1.1. REATOR DE LEITO FLUIDIZADO SEQÜENCIAL EM BATELADA (RLFSB)

Os reatores, em escala piloto, eram constituídos de coluna em acrílico transparente, com as seguintes dimensões:

- reator 1: 2 m de altura, diâmetro interno de 0,20 m e volume total de 62,8 L;
- reator 2: 2 m de altura, diâmetro interno de 0,09m e volume total de 12,72 L.

Os reatores tinham no topo uma área de tranquilização, onde ocorria a separação de gases e líquidos. Na parte inferior foi colocado um dispositivo tronco cônico, com aberturas para entrada do efluente líquido e do ar. A figura 4.2. apresenta detalhes dos reatores RLFSB.

Reator de Leito Fluidizado Sequencial em Batelada

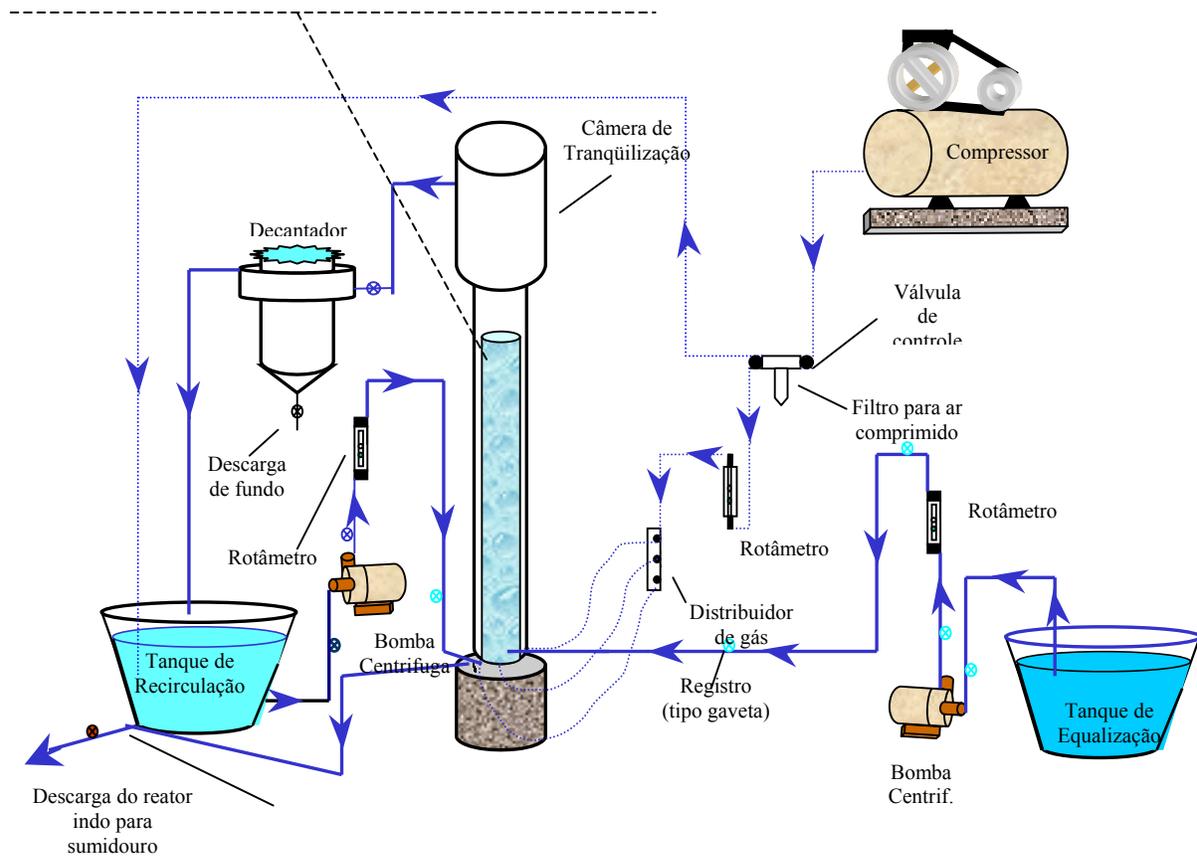


Figura 4.2. Detalhes do sistema piloto dos reatores de leito fluidizado RFLSB.

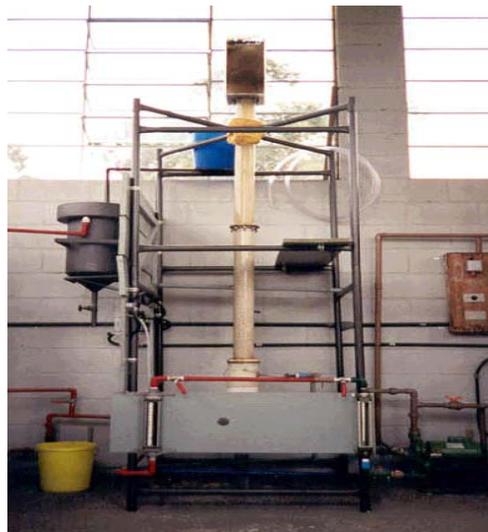


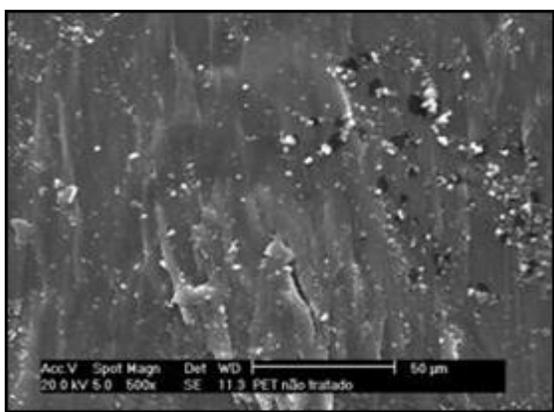
Figura 4.3 – Foto do Reator de Leito Fluidizado Sequencial em Batelada

Na saída dos reatores foi instalado um decantador com volume de 170 litros (reator 1) e 40 litros (reator 2), para recolher o excesso de lodo produzido. Do decantador, o efluente seguia para o tanque de recirculação, onde parte do líquido tratado era bombeada para garantir a fluidização do material suporte e outra parte era descartada em um sumidouro.

4.1.2. MATERIAL SUPORTE

O material suporte utilizado neste estudo foi o PET (Polietileno tereftalato), do qual não se têm registros na literatura científica de seu uso em reatores de biomassa fixa; tendo sido utilizado em outro experimento com leite fluidizado, realizado em paralelo a este estudo (MARTINS, 2003).

O PET foi fornecido pela empresa Artplas (Itajaí-SC), tendo densidade 1342 kg/m^3 e diâmetro médio $2,53 \text{ mm.}$, no apêndice H encontra-se uma foto desse material. Este material recebeu um tratamento superficial com solução sulfocrômica, com o objetivo de promover uma maior rugosidade e porosidade do material, aumentar a área livre disponível para a acumulação do biofilme e permitir uma maior aderência da biomassa. As figuras 4.3. e 4.4. apresentam fotos capturadas ao microscópio eletrônico de varredura (MEV) da superfície do suporte, antes e após o tratamento com sulfocrômica. Essas imagens foram extraídas do estudo de Martins (2003), que



utilizou o mesmo material suporte e mesmo efluente em seu estudo.

Figura 4.4. PET não tratado (500x).

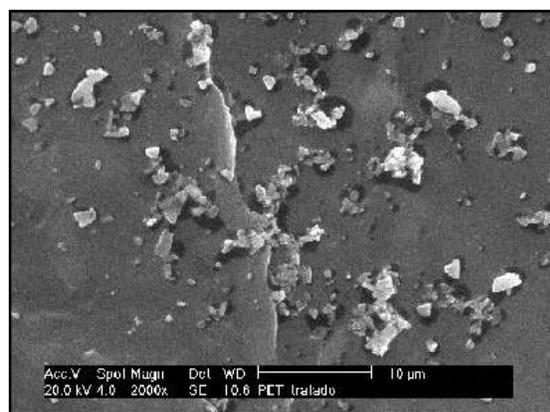


Figura 4.5. PET tratado (2000x).

Observa-se na figura 4.4 a presença de mais cavidades com aumento na porosidade do material, após o tratamento químico da superfície. O material suporte do reator 1 foi utilizado pela primeira vez nesse reator, já o material do reator 2 fora utilizado nos estudos de Martins (2003) e mostrava-se completamente colonizado pelo biofilme, como pode ser observado nas figuras 4.5. e 4.6. (Martins, 2003).

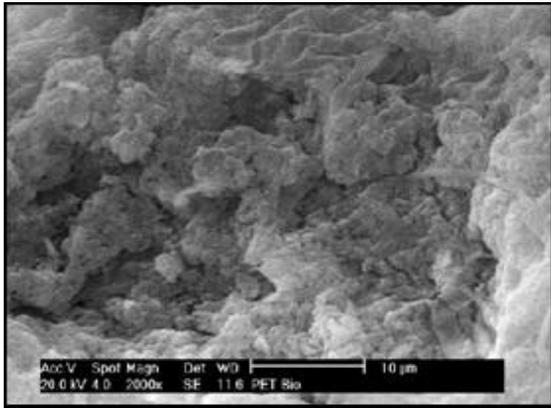


Figura 4.6. PET colonizado (2000x)

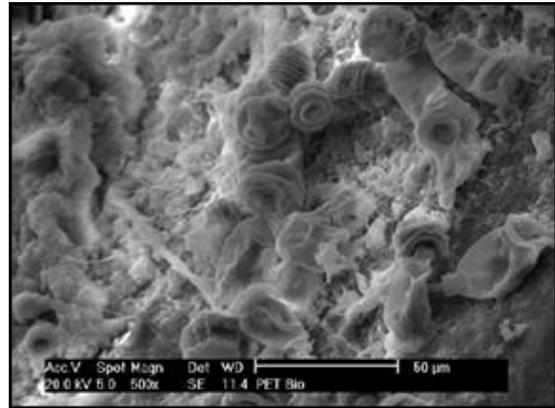


Figura 4.7. PET colonizado (500x)

Nas figuras 4.5. e 4.6. pode-se ver o PET colonizado, com aumento de 2000 e 500 vezes, respectivamente, destacando-se as *Vorticellas sp.*

4.2. INOCULAÇÃO DOS REATORES

Para a inoculação dos reatores foi utilizado lodo do tanque de aeração, da Estação de Tratamento de Esgoto Insular, da CASAN, Florianópolis-SC. O inóculo foi mantido por um período de 2 dias, para auxiliar na fixação inicial das bactérias no meio suporte. Em seguida, o inóculo foi descartado e o reator ficou em um regime de fluxo contínuo durante uma semana, com uma vazão baixa, cerca de 5 L/min.

4.3. OPERAÇÃO DOS REATORES

4.3.1. Operação do Reator 1

Os primeiros ensaios foram realizados no reator 1, onde foram testados alguns ciclos operacionais completos, seguindo o funcionamento dos reatores seqüenciais em batelada (RSB), descrito por Artan et al. (2002):

Fase de Enchimento: entrada do esgoto bruto no reator. O oxigênio dissolvido geralmente é baixo <1 mg/l, uma vez que o efluente vem de pré-tratamento anaeróbio. Esta etapa é chamada de T_E (Tempo de Enchimento). Durante esta fase ocorre uma reação biológica T_R (Tempo de Reação).

Fase aeróbia: O aerador é ligado, elevando o oxigênio dissolvido, cuja concentração deve permanecer elevada. Ocorre a remoção da matéria carbonácea e nitrificação. A concentração de DQO começa a diminuir. Esta etapa é chamada de T_A (Tempo de Aeração).

Fase sem aeração : Desliga-se a aeração. O oxigênio dissolvido diminui. Chama-se esta fase de T_{AX} (Tempo de reação anóxica) ou T_{AN} (Tempo de reação anaeróbia).

Fase de Sedimentação: A aeração é desligada, decantando o efluente tratado. Onde acontece o T_S (Tempo de Sedimentação).

Esvaziamento: O efluente é retirado do reator deixando uma pequena sobra, dando inicio a um novo ciclo. Chama-se de T_{EV} o tempo de esvaziamento e T_V o tempo que o reator permaneceu vazio.

Para o tempo em que ocorreu o processo biológico, compreendido entre a fase de enchimento e as fases de reação, adota-se o termo T_P (Tempo do processo). O tempo de mistura T_M inclui a fase de aeração e a fase anóxica, de remoção de nutrientes no reator. As figuras 4.7. e 4.8. mostram esquemas dessas etapas do tratamento no RLFSB.

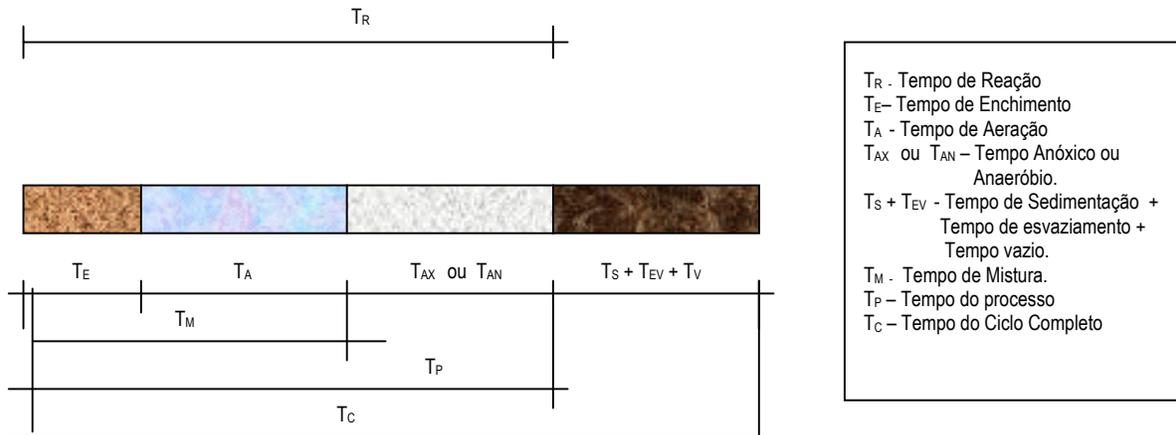


Figura 4.8. Esquema dos diferentes tempos dos ciclos no reator 1.

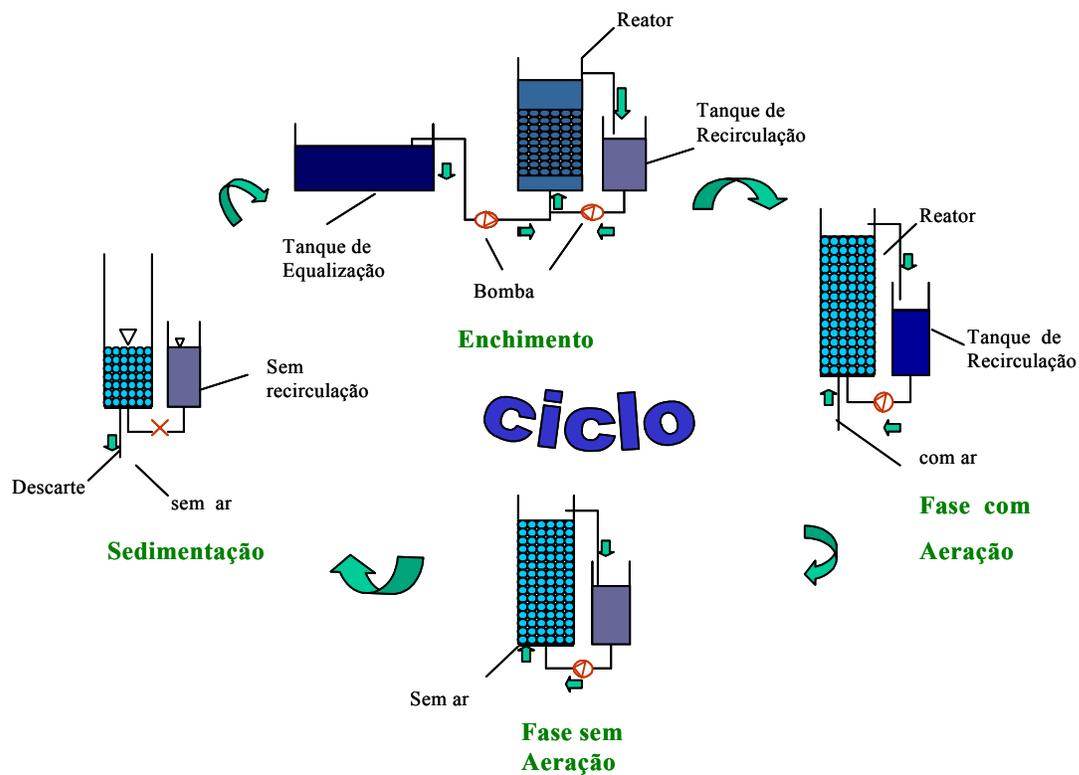


Figura 4.9. Esquema das etapas do tratamento nos ensaios iniciais no reator 1.

Nesta fase de testes preliminares do processo de tratamento foram realizados diversos ensaios de ciclo completo, durante o período compreendido entre os meses de maio a outubro de 2002, testando-se ciclos com tempos diferentes para cada fase, conforme mostra a tabela 4.1. Os resultados obtidos nos primeiros ciclos não evidenciaram nitrificação no reator 1, talvez devido ao tratamento do material suporte, que não produziu os efeitos desejados para a adesão bacteriana; ou talvez devido ao elevado volume do tanque de recirculação (3 m³), inviabilizando o processo de tratamento em batelada do modo como estava sendo efetuado. Em seguida foram realizados 6 ensaios com ciclo reduzido, sem as etapas anaeróbia e decantação neste reator, medindo-se apenas a remoção da matéria carbonácea (DQO). A partir daí optou-se por trabalhar com o reator 2, de menor volume e com um material suporte com biofilme já constituído conforme visto nas figuras 4.5. e 4.6.

Tabela 4.1. Ciclos operacionais testados no reator 1

| RLFSB – Ciclos de 5 horas | | | |
|--|---|-----------------------|---------------------------|
| Tempo | Fase | Data | Nº de ciclos |
| 20 min 3 h 1h 40min | Enchimento Sem aeração Com aeração Sedimentação | Maio a julho/2002 | 2 ciclos/dia P1 a P16 |
| RLFSB – ciclos de 2 horas | | | |
| 20 min 30 min 15 min 30 min 30 min | Enchimento Sem aeração Com aeração Sem aeração Sedimentação | Julho a agosto/2002 | 2 ciclos/dia P17 a P47 |
| RLFSB – ciclos variados | | | |
| 20 min 6 horas | Enchimento Com aeração | 7 e 8 de Outubro/2002 | 2 ciclos E1 e E2 |
| 20 min 2 horas | Enchimento Com aeração | 10 de Outubro/2002 | 2 ciclos E3 e E4 |

| | | | |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|
| 20 min 1 hora | Enchimento Com aeração | 11 de Outubro/2002 | 2 ciclos E5 e E6 |
|------------------|---------------------------|--------------------|---------------------|

4.3.2. Operação do Reator 2

Os ensaios com o reator 2 começaram em outubro e estenderam-se até dezembro de 2002. Neste reator foram dispensadas a primeira fase sem aeração e a fase de decantação. Inicialmente foram realizados 8 ensaios cujos ciclos tiveram duração de: 20 minutos para enchimento e 2 horas em aerobiose, nestes mediu-se a degradação da matéria carbonácea, a remoção do fósforo total e a nitrificação do efluente. Em seguida foram testadas estratégias operacionais, conforme apresentado na tabela 4.2.

Tabela 4.2. Estratégias operacionais testadas no reator 2.

| Estratégia Operacional | 1 | 2 | 3 |
|------------------------|------------|------------|----------------|
| Tempo do ciclo | 2:2 | 1:3 | 1,5:4,5 |
| Esvaziamento (min) | 5 | 5 | 5 |
| Enchimento (min) | 20 | 20 | 20 |
| Com aeração (h) | 2 | 1 | 1,5 |
| Sem aeração (h) | 2 | 3 | 4,5 |
| Tempo total ciclo (h) | 4h 25min | 4h 25min | 6h 25min |

Foram testadas 3 estratégias operacionais: **2:2**, **1:3** e **1,5:4,5**, para cada uma efetuou-se 8 ensaios, utilizando-se como efluente os despejos do Restaurante Universitário da UFSC misturado com esgoto sanitário. Além desses ensaios, foram também realizados 2 ensaios do ciclo **1:3**, 2 ensaios do ciclo **1,5:4,5** e 1 ensaio do ciclo **2:2**, utilizando-se apenas esgoto sanitário. A figura 4.9. mostra um esquema das etapas de tratamento dos ciclos.

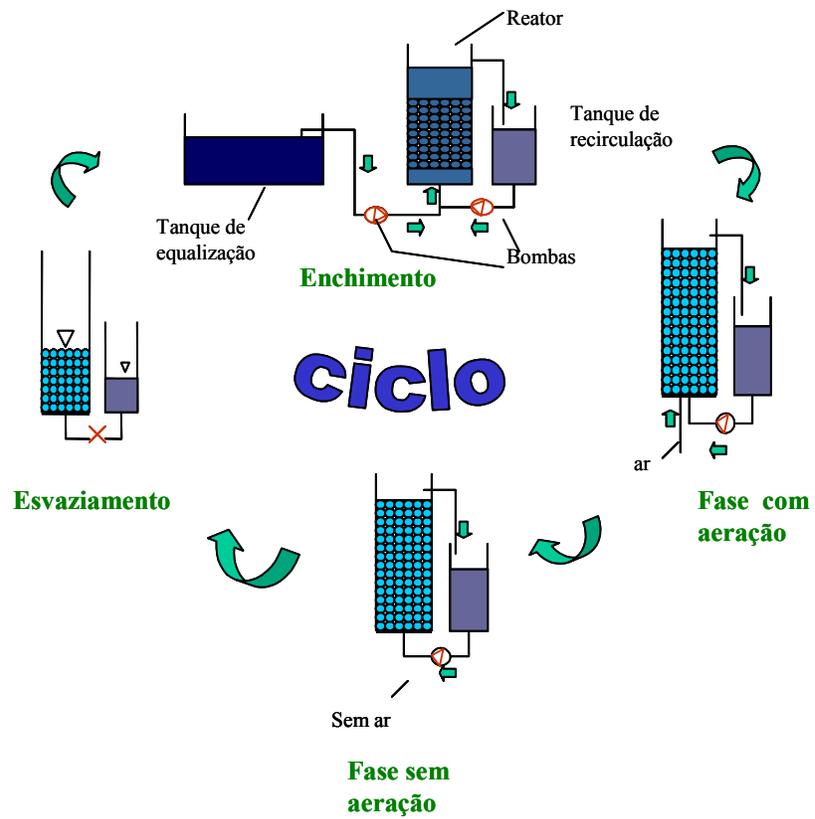


Figura 4.10. Esquema das etapas do tratamento nos ensaios efetuados no reator 2.

4.4. PROCEDIMENTOS ANALÍTICOS

A tabela 4.3. mostra os parâmetros monitorados ao longo dos ciclos.

Tabela 4.3. Parâmetros monitorados no reator RFLSB e frequência de amostragem por ciclo.

| Parâmetro | Unidade | Frequência de amostragem / número de amostras por ciclo |
|---|-------------------------|--|
| Temperatura | °C | Enchimento, 5 minutos após início da aeração e a cada 30 min de cada fase do ciclo |
| pH | - | idem |
| OD | mg/L | idem |
| DQO | mg/L | idem/ Duplicata |
| Sólidos suspensos (SS) | mg/L | idem/ / Duplicata |
| Nitrito (NO ₂ -N) | mg/L | idem/ Duplicata |
| Nitrato (NO ₃ -N) | mg/L | idem/ Duplicata |
| Nitrogênio Amoniacal (NH ₄ -N) | mg/L | idem/ Duplicata |
| Fósforo total (Pt) | mg/L | idem/ Duplicata |
| Nitrogênio Total (NTK) | mg/L | A cada 1 hora de cada fase/ Única |
| Microscopia Ótica | - | 3 x por semana/ Única |
| Polissacarídeos(PS) e proteínas(PN) aderidos ou suspensos (PS) (PN) | mg/g suporte mg/L | 1 por ciclo/Duplicata 1 por ciclo/Duplicata |

Os procedimentos analíticos utilizados foram os seguintes:

- Oxigênio dissolvido, temperatura e pH: as medidas foram efetuadas diretamente no reator utilizando-se pHmetro e oxímetro digital, marca Orion, modelo 1230;
- Sólidos suspensos: foram determinados pela filtração à vácuo em filtro de membrana de acetado de celulose (0,45µm de Ø 47 ± 0,5 mm, marca Schleicher & Schuell) e posterior pesagem do filtro com o resíduo seco, descrito no Standard Methods (APHA, 1998);
- Demanda Química de Oxigênio (DQO): utilizou-se o método colorimétrico, descrito no Standard Methods (APHA,1998) com leitura das amostras no espectrofotômetro marca

HACH DR/4000 U, comprimento de onda $\lambda = 600\text{nm}$. As amostras após a coleta eram conservadas adicionado-se ácido sulfúrico concentrado para manter o $\text{pH} \leq 2,0$. Na determinação da DQO_F (filtrada) amostras foram previamente filtradas utilizando-se papéis filtro, marca Whatmann 40;

- Nitrito e Nitrato: as amostras foram coletadas e filtradas primeiramente no papel filtro marca Whatmann 40, e em seguida filtradas com membrana de acetado de celulose ($0,45\mu\text{m}$ de \varnothing $47 \pm 0,5$ mm, marca Schleicher & Schuell), as análises foram realizadas no mesmo dia de coleta, não necessitando conservação das amostras. Nas análises de nitrito utilizou-se o método colorimétrico da alfa-naftilamina segundo o Standard Methods (APHA, 1998), com leituras no espectrofotômetro marca HACH DR/4000 U, comprimento de onda $\lambda = 550\text{nm}$. Para o nitrato utilizou-se método colorimétrico da brucina segundo Standard Methods (APHA, 1998), com leituras no espectrofotômetro marca HACH DR/4000 U, comprimento de onda $\lambda = 420\text{nm}$;
- Nitrogênio Amoniacal: foram utilizados dois métodos analíticos: (1) destilação com arraste de amônia e titulação com ácido sulfúrico 0,02 N, utilizando-se o destilador UDK 130 A da marca Velp Scientifica e bureta digital (Buret II 50ml) da marca Brand. As amostras foram coletadas e conservadas com ácido sulfúrico para manter o $\text{pH} \leq 2,0$, segundo Standard Methods (APHA, 1998); (2) método colorimétrico com o reagente de Nessler (iodo-mercurato de potássio alcalino), segundo a Norma Francesa (NFT 90-015), com leituras no espectrofotômetro marca HACH DR/4000 U, comprimento de onda $\lambda = 400\text{nm}$;
- Fósforo total: após a coleta as amostras eram filtradas em papéis filtro, marca Whatmann 40, não foi utilizado nenhuma conservação com ácidos, as amostras eram analisadas no mesmo dia ou em no máximo 48 horas sendo conservadas sob refrigeração, segundo recomendações do Standard Methods (APHA, 1998). Utilizou-se o método colorimétrico do ácido vanado-molibdo-fosfórico, após prévia digestão da fração orgânica em meio ácido. As leituras das amostras foram realizadas no espectrofotômetro marca HACH DR/4000 U, comprimento de onda $\lambda = 400\text{nm}$;
- Nitrogênio Total Kjeldhal (NTK): Utilizou-se o método Kjeldhal, segundo procedimento do Standard Methods (APHA, 1998). As amostras eram previamente digeridas em meio ácido no aparelho de digestão DK20 Heating Digester da Velp Scientifica, em seguida era feita

uma destilação, utilizando-se o aparelho destilador UDK 130 A da Velp Scientifica, e finalmente as amostras eram tituladas com ácido sulfúrico 0,02N utilizando-se Bureta digital (Buret II 50 ml) da marca Brand. Antes das análises as amostras eram conservadas com ácido sulfúrico para manter o $\text{pH} \leq 2,0$, conforme Standard Methods (APHA, 1998);

- Proteínas e Polissacarídeos (PN) e (PS): foram determinados em amostras da fase líquida (suspensos) e no biofilme (aderidos), de acordo com os métodos de LOWRY et al. (1951) e DUBOIS (1956), para PN e PS, respectivamente. As leituras foram realizadas no espectrofotômetro marca HACH DR/4000U, utilizando-se comprimento de onda $\lambda = 400\text{nm}$ (PN) e $\lambda = 400\text{nm}$ (PS). Antes das análises as amostras eram conservadas em temperatura abaixo de 4°C , para não perder suas propriedades;
- Observações microscópicas: utilizou-se o microscópio binocular da OLYMPUS, modelo BX 40, para verificar a morfologia dos microrganismos constituintes do biofilme.

4.5. MÉTODOS DE CÁLCULOS

4.5.1. Eficiência de Remoção – ϵ

A eficiência em termos de remoção carbonácea ($\epsilon\%$) para a DQO filtrada foi calculada a partir da equação 4.1., para os outros parâmetros (nitrogênio, fósforo total, sólidos suspensos, etc.) também foi utilizada essa equação, substituindo a DQO.

$$\epsilon = \frac{(S_0 - S_s)}{S_0} \times 100 \quad (4.1)$$

Onde:

ϵ = Eficiência de remoção (%)

S_0 = Concentração na entrada do reator (mg/L)

Ss = Concentração no final de cada etapa (aeróbia, anaeróbia) do ciclo (mg/L)

4.5.2. Produção Específica de Lodo – Y

A Produção Específica de Lodo foi calculada a partir da análise do teor de proteínas no material em suspensão (PN_S) no interior dos reatores e do consumo de substrato em termos de DQO_F, utilizando-se a equação 4.2.

$$Y = \frac{X_e}{S_{\text{cons.}}} \quad (4.2)$$

Sendo:

Y = Produção Específica de Lodo (mgPN_S/mgDQO_{F cons.})

X_e = Teor de proteínas no material suspenso (mgPN_S/L)

S_{cons} = Concentração de substrato consumido para o período considerado (mg DQO_F/L)

4.5.3. Parâmetros operacionais do RLFSB (ARTAN et al., 2002)

a) Vazão - Q

$$Q = m \cdot V_E \quad (4.3)$$

Onde:

Q = vazão (m³/dia)

m = número de ciclos possíveis por dia

V_E = volume de enchimento (m³)

b) Tempo de Retenção Hidráulica – TRH

$$TRH = (1 + V_o/V_E) \cdot T_c \quad (4.4)$$

Onde:

TRH= Tempo de Retenção Hidráulica (dia)

V_o = Volume estacionário (m^3)

V_E = Volume de enchimento (m^3)

T_c = Tempo total do ciclo (dia)

c) Carga Orgânica Volumétrica Aplicada e/ou Removida – COV

$$COV = (DQO_F \cdot Q) / 1000 \cdot V_E \quad (4.5)$$

Sendo:

COV = Carga Orgânica Volumétrica (aplicada ou removida) (kg DQO_F / m^3 .dia)

DQO_F = Demanda Química de Oxigênio (g/m^3)

Q = Vazão (m^3 /dia)

V_E = Volume de enchimento (m^3)

5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

5.1. ETAPA 1 – ENSAIOS NO REATOR 1

Nessa etapa foram realizados ensaios com ciclos de longa e de curta duração, completos (enchimento, fases: sem aeração, com aeração e sem aeração, e sedimentação) ou simplificados (enchimento e fase sem aeração), com o objetivo principal de verificar a eficiência na remoção da matéria orgânica (DQO) e como objetivo secundário a remoção de nutrientes (N e P) do esgoto do restaurante universitário (RU) no reator 1, conforme metodologia descrita no item 4.3.1.

5.1.1. Ensaios com ciclos de longa duração (P1 a P16)

Inicialmente foram realizados 16 ciclos (P1 a P16) com 5 horas de duração cada um, sendo 3 horas de fase sem aeração e 1 hora de fase com aeração, (item 4.3.1. e tabela 4.1.), foram efetuados dois ciclos por dia. A tabela 5.1. apresenta as características (valores médios) do esgoto afluyente, cuja DQO filtrada variou entre 280 e 480 mg/L.

O esgoto do restaurante universitário (RU) é resultante das atividades do restaurante e do esgoto das instalações sanitárias adjacentes. Os valores encontrados para o OD, a DQO e os sólidos suspensos estão próximos aos valores médios geralmente encontrados nos esgotos domésticos brutos, de acordo com Jordão & Pessoa (1995), Von Sperling (1996) e Metcalf & Eddy (1991). Destacam-se os baixos valores de pH e as baixas concentrações de nitrogênio amoniacal e de fósforo total do efluente do RU, podendo influir na qualidade do tratamento biológico. Segundo Roques (1980), o pH ótimo para o crescimento celular situa-se em torno de 8,0, sendo favoráveis também os valores compreendidos entre 6,5 e 9,0. De acordo com Eckenfelder & O'Connor (1961) citados em Roques (1980), o crescimento bacteriano banal tem como valor ótimo de pH 7,5, enquanto que para os fungos, leveduras e bactérias filamentosas, as condições de pH ótimo são mais baixas, entre 4,0 e 5,0. Em relação ao nitrogênio, um esgotamento desse elemento no substrato antes da fonte de carbono, leva a cultura bacteriana à estabilidade. Para Goel & Gaudi

(1969) citados em Roques (1980), as relações ótimas para a degradação do substrato e crescimento microbiano são: $DBO/N = 25/1$ e $DQO/N = 35/1$, este nitrogênio deve estar preferencialmente na forma assimilável (NH_4^+ , NO_2^- ou NO_3^-), o nitrogênio orgânico nem sempre é completamente metabolizado, dependendo do tipo de efluente considerado. Quanto ao fósforo, Roques (1980) citando Morgan & Fruh (1964) estabelece que a relação ótima para o crescimento microbiano é igual a $DQO/P = 100/0,15$; e que no intervalo compreendido entre $100/0,15$ e $100/0,45$, todo o fósforo presente no efluente é utilizado, os lodos (biomassa) produzidos concentram cerca de 1,6% de fósforo. Para concentrações maiores, os microrganismos não utilizam a totalidade do fósforo e sua concentração máxima nos lodos é de 3%. Concentrações de fósforo no lodo abaixo de 1% caracteriza-se como assimilação bacteriana (“luxury uptake”), a qual de acordo com a literatura é a regra geral e não a exceção no crescimento microbiano.

Tabela 5.1. Características médias do efluente do RU.

| Parâmetros | Resultados |
|-----------------------------|------------------|
| pH | $5,8 \pm 0,75$ |
| OD (mg/L) | $0,99 \pm 0,71$ |
| Temperatura ($^{\circ}C$) | $25,6 \pm 3,43$ |
| DQO_T (mg/L) | $517 \pm 206,68$ |
| DQO_F (mg/L) | $351 \pm 122,30$ |
| NH_4-N (mg/L) | $6,9 \pm 4,64$ |
| NO_2-N (mg/L) | $0,03 \pm 0,02$ |
| NO_3-N (mg/L) | $0,32 \pm 0,01$ |
| PT (mg/L) | $1,42 \pm 1,41$ |
| S.Suspensos (mg/L) | $208 \pm 170,82$ |

As relações médias encontradas para a DQO_T em relação aos nutrientes foram as seguintes: $DQO_T/NH_4-N = 35/0,47$ e $DQO_T/PT = 100/0,27$, estando abaixo do recomendado pelos autores citados em ROQUES (1980) para o nitrogênio e dentro de uma faixa possível de tratamento para o fósforo. Observando-se a relação C/N/P em termos de $DQO_T/NH_4-N/PT$, esta foi $150/2,0/0,4$. Conforme Metcalf & Eddy (1991) uma boa relação para o tratamento biológico seria de $150/5/1$ em

termos de $DQO_T/N/P$, verifica-se portanto que o despejo a ser tratado está deficiente em nutrientes, tanto o nitrogênio como o fósforo. Ressalta-se que esse efluente era pré tratado em dois tanques sépticos antes de chegar ao tanque de equalização, conforme apresentado no esquema da figura 4.1. Os resultados médios obtidos ao longo dos ciclos P1 a P16 são apresentados na tabela 5.2.

Tabela 5.2. Resultados médios obtidos nos ensaios com ciclos de 5 horas (P1 a P16). (n= 17)

| Parâmetros | Enchimento | Fase sem aeração | Fase com aeração | Sedimentação |
|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| pH | $5,49 \pm 0,718$ | $6,10 \pm 0,182$ | $6,66 \pm 0,153$ | $6,44 \pm 0,179$ |
| OD (mg/L) | $0,38 \pm 0,88$ | $0,58 \pm 0,88$ | $1,50 \pm 0,77$ | $0,67 \pm 0,78$ |
| Temperatura (°C) | $23 \pm 2,5$ | $23 \pm 2,6$ | $23 \pm 2,5$ | $23,5 \pm 2,5$ |
| DQO_F (mg/L) | 287 ± 145 | 153 ± 82 | 118 ± 43 | 100 ± 59 |
| SS (mg/L) | 322 ± 36 | 371 ± 36 | 77 ± 38 | 50 ± 49 |

Os resultados mostram que o OD estava em baixas concentrações, mesmo na fase com aeração, porém houve uma remoção satisfatória da carga carbonácea, em termos de DQO_F , em média de 65% (mín.60% e máx. 86%); o pH manteve-se abaixo de 7,0 e a temperatura variou, sendo baixa (18 a 20°C) nos ciclos iniciais pelo fato de ser inverno, e aumentando em cerca de 10°C nos ciclos finais, as tabelas com todos os resultados são apresentadas no apêndice A , B e C..

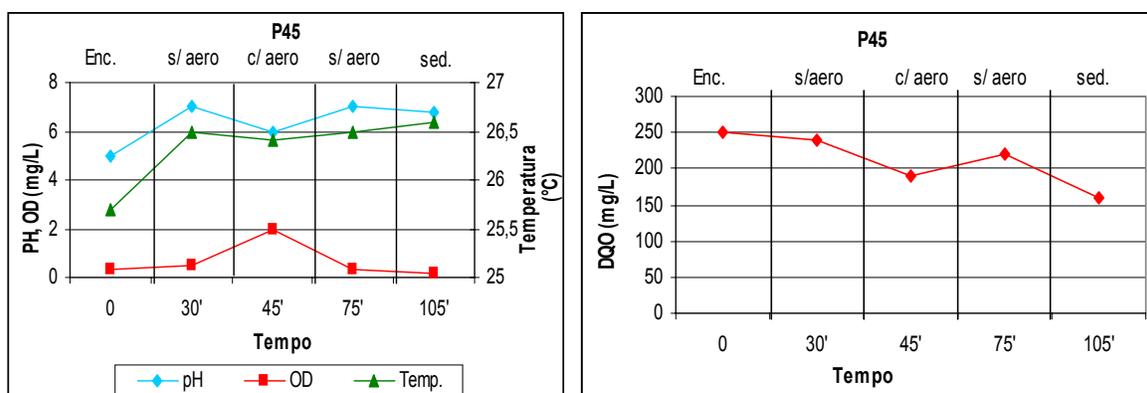
5.1.2. Ensaios com ciclos de curta duração (P17 a P47)

Em seguida, foram realizados novos ciclos mais curtos, com duas horas e cinco minutos de duração, no total de 31 ciclos (P17 a P47), como descrito no item 4.3.1., tabela 4.1. Os resultados médios são mostrados na tabela 5.3. Os resultados para cada ciclo são apresentados no apêndice A,B e C.

Tabela 5.3. Resultados médios obtidos nos ensaios com ciclos de 2 h 05 min. (P17 a P47). (n= 31)

| Parâmetros | Enchimento | Fase sem aeração | Fase com aeração | Fase sem aeração | Sedimentação |
|---------------------------|---------------|------------------|------------------|------------------|--------------|
| pH | 5,25 ± 0,69 | 6,64 ± 0,12 | 5,90 ± 0,16 | 6,35 ± 0,33 | 6,67 ± 0,13 |
| OD (mg/L) | 0,16 ± 0,26 | 0,95 ± 0,22 | 1,49 ± 1,20 | 0,47 ± 0,75 | 0,25 ± 0,46 |
| T (°C) | 23,3 ± 2,0 | 25,5 ± 1,5 | 26,6 ± 1,4 | 26,6 ± 1,4 | 25,4 ± 0,3 |
| DQO _F (mg/L) | 249 ± 121 | 170 ± 69 | 176 ± 82 | 162 ± 72 | 88 ± 44 |
| SS (mg/L) | 56 ± 56 | 29 ± 46 | 36 ± 45 | 30 ± 50 | 42 ± 74 |
| NO ₃ -N (mg/L) | 0,4104 ± 0,23 | 0,52 ± 0,19 | 0,264 ± 0,22 | 0,34 ± 0,15 | 0,38 ± 0,18 |
| NO ₂ -N (mg/L) | 0,0925 ± 0,49 | 0,1774 ± 0,23 | 0,116 ± 0,16 | 0,062 ± 0,17 | 0,075 ± 0,15 |
| NH ₄ -N (mg/L) | 1,591 ± 0,69 | 1,75 ± 0,8 | 2,68 ± 1,03 | 2,19 ± 0,75 | 2,2 ± 0,68 |

Assim como nos ciclos precedentes, os resultados dos ciclos P17 a P47 mostram que o reator funcionou com baixos valores de pH e OD. A remoção da DQO_F ficou em torno de 65%. Quanto aos sólidos suspensos houve muita variação devido a problemas na hora da pesagem dos filtros, de forma que os desvios-padrão são maiores que os valores médios. O reator apresentou uma leve tendência a nitrificação na fase com aeração, com os valores de NH₄-N passando de 1,5 para 2,4 mg/L, sendo reduzidos já nas fases subseqüentes; porém não foi suficiente para um aumento nas concentrações de nitrito e nitrato. As curvas apresentadas na figura 5.1. mostram os resultados obtidos para diferentes parâmetros, ao longo do ciclo P45.



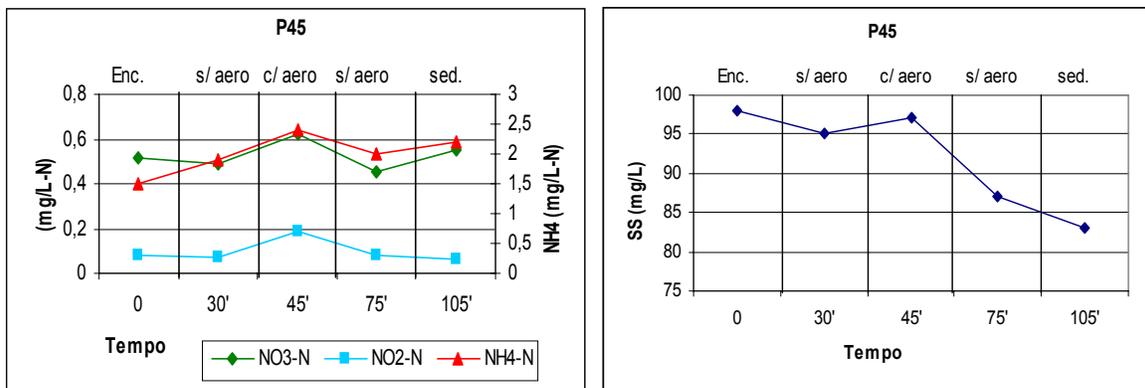


Figura 5.1.- Resultados obtidos ao longo do ciclo P45 com 2 h 05 de duração.

Na figura 5.1. pode-se observar que a temperatura variou pouco, mantendo-se entre 25,5 °C (início do ciclo) e 26,6 °C (final do ciclo). A concentração de oxigênio dissolvido (OD), que era zero no enchimento, aumentou de acordo que a injeção de ar no reator, chegando próxima de 2mg/L na fase com aeração, e diminuindo novamente até zero na fase sem aeração e sedimentação. Segundo o manual Nitrogen Control - EPA (1993), valores de OD inferiores a 2,0 mg/L são limitadores de crescimento das *Nitrossomonas*. Para Stenstron & Poduska (1980) e Stenstron & Song (1991), citados em ORHON et al. (2002), concentrações de OD abaixo de 0,2-0,5 mg/L afetam a nitrificação. Nota-se que o pH ficou baixo, próximo de 5,0 no início e se manteve próximo de 7,0 nas outras fases do ciclo, favorecendo o crescimento de bactérias banais, porém valores baixos para as nitrificantes, cujo ótimo situa-se entre 7,8 e 8,5 de acordo com Roques (1980). Verifica-se que a DQO_F teve um leve abatimento, com eficiência de remoção de 44%, ressalta-se que neste ciclo a concentração inicial era de apenas 270 mg/L., uma remoção desta ordem resulta em 150 mg/L, podendo ser considerado efluente tratado de boa qualidade. Nos apêndices A, B, C e D observa-se que ao decorrer dos 31 ciclos obteve-se alguns bons resultados na remoção de DQO (65%). Quanto aos compostos de nitrogênio, observa-se que não houve nitrificação; os valores de amônia passaram de 1,5 mg/L na fase sem aeração para 2,5 mg/L na fase com aeração, as condições de pH e OD no reator certamente interferiram negativamente. Os sólidos suspensos no final do ciclo foram da ordem de 83 mg/L, sendo considerados baixos no final do ciclo, indicando que havia pouca perda de biomassa fixa no meio líquido.

No entanto, os 31 ciclos foram acompanhados de problemas operacionais no reator, sendo necessárias paradas para concerto. Dentre os problemas, destaca-se a presença de OD nas fases sem aeração, que se mantinha quase sempre acima de 1mg/L, descaracterizando-as.

5.1.3. Ensaio com ciclos aeróbios (E1 a E6)

Após os ciclos completos de duas horas (ciclos P1 a P47), passou-se a operar o reator apenas com a fase aerada, tendo por base as pesquisas desenvolvidas por Andreottola et al. (2002), que estudaram ciclos aeróbios em reatores seqüenciais de batelada (RSB), com o objetivo de determinar estratégias de controle do oxigênio dissolvido, para minimização do tempo do ciclo e economia de energia. Foram realizados inicialmente dois ciclos aerados, com duração de 6 horas, denominados de E1 e E2, com o objetivo de verificar o tempo de remoção da matéria orgânica (DQO_F). Os parâmetros medidos foram DQO_F, pH, temperatura, OD e sólidos suspensos, conforme descrito no item 4.3.1. A tabela 5.4. e a figura 5.2. mostram os resultados médios obtidos para os dois ciclos.

Tabela 5.4. Resultados médios obtidos nos ciclos com aeração de 6 horas (E1 e E2).

| Tempo dos ciclos (hora) | DQO ₁ (mg/L) | DQO ₂ (mg/L) | ε ₁ (%) | ε ₂ (%) | pH ₁ | pH ₂ | OD ₁ (mg/L) | OD ₂ (mg/L) | Temp. ₁ (°C) | Temp. ₂ (°C) | SS ₁ (mg/L) | SS ₂ (mg/L) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | 225 | 212 | - | - | 6,31 | 7,01 | 0,34 | 1,88 | 30,5 | 30,1 | - | - |
| 1 | 82 | 93 | 60 | 56 | 6,98 | 6,92 | 1,80 | 1,86 | 30,2 | 30,4 | 122 | 88 |
| 2 | 95 | 93 | - | - | 6,87 | 6,84 | 1,88 | 1,90 | 30,6 | 31,5 | 126 | 80 |
| 3 | 94 | 104 | - | - | 6,81 | 6,80 | 1,90 | 1,93 | 31,1 | 31,3 | 68 | 62 |
| 4 | 91 | 102 | - | - | 6,78 | 6,77 | 1,98 | 1,97 | 32,3 | 32,5 | 144 | 84 |
| 5 | 62 | 105 | - | - | 6,76 | 6,77 | 2,85 | 2,32 | 32,5 | 32,7 | 76 | 32 |
| 6 | 89 | 101 | 60 | 52 | 6,76 | 6,77 | 2,22 | 2,23 | 32,9 | 32,8 | 64 | 58 |

Obs. Tempo 0 = após 20 minutos de enchimento

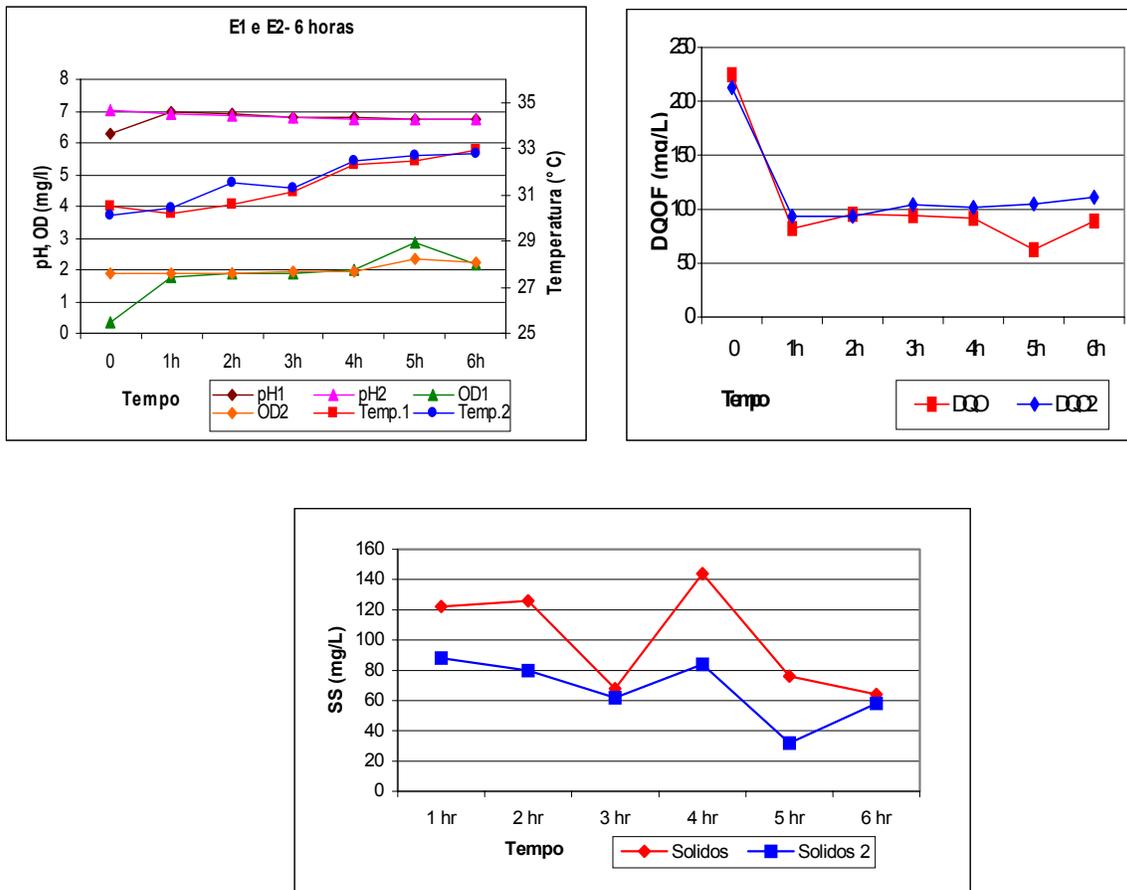


Figura 5.2.- Variação dos parâmetros medidos nos ensaios E1 e E2.

Observa-se na tabela 5.4. e figura 5.2. que durante a primeira hora do ciclo houve decaimento da DQO_F próximo de 60%, mantendo-se neste patamar ao longo de todo o ciclo. O pH ficou próximo de 7,0; os valores de OD estiveram entre 1,0 e 2,0 mg/L até 4 horas do ciclo, quando então passaram para valores superiores. Para Andreottola et al. (2002), o consumo de oxigênio decresce quando a matéria orgânica é quebrada, e assim a concentração de OD no interior do reator aumenta, mostrando que o processo está completo, o ciclo pode ser interrompido. Os sólidos suspensos no interior do reator variaram entre 90 a 120 mg/L no início e permaneceram em torno de 60 mg/L no final dos ciclos, indicando pouca perda de biomassa fixa.

Resolveu-se então testar ciclos menores, por concluir-se que a DQO após 2 a 3 horas estabiliza-se, permanecendo em um mesmo patamar, e que a remoção da matéria carbonácea começa na primeira hora do ciclo. Optou-se por ciclos curtos de 2 horas. Foram então realizados mais dois ciclos apenas com aeração (E3 e E4), cujos resultados são apresentados na tabela 5.5. e na Figura 5.3.

Tabela 5.5. Resultados médios obtidos nos ciclos com aeração de 2 horas (E3 e E4).

| Tempo dos ciclos (min.) | DQO ₃ (mg/L) | DQO ₄ (mg/L) | ε ₃ (%) | ε ₄ (%) | SS ₃ (mg/L) | SS ₄ (mg/L) |
|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------|--------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | 584 | 595 | - | - | 44 | 58 |
| 20' | 130 | 174 | 77 | 70 | 46 | 40 |
| 40' | 121 | 166 | - | - | 32 | 48 |
| 60' | 108 | 155 | - | - | 16 | 28 |
| 90' | 119 | 170 | - | - | 58 | 34 |
| 120' | 120 | 176 | 79 | 70 | 40 | 30 |

Obs. Tempo 0 = após 20 minutos de enchimento

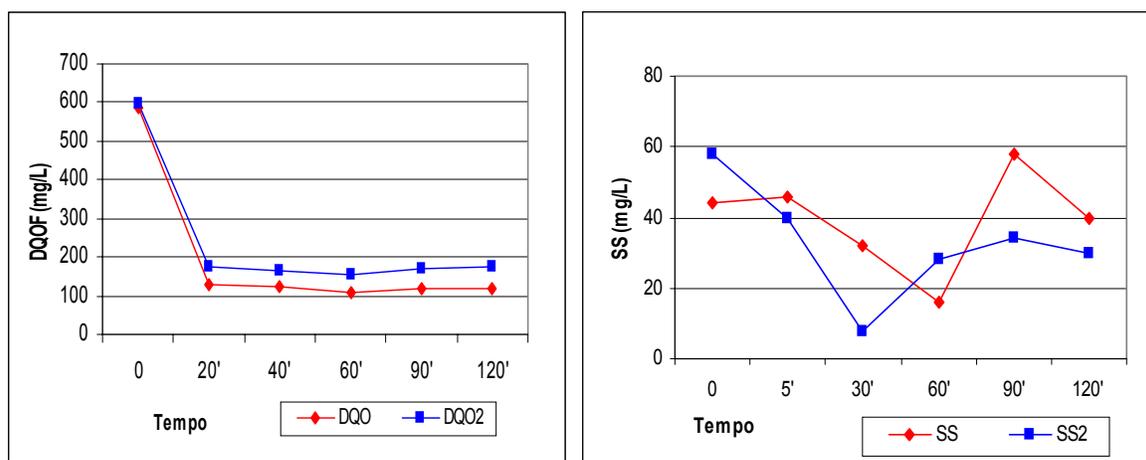


Figura 5.3 - Variação dos parâmetros DQO_F e SS nos ensaios E3 e E4.

Observa-se na tabela 5.5. e na figura 5.3. que a curva da DQO_F para esses ciclos teve um comportamento semelhante à curva do ciclo aeróbio de 6 horas (figura 5.2.). Ressalta-se que nestes ciclos trabalhou-se com afluente atípico, pois este entrou no reator com uma DQO_F elevada, entre 590 a 580 mg/L, não se comportando assim em outros dias. A DQO_F de saída, já após 20 minutos da reação aeróbia, ficou entre 177 a 120 mg/L, apresentando eficiência média de remoção de 75%.

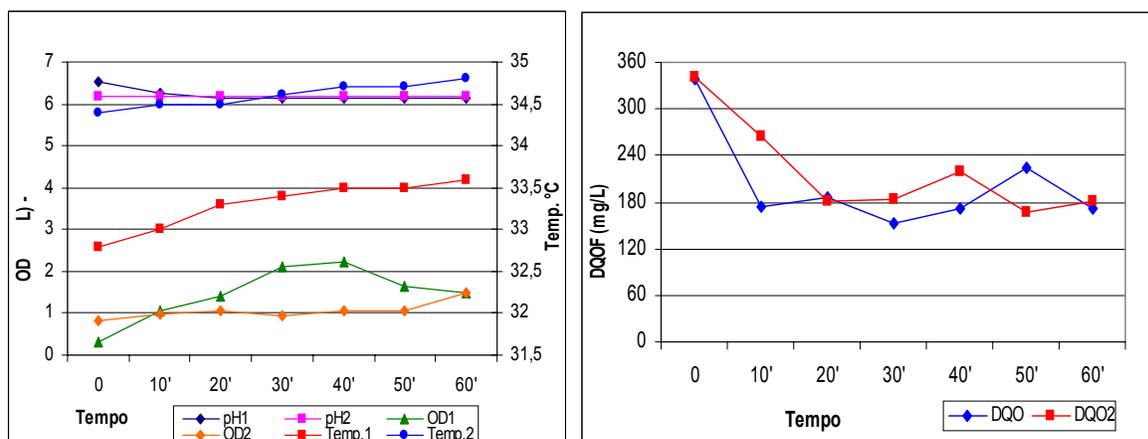
Eficiência similar na remoção de DQO_F foi observada por Martins (2003), utilizando o leito fluidizado em funcionamento contínuo e mesmo material suporte (PET), com tempo de retenção hidráulica de 25 minutos. Os sólidos suspensos oscilaram entre 16 de 58 mg/L. Os resultados de pH, OD e temperatura, nesses ensaios estavam sendo monitorados por uma sonda com aquisição automática de dados, porém devido a problemas no programa de armazenamento, não foi possível recuperá-los para o traçado das curvas.

Em vista dos resultados obtidos com a DQO_F nos ciclos E3 e E4, decidiu-se por diminuir o tempo do ciclo, efetuando-se ciclos de 1 hora, para melhor avaliar os resultados da degradação da matéria orgânica. A tabela 5.6. e a figura 5.4. apresentam os resultados nos ciclos com aeração de 1 hora, E5 e E6.

Tabela 5.6. - Resultados médios obtidos nos ciclos com aeração de 1 hora (E5 e E6).

| Tempo dos ciclos (min.) | DQO_5 (mg/L) | DQO_6 (mg/L) | ϵ_5 (%) | ϵ_6 (%) | pH ₅ | pH ₆ | OD ₅ (mg/L) | OD ₆ (mg/L) | Temp. ₅ (°C) | Temp. ₆ (°C) | SS ₅ (mg/L) | SS ₆ (mg/L) |
|-------------------------|----------------|----------------|------------------|------------------|-----------------|-----------------|------------------------|------------------------|-------------------------|-------------------------|------------------------|------------------------|
| 0 | 350 | 350 | - | - | 6,54 | 6,19 | 0,33 | 0,82 | 32,8 | 34,4 | 30 | 30 |
| 10 | 173 | 265 | 50 | 24 | 6,26 | 6,17 | 1,05 | 0,99 | 33,0 | 34,5 | 32 | 54 |
| 20 | 187 | 181 | - | - | 6,14 | 6,17 | 1,42 | 1,06 | 33,3 | 34,5 | 18 | 12 |
| 30 | 153 | 183 | - | - | 6,14 | 6,17 | 2,10 | 0,94 | 33,4 | 34,6 | 24 | 33 |
| 40 | 173 | 219 | - | - | 6,13 | 6,17 | 2,23 | 1,04 | 33,5 | 34,7 | 33 | 42 |
| 50 | 224 | 170 | - | - | 6,13 | 6,16 | 1,63 | 1,05 | 33,5 | 34,7 | 20 | 33 |
| 60 | 173 | 181 | 50 | 48 | 6,13 | 6,17 | 1,50 | 1,05 | 33,6 | 34,7 | 20 | 20 |

Obs. tempo 0= após 20 minutos de enchimento



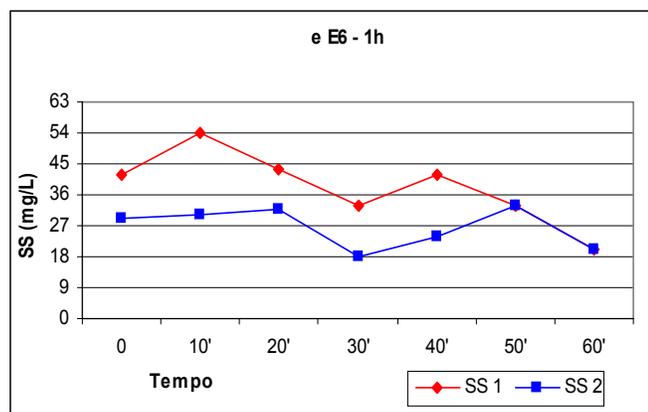


Figura 5.4.- Variação dos parâmetros medidos nos ensaios E5 e E6.

Os resultados dos ciclos E5 e E6 (tabela 5.6. e figura 5.4.) mostram que a temperatura oscilou entre 32°C e 36°C para ambos os ciclos, estando elevada em função da época do ano (outubro). Os valores de pH situaram-se entre 6,18 e 6,54. O OD no início dos ciclos era próximo a zero; para o ciclo E5 o OD teve dois aumentos, o primeiro aos dez minutos do ciclo, passando de 0,33 mg/L para 1,0 mg/L, o segundo foi aos trinta minutos, passando para 2,0 mg/L e aos cinquenta minutos houve um decréscimo para 1,0 mg/L. No ciclo E6, o OD praticamente não variou ficando próximo de 1,0 mg/L.

Os sólidos suspensos estiveram baixos, variando entre 18 e 55 mg/L. Para a DQO_F houve remoção em torno de 50% , chegando a concentrações da ordem de 180 mg/L, havendo, portanto, uma eficiência considerada regular na remoção da matéria carbonácea nesses ciclos, este fato deve-se possivelmente a baixa concentração de OD, na fase aeróbia. Estudos desenvolvidos por Wolff (1997), em leito fluidizado com efluente têxtil, mostraram que a DQO era eficientemente removida quando no reator a concentração de OD era igual ou superior a 3,0 mg/L. Outro fator deve-se a existência de ter-se pouco biofilme aderido ao material suporte.

5.1.4. Desenvolvimento do biofilme

5.1.4.1. Ensaios preliminares P1 a P47

Os flocos do material em suspensão no meio líquido e o biofilme aderido ao meio suporte, desenvolvidos nos ensaios P1 a P47, foram observados ao microscópio ótico, com aumento de 100 vezes, algumas das imagens capturadas são apresentadas nas figuras 5.5 a 5.8 (líquido) e figuras 5.9 e 5.10 (biofilme aderido).



Figura 5.5 -. Floco mal formado (T=30dias)



Figura 5.6 -. Spirilos (T= 70 dias)



Figura 5.7-. Zooflagelado e bactérias livres
(T= 70 dias)



Figura 5.8 - Cabeça de *Vorticella sp*
(T= 100 dias)

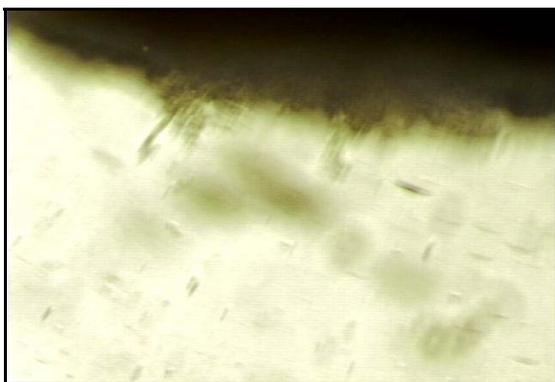


Figura 5.9 - Pequena quantidade de biofilme aderido (T= 50 dias).



Figura 5.10-. Biofilme mal formado (T= 100 dias)

Nos primeiros meses de ensaios com o reator 1 observou-se pouca variedade de microrganismos e muitas bactérias livres. Na figura 5.5 observa-se floco mal formado; na figura 5.6 a presença de Spirilos, que são indicadores de ambientes anaeróbios; na figura 5.7 tem-se Zooflagelado e bactérias livres, indicativo de deficiência na aeração, má depuração e sobrecarga orgânica (CETESB, 1997); na figura 5.8, observa-se cabeça de *Vorticella* sp, significando, por conseqüência, a má formação do biofilme, confirmado pela observação do meio suporte (figuras 5.9 e 5.10), onde verificam-se poucos microrganismos agregados. Esta situação é resultado da baixa qualidade do efluente em termos de C/N/P e de fases com baixa oxigenação no reator, impedindo o adequado desenvolvimento dos microrganismos aeróbios.

Nos processos de biomassa floculada, o floco tem importante papel de agente físico-químico na depuração, dada sua natureza essencialmente coloidal, adsorvendo partículas; além disso, desempenha papel biológico, assimilando substâncias orgânicas que transformam, parte em energia e parte em novos organismos, através do processo de síntese (Lackey et al., 1956 citado por BRANCO, 1978). Nos processos de biomassa fixa, o essencial do tratamento é realizado pela ação dos microrganismos que formam o biofilme, porém, os flocos formados no meio líquido, resultantes do desprendimento do biofilme, também têm uma ação biológica no tratamento.

A causa do crescimento dispersivo é uma inadequada biofloculação, resultando na má formação de flocos e do biofilme. Nos processos de biomassa floculada (lodos ativados, por exemplo), o crescimento dispersivo deve-se a um *breakup* ou desfloculação de flocos existentes.

Três causas genéricas podem ser identificadas para este tipo de dispersão do crescimento: o cisalhamento mecânico, a presença de surfactantes e a ação de produtos tóxicos.

A quebra dos flocos pelo cisalhamento geralmente ocorre em processo com métodos de aeração vigorosos, processos super-oxidados ou lodos ativados com carga tóxica. Os reatores de leito fluidizados podem ser caracterizados por reatores de fluxo turbulento, devido a passagem do ar e do líquido, causando atrito entre as partículas do material suporte e de cisalhamento do biofilme. As frações de biofilme que se despreendem formam pequenos flocos (COSTA, 1989). O aumento da turbulência favorece o crescimento de alguns tipos de microrganismos livres, que não são nem fixos e nem suspensos, e não se atraem para formar os flocos. Estes organismos podem ser filamentosos ou bactérias livres, sendo as gram negativas as mais comuns. A ocorrência destes organismos leva ao aparecimento de turbidez no líquido, estando também associado à falta de nutrientes e pouca disponibilidade de alimentos (baixa relação F/M) na operação (GRAU et al., 1982).

Quando há presença de espumas na superfície da unidade de tratamento, os surfactantes podem ser a causa da dispersão dos flocos. Observa-se esse fenômeno em processos que tratam águas residuárias oriundas de atividade industriais como restaurantes, farmacêuticas, têxtil e outras (JENKINS et al., 1993). No reator 1, em alguns ciclos, observou-se a presença de espumas no interior do reator, devido provavelmente a qualidade do esgoto afluente e forte agitação do meio líquido. A presença de compostos tóxicos, especialmente metais pesados, pode resultar em crescimento disperso. Os organismos filamentosos, se presentes nos lodos, são freqüentemente os primeiros a serem afetados pelos metais tóxicos. Não raro pode ocorrer um "bloom" de protozoários, na maioria flagelados, seguido de desfloculação (JENKINS et al., 1993).

5.1.4.2. Ensaios com ciclos aeróbios E1 a E6

Os resultados (figuras 5.11a a 5.16) mostram o meio líquido com pequenos flocos e bactérias e a formação do biofilme com ocorrência de *Zooglea* (figuras 5.12 e 5.13), no início desses ensaios; ao longo dos ciclos (figuras 5.14 a 5.16), observou-se a presença de rotíferos, ciliados *Vorticellas* sp e colonização do meio suporte com muitos filamentosos.



Figura 5.11-. Pequenos flocos e bactérias livres
(T= 105 dias)



Figura 5.12 Biofilme com Zoogloea
(T= 105 dias)



Figura 5.13-. Biofilme (T= 110 dias)



Figura 5.14. Rotíferos (T= 120 dias)



Figura 5.15 -. Meio suporte sendo colonizado
(T= 110 dias)



Figura 5.16 - . Flocos com *Vorticella* sp.
(T= 110 dias)

5.1.5. Resumo das condições operacionais e discussão final dos resultados com o reator 1

A tabela 5.7. apresenta um resumo das condições operacionais, estabelecidas (T_c) e calculadas (TRH, n° ciclos possíveis por dia e vazão), e cargas aplicadas e removidas nos diferentes ciclos efetuados no reator 1.

Tabela 5.7. Resumo das condições operacionais e cargas aplicadas e removidas – reator 1

| Ciclo | Tempo total de duração do ciclo - T_c | TRH (horas) | N° ciclos possíveis por dia | Vazão de tratamento (m^3/d) | COV média aplicada/removida ($kg\ DQO_F/m^3.d$) | Eficiência de remoção DQO_F (%) | DQO_F residual média final do ciclo (mg/L) |
|-----------|---|-------------|-----------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| P1 a P16 | 5 h | 58,9 | 4,8 | 1,10 | 1,36 / 0,88 | 65 | 100 |
| P17 a P47 | 2 : 5' | 24,54 | 11,5 | 2,70 | 2,89 / 1,88 | 65 | 88 |
| E1 e E2 | 6 :20' | 74,61 | 3,6 | 0,84 | 0,82 / 0,45 | 60 | 95 |
| E3 e E4 | 2 :20' | 27,50 | 9,0 | 2,10 | 5,34 / 4,0 | 75 | 150 |
| E5 e E6 | 1: 20' | 15,70 | 14,0 | 3,20 | 4,83 / 2,40 | 50 | 175 |

O tratamento do efluente do RU foi estudado no reator 1 através de diferentes condições operacionais, com ciclos cujos tempos de duração variaram entre 1 hora e 20 minutos e 6 horas e 20 minutos; TRH entre 15,70 e 74,60 horas; e COV entre 0,82 e 5,34 $kg\ DQO_F/m^3.d$.

O reator mostrou-se eficaz na remoção da matéria carbonácea, com eficiência média de remoção de DQO_F entre 50% e 75%, apresentando DQO_F residual média inferior a 180 mg/L no final dos ciclos. As condições de baixa concentração de $N-NH_4$, baixo pH e pouca aeração do reator nas fases aeróbias, impediram que o processo de nitrificação se estabelecesse. A baixa qualidade do efluente do RU, com deficiência em nutrientes (N, P), certamente foi o fator mais negativo para o completo tratamento do efluente.

As observações microscópicas do meio líquido e do biofilme mostram que, durante quase todo o período de ensaios com o reator 1, houve deficiência na formação do biofilme, com a presença de muitas bactérias livres e flocos pequenos e mal estruturados no meio líquido. Nos ciclos

finais (E1 a E6), observou-se a presença de microrganismos ciliados como *Vorticella* sp e também rotíferos, caracterizando o começo da colonização do meio suporte, indicando que no decorrer de algum tempo o biofilme se tornaria coeso e com diversidade de microrganismos.

5.2. ETAPA 2 – ENSAIOS NO REATOR 2

Nessa etapa, foi utilizado o reator 2 com o objetivo de verificar a possibilidade de tratamento completo do efluente do RU (remoção carbonácea e nutrientes) em um reator RSLFB, sendo também testado esgoto doméstico. Ressalta-se que a escolha desse reator para a continuidade dos estudos, abandonando o reator 1, deve-se ao fato do reator 2 encontrar-se em funcionamento depois de 8 meses, para estudos em leito fluidizado convencional em contínuo (MARTINS, 2003), com biofilme bem desenvolvido na superfície do material suporte.

5.2.1. Ensaios com ciclos com aeração

Inicialmente, foram efetuados ciclos com aeração, com duas horas de duração, com o objetivo de verificar o tratamento do efluente do RU em termos de DQO_F , nutrientes e sólidos suspensos, num total de 8 ensaios (E7 a E14) conforme descrito no item 4.3.1. As figuras 5.17 a 5.23 mostram a evolução dos principais parâmetros de acompanhamento dos ciclos.

Observa-se na figura 5.17 e 5.18 que as concentrações de oxigênio dissolvido (OD) variaram entre 0,3 e 3,0 mg/L, sendo em média de 1,5 a 2,0 mg/L, nos ciclos E7 a E14. A temperatura média oscilou entre 26 e 32°C ao longo desses ciclos.

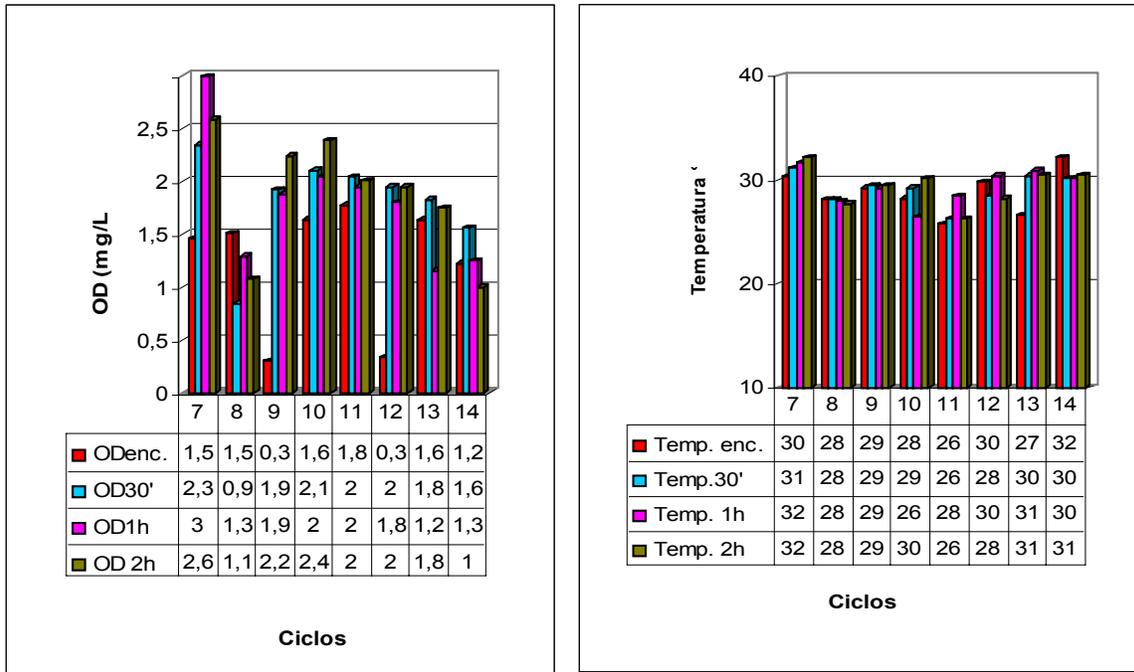


Figura 5.17 e 5.18 - Evolução do Oxigênio Dissolvido (OD) e da temperatura ao longo dos ciclos E7 a E14.

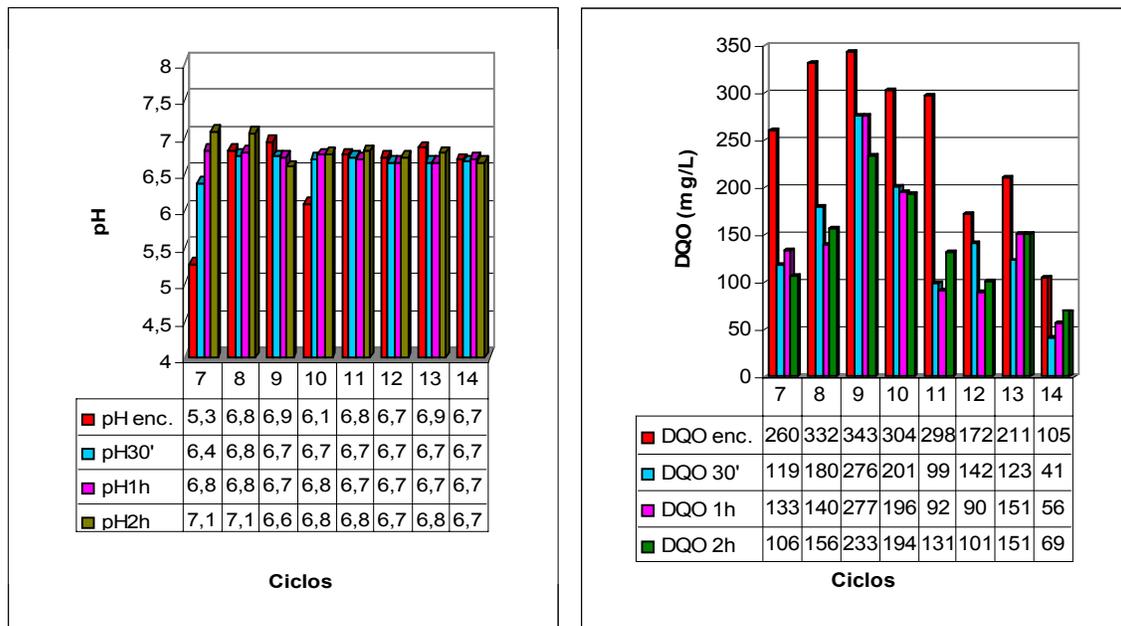


Figura 5.19 e 5.20 - Evolução do pH e da DQO_F ao longo dos ciclos E7 a E14.

Em relação ao pH (figura 5.19), para os 8 ensaios observou-se que os valores foram baixos, com média de 6,70, mantendo-se ao longo dos ciclos entre 6,0 e 7,0. Os valores da DQO_F afluente (figura 5.20) variaram entre 343 mg/L e 105 mg/L, tendo concentrações semelhantes a de esgotos

domésticos brutos (Von SPERLING, 1998), sendo inferiores a 180 mg/L nos ciclos E12 e E14. A eficiência média na remoção de DQO foi de 44,5%, com mínima de 20% e máxima de 69%, resultando em concentrações da DQO_F no final dos ciclos entre 233 mg/L e 69 mg/L. Estes resultados acompanham aqueles obtidos por Martins (2003), com eficiência de 55% de remoção de DQO_F neste mesmo reator, trabalhando em leite fluidizado convencional e material suporte PET. Ressalta-se que a DQO_F já era eficientemente removida aos 30 minutos do tempo do ciclo.

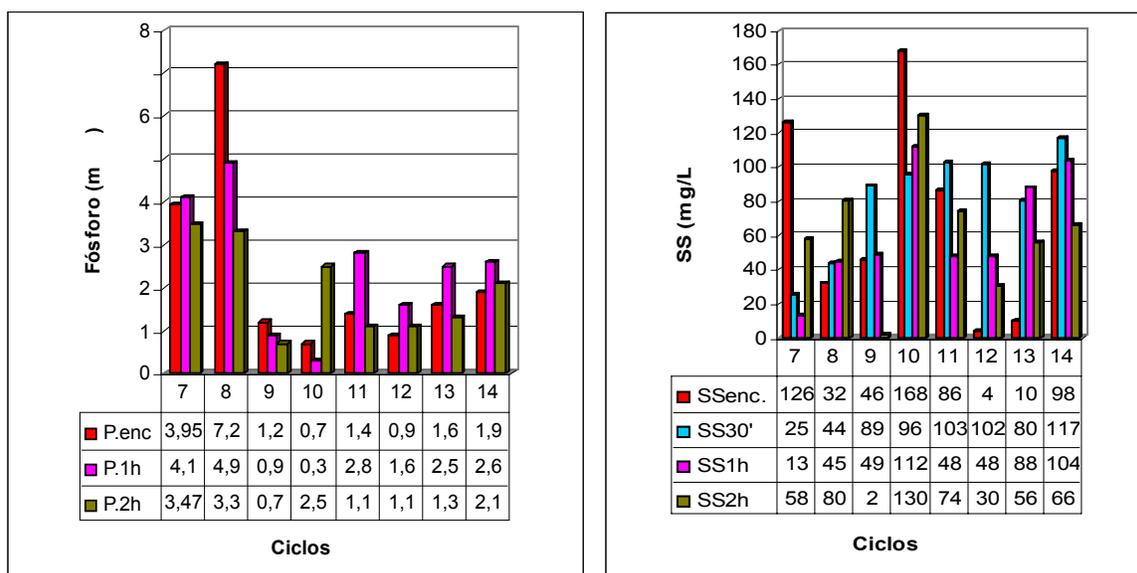


Figura 5.21 e 5.22.- Evolução do fósforo total e dos sólidos suspensos ao longo dos ciclos E7 a E14.

Para o fósforo total (figura 5.21) observou-se que este parâmetro apresentou-se em baixas concentrações no início dos ciclos (< 4 mg/L), com exceção do E8. No geral, as concentrações de saída estiveram também baixas ($< 2,0$ mg/L). Nota-se no E10 que houve relargagem do fósforo no final do ciclo, e nos ensaios E11 a E14 houve relargagem no meio do ciclo, sendo a concentração nessa etapa superior a de entrada no reator. Em relação aos sólidos suspensos (figura 5.22), a concentração esteve inferior a 80 mg/L no final dos ciclos, com exceção do E10, coincidindo com a relargagem do fósforo, provavelmente devido a algum fator operacional, como por exemplo, variações na vazão de recirculação aumentando o efeito de cisalhamento, com estresse microbiano e queda do biofilme.

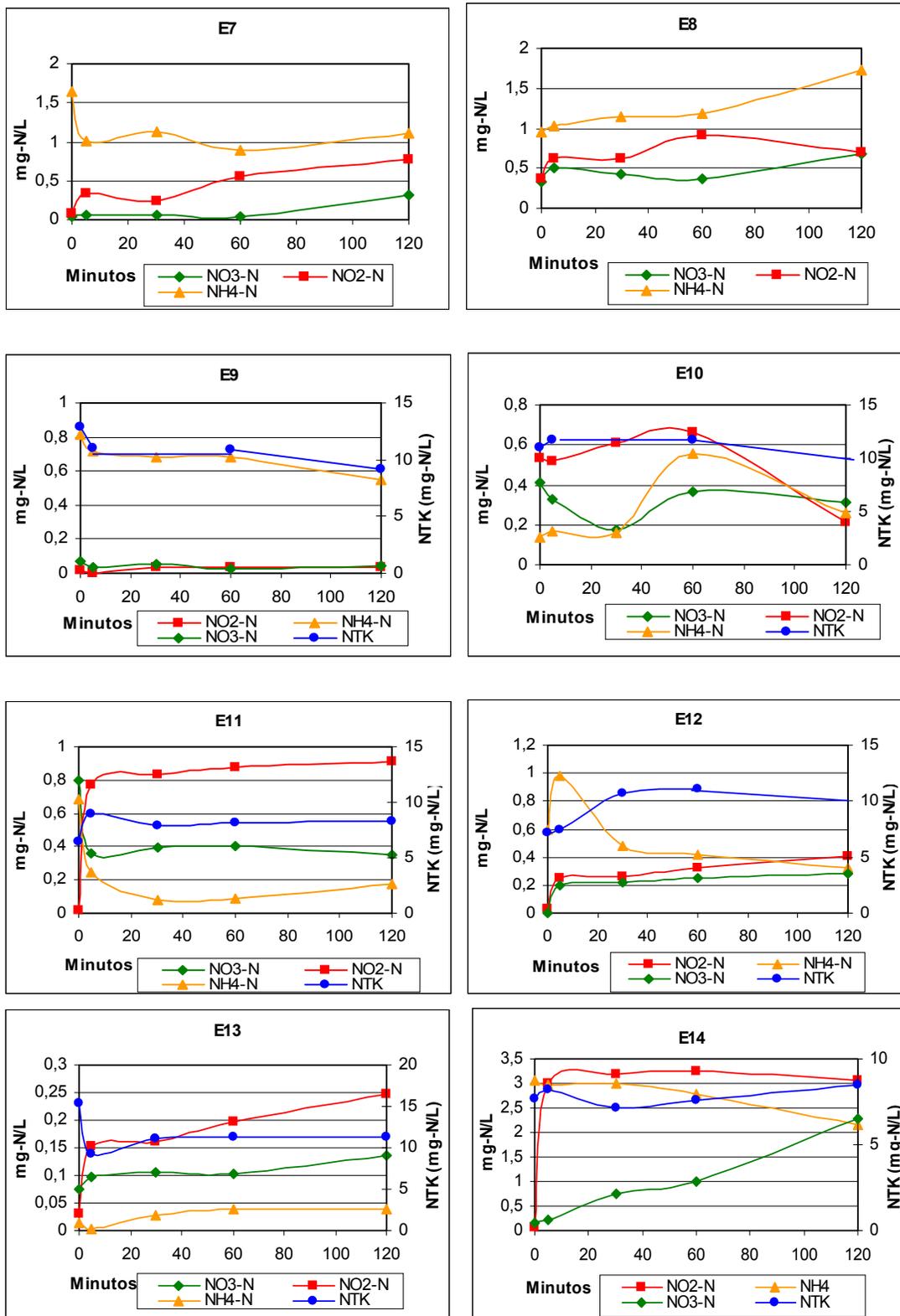


Figura 5.23.- Perfil temporal dos compostos de nitrogênio (NH₄ - N, NO₂ -N, NO₃-N e NTK) ao longo dos ciclos E7 a E14.

As curvas apresentadas na figura 5.23 mostram que o esgoto afluente apresentou-se com pequenas concentrações de NTK (~10 mg/L), não havendo praticamente alteração deste ao longo dos ciclos; dessa forma observa-se também que não houve nitrificação(ou apenas começo), as concentrações de $\text{NH}_4\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$ e $\text{NO}_3\text{-N}$ permaneceram sempre muito baixas (< 3,0 mg/L).

As relações médias obtidas nesses ciclos para $\text{DQO}_F/\text{N}/\text{P}$ do esgoto afluente foram de 150/5,93/1,18, portanto próximas da relação recomendada por Metcalf & Eddy (1991), sendo considerado nesse caso o NTK e o fósforo total. Caso seja considerado o nitrogênio assimilável (amônia, nitrito e nitrato), a relação $\text{DQO}_F/\text{N}_{\text{assimilável}}$ média é de 35/0,28 evidenciando uma carência desse nutriente no esgoto afluente, cujo valor recomendado por Goel & Gaudy (1969) citados em Roques (1980) é de 35/1.

5.2.2. Estudo de estratégias operacionais ciclos com aeração – sem aeração

Na seqüência dos trabalhos, foram realizados vários ensaios, utilizando o efluente do RU, com ciclos de fases alternadas com aeração e sem aeração, segundo metodologia utilizada por Katsogiannis et al. (2002), sendo 8 ensaios (E15 a E22) para estudar a estratégia operacional 2:2 (2 horas com aeração e 2 horas sem aeração), 8 ensaios com a estratégia 1:3 (E23 a E30) e 8 ensaios com a estratégia 1,5:4,5 (E31 a E38). Também foi testado esgoto doméstico, proveniente de estação elevatória da Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), tendo sido realizados 2 ensaios com a estratégia 1:3 (E39 e E40), 2 ensaios com a estratégia 1,5:4,5 (E41 e E42) e 1 ensaio com a estratégia 2:2 (E43), conforme descrito no item 4.3.1.

5.2.2.1. Estratégia 2:2

As figuras 5.24 a 5.29 mostram os resultados dos parâmetros: pH, OD, temperatura, DQOF, fósforo total, sólidos suspensos e compostos de nitrogênio, ao longo dos ciclos realizados com a estratégia 2:2 (E15 a E22). As tabelas apresentadas no apêndice E mostram os resultados obtidos para todos os parâmetros analisados.

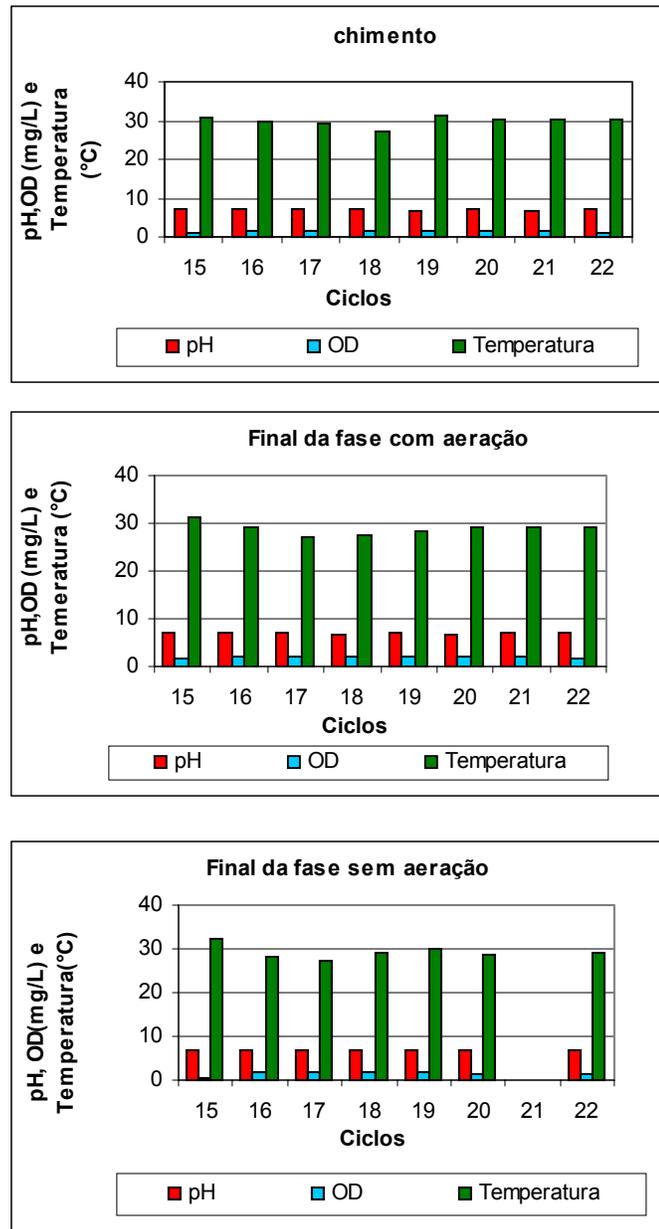


Figura 5.24-.Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos da estratégia 2:2.

Conforme mostram os resultados da figura 5.24, neste período de execução da estratégia 2:2, o OD sempre se manteve acima de 1,0 mg/L, mesmo quando não havia aeração, com exceção do ensaio E15. O pH variou entre 5,88 e 7,15; a temperatura foi em média de 30°C, ao longo dos ciclos.

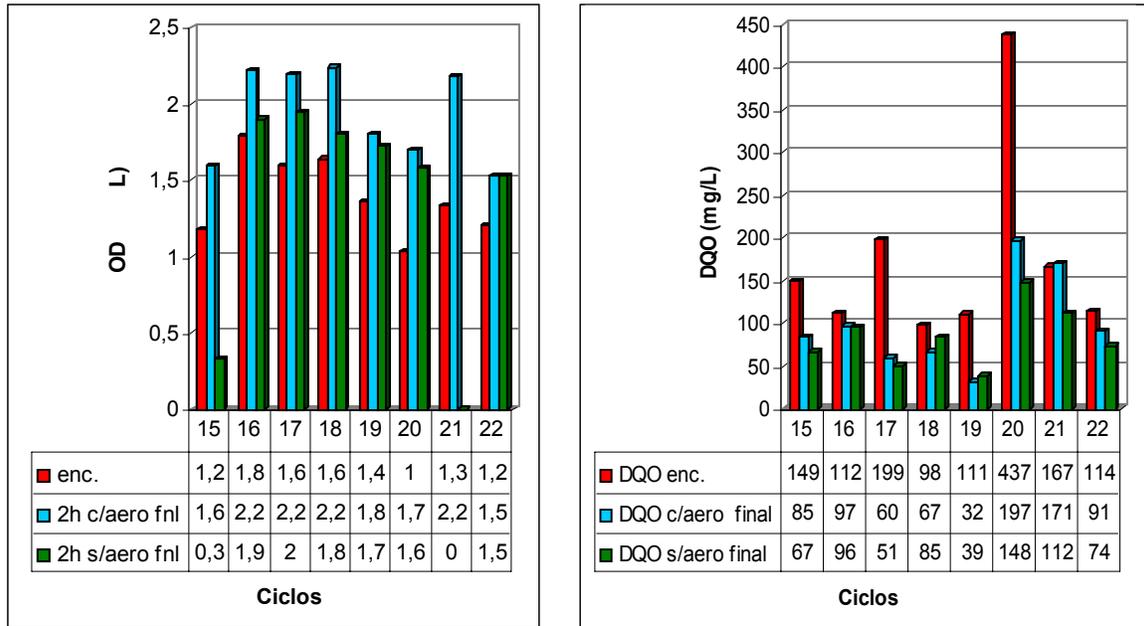


Figura 5.25 -Resultados do OD e da DQO_F ao longo dos ciclos, estratégia 2:2.

Observa-se na figura 5.25 que o OD sempre esteve acima de 1,0 mg/l na fase sem aeração, exceto nos ensaios E15 e E21. Para a DQO_F, com exceção do E20 e E21, a DQO_F afluyente foi menor que 200 mg/L, ou seja o esgoto já chegava ao reator com baixa concentração em matéria orgânica carbonácea. As concentrações da DQO_F no final do ciclo tiveram média de 84 mg/L, com máximo de 148 mg/L e mínimo de 39 mg/L, resultando em remoção média de 53%, com mínima de 14% (E16 e E18) e máxima de 66% (E19 e E20).

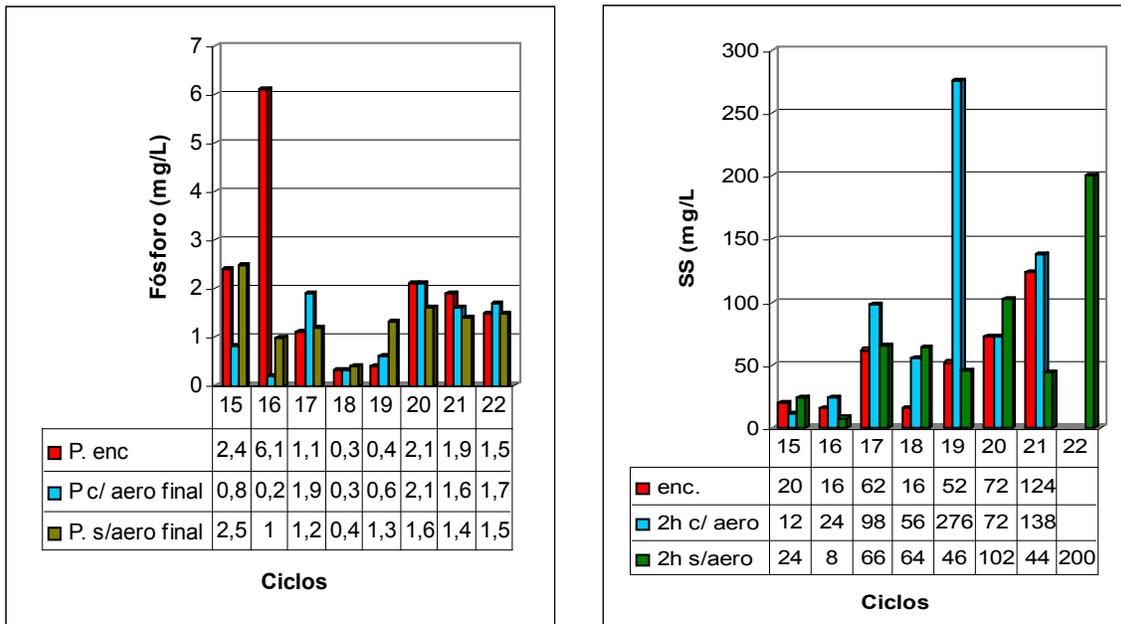


Figura 5.26.e 5.27 - Resultados do fósforo total e sólidos suspensos ao longo dos ciclos, estratégia 2:2

Nos ensaios com a estratégia 2:2 as concentrações afluentes de fósforo total foram muito baixas (< 2 mg/L) exceto no E16 e E18. A relação DQO_F/P foi em média de 100/1,12, acima da faixa considerada ideal para tratamento biológico segundo Morgan & Fruh (1961) citados em Roques (1980) (entre 100/0,15 e 100/0,45), porém esse esgoto já apresentava baixas concentrações afluentes de DQO_F e P, sendo esse residual refratário ao completo tratamento, tendo em alguns ciclos concentrações próximas ao exigido pela Legislação Ambiental de Santa Catarina ($PT \leq 1,0$ mg/L).

Os sólidos suspensos também se apresentaram baixos ao longo dos ciclos, exceto no E22, cujos valores finais foram da ordem de 200 mg/L, neste ciclo, porém, devido a problemas de manipulação dos filtros, os valores de SS não foram determinados em todas as fases. Observa-se também dois picos de SS nos ciclos E15 e E19 (> 200 mg/L), provavelmente decorrente de perdas do biofilme, diminuindo na seqüência do ciclo.

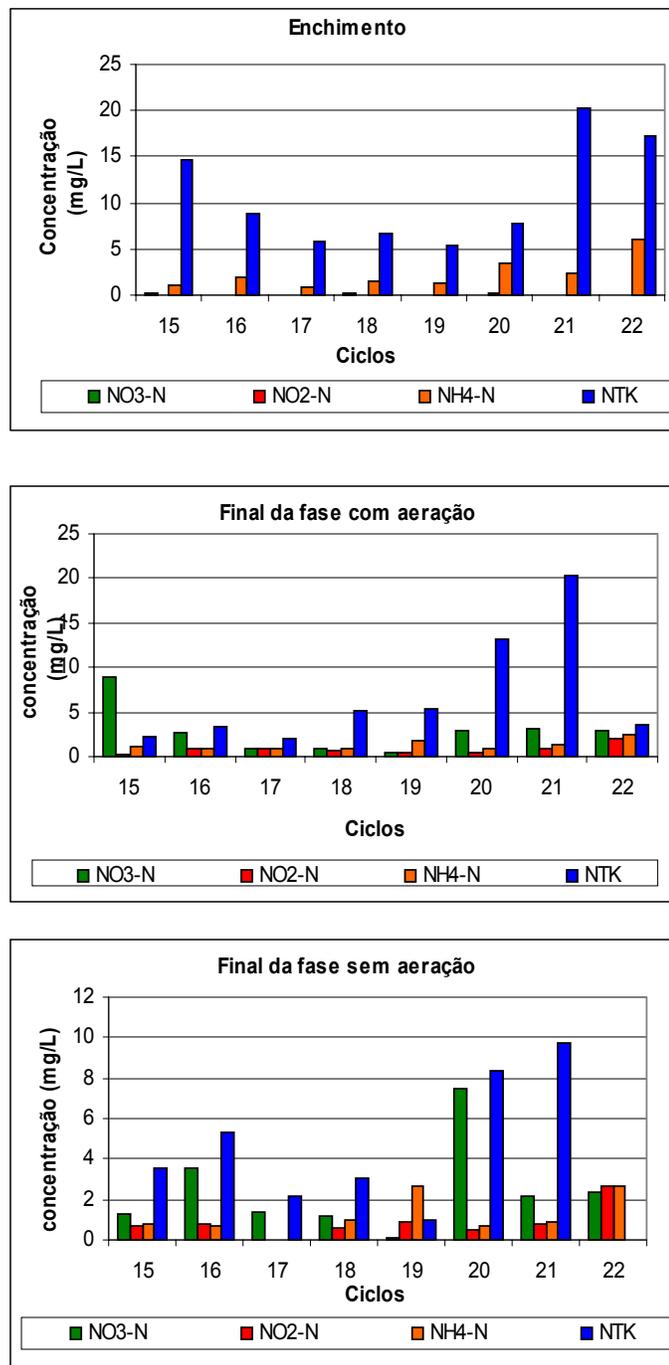


Figura 5.28 - Evolução do $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e NTK ao longo dos ciclos efetuados com a estratégia 2:2.

Nesses ciclos verifica-se que em sua maioria o NTK inicial apresentou-se com baixas concentrações (< 10 mg/L), exceto nos ciclos E15, E21 e E22. A relação $DQO_F/N_{\text{assimilável}}$ foi de 35/0,53, considerada baixa, não satisfatória para o tratamento biológico (Goel & Gaudi, 1969, citados em ROQUES, 1980), o reator durante essa estratégia não completou o processo de nitrificação. A figura 5.28 apresenta um perfil temporal dos parâmetros monitorados no ciclo E15.

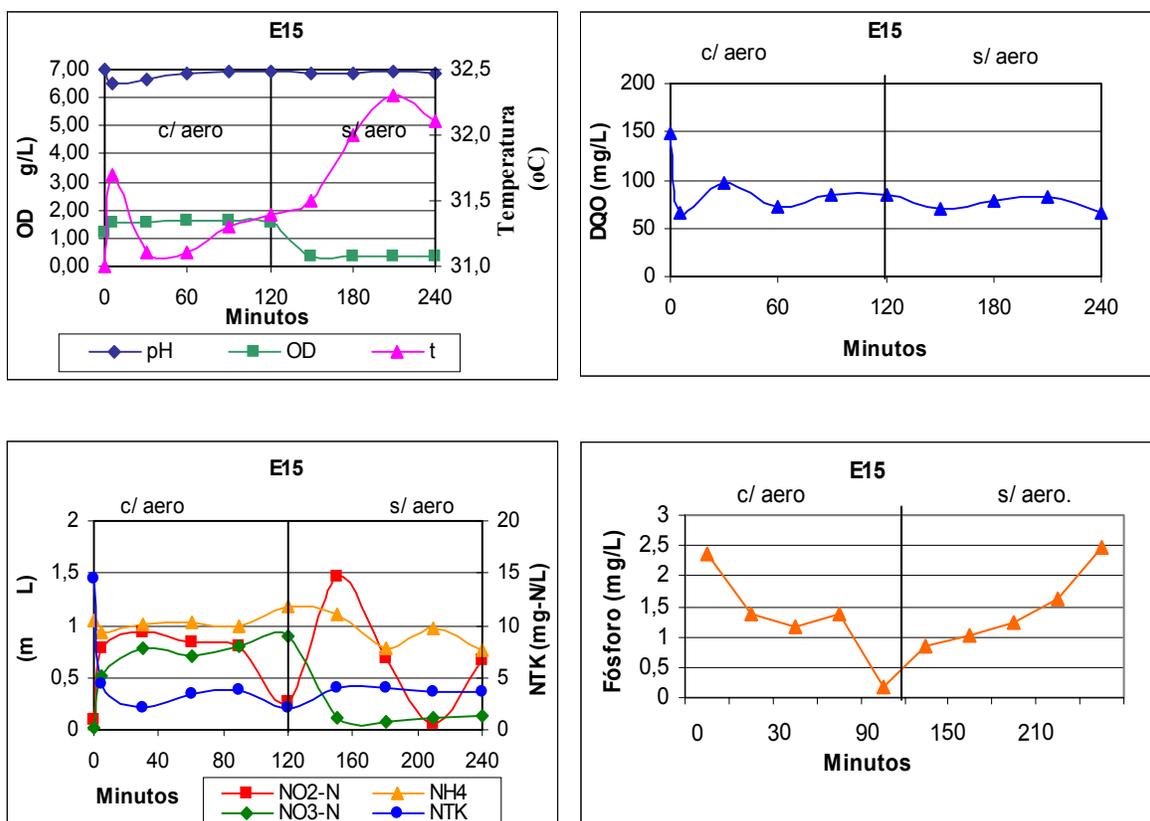


Figura 5.29 - Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E15.

O ensaio E15 foi um dos melhores operacionalmente realizados durante a estratégia 2:2, uma vez que se observou concentração de OD da ordem de 1,5 mg/L durante a fase aerada e da ordem de 0,3 mg/L durante a fase sem aeração. Nos outros ciclos o OD permaneceu sempre acima de 1,0 mg/L, descaracterizando a fase sem aeração, isso aconteceu devido a problemas na configuração do reator, que injetava ar ambiente através da tubulação que ligava a saída do efluente do reator ao tanque de recirculação.

O pH esteve com valores ligeiramente inferiores a 7,0, o que segundo Metcalf & Eddy (1991) não favorece o processo de nitrificação. Os valores obtidos para o NTK mostram que ao se misturar o afluente com o volume retido no reator e tanque de recirculação, o NTK baixou de 1,5 para 0,5 mg/L. A amônia, nitrito e nitrato tiveram pequenos aumentos em suas concentrações na fase aerada e diminuíram durante a fase sem aeração, porém são valores baixos, não caracterizando uma efetiva nitrificação-desnitrificação.

Observa-se queda e estabilização da DQO_F durante a primeira hora do ciclo, já verificado em outros ciclos e também no reator 1. Quanto ao fósforo total nota-se queda na fase com aeração e aumento na fase sem aeração, comportamento observado também em outros ciclos dessa estratégia, em acordo com o processo de desfosfatação biológica.

5.2.2.2. Estratégia 1:3

As figuras 5.30 a 5.35. mostram os resultados dos parâmetros pH, OD, temperatura, DQO_F, fósforo total, sólidos suspensos e compostos de nitrogênio ao longo dos ciclos realizados com a estratégia 1:3 (E23 a E30). As tabelas apresentadas no apêndice E mostram os resultados obtidos para todos os parâmetros analisados.

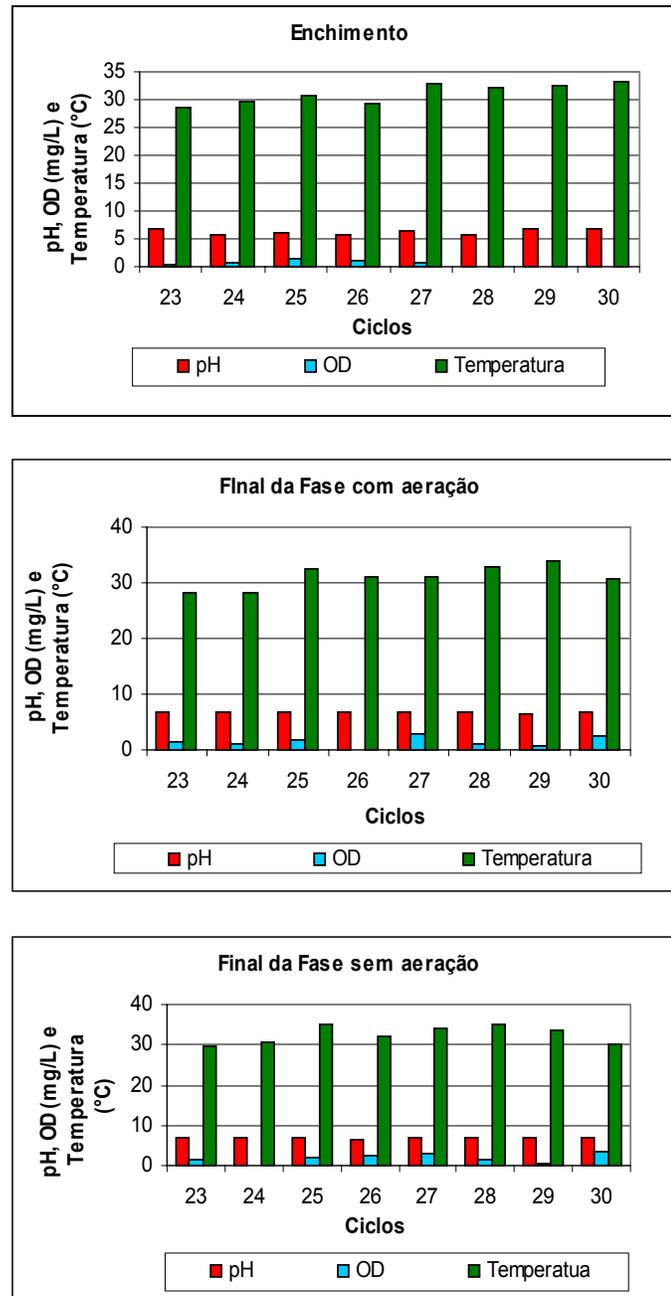


Figura 5.30 -.Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos da estratégia 1:3.

Durante a realização dos ensaios dessa estratégia, o OD manteve-se sempre abaixo de 1,0 mg/L, mesmo na fase aeróbia (figura 5.30 e 5.31), ocasionado por uma estratificação do leito de biopartículas, cujo biofilme apresentava-se repleto de microrganismos causando um consumo elevado em oxigênio, na ocasião, a vazão de ar era aumentada sistematicamente durante os ensaios. O pH variou entre 5,60 e 6,90 durante os ciclos e a temperatura média foi de 30°C.

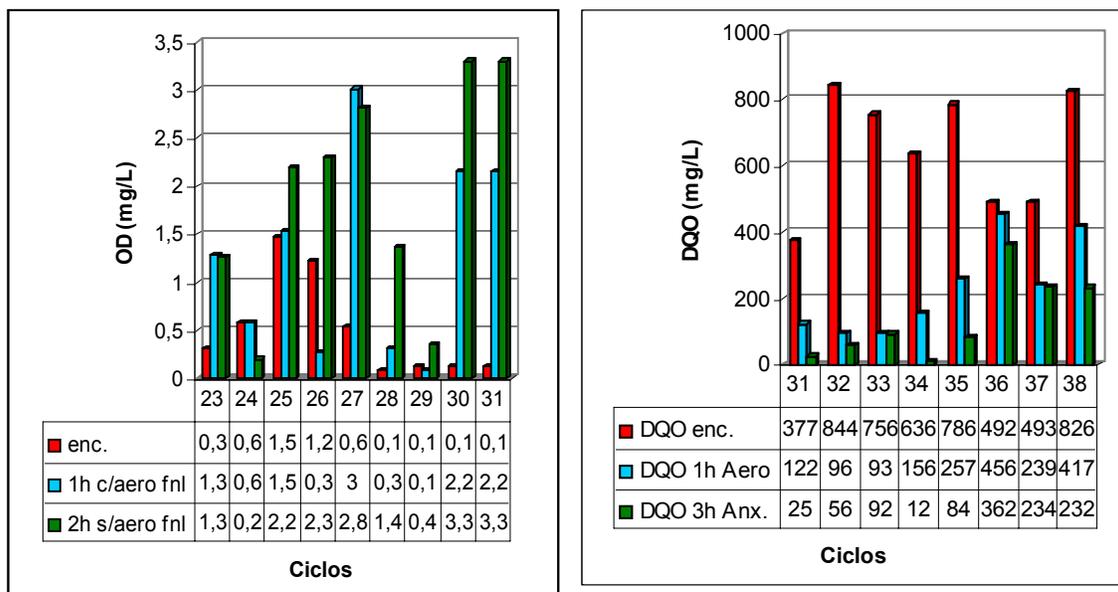


Figura 5.31.- Resultados do OD e da DQO_F ao longo dos ciclos, estratégia 1:3.

Nos ensaios da estratégia 1:3, a DQO_F afluente apresentou-se mais elevada que nos outros ensaios, com média de 378 mg/L, com característica de esgoto doméstico de forte concentração segundo Metcalf & Eddy (1991). A remoção média ficou em torno de 55%, próxima ao obtido com a estratégia 2:2. A DQO_F residual no final dos ciclos esteve entre 47 e 287 mg/L, com média de 169 mg/L.

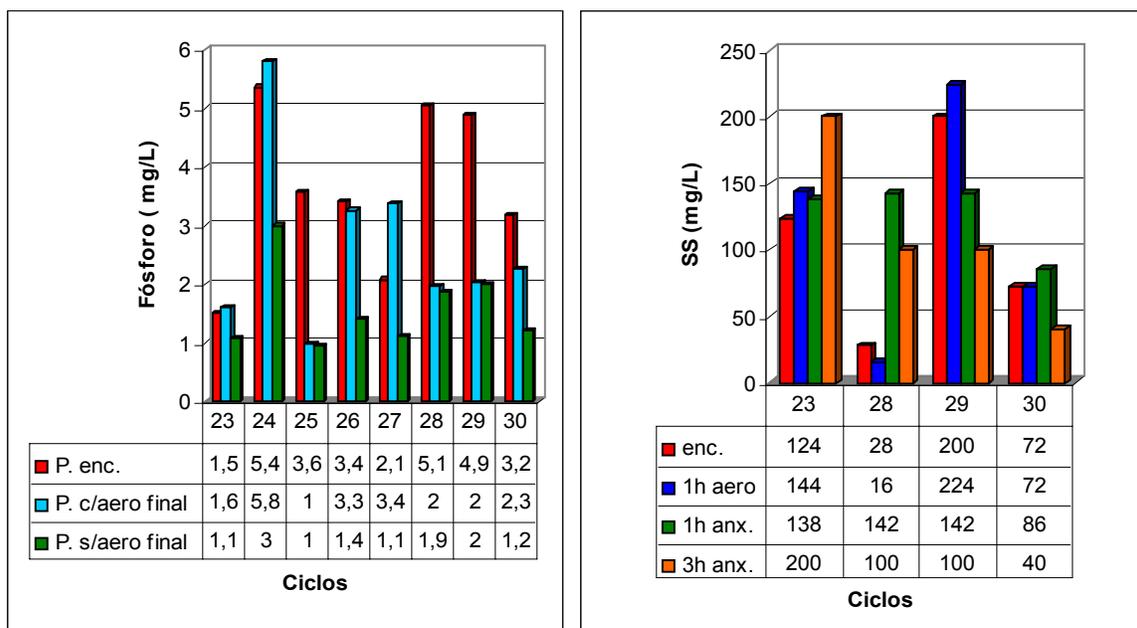


Figura 5.32 e 5.33. Resultados do fósforo total e sólidos suspensos ao longo dos ciclos, estratégia 1:3

Nos ensaios com a estratégia 1:3 as concentrações afluentes de fósforo total foram um pouco superiores às da estratégia 2:2. A relação DQO_F/P foi em média de 100/0,96, ainda fora da faixa considerada ideal para tratamento biológico (entre 100/0,15 e 100/0,45 segundo Morgan & Fruh, 1961 citados em ROQUES, 1980). O efluente apresentou-se com concentrações próximas ao exigido pela Legislação Ambiental de Santa Catarina ($PT \leq 1,0$ mg/L), exceto no ciclo E24.

Nesses ensaios devido a estratificação do leito de biopartículas, observou-se que havia um desprendimento do biofilme, aumentando visivelmente a turbidez do meio líquido, confirmado pelos valores dos sólidos suspensos acima de 100 mg/L nos ciclos E23, E28 e E29; devido a problemas operacionais de manipulação dos filtros, não foi possível medir-se os SS de todos os ciclos dessa estratégia.

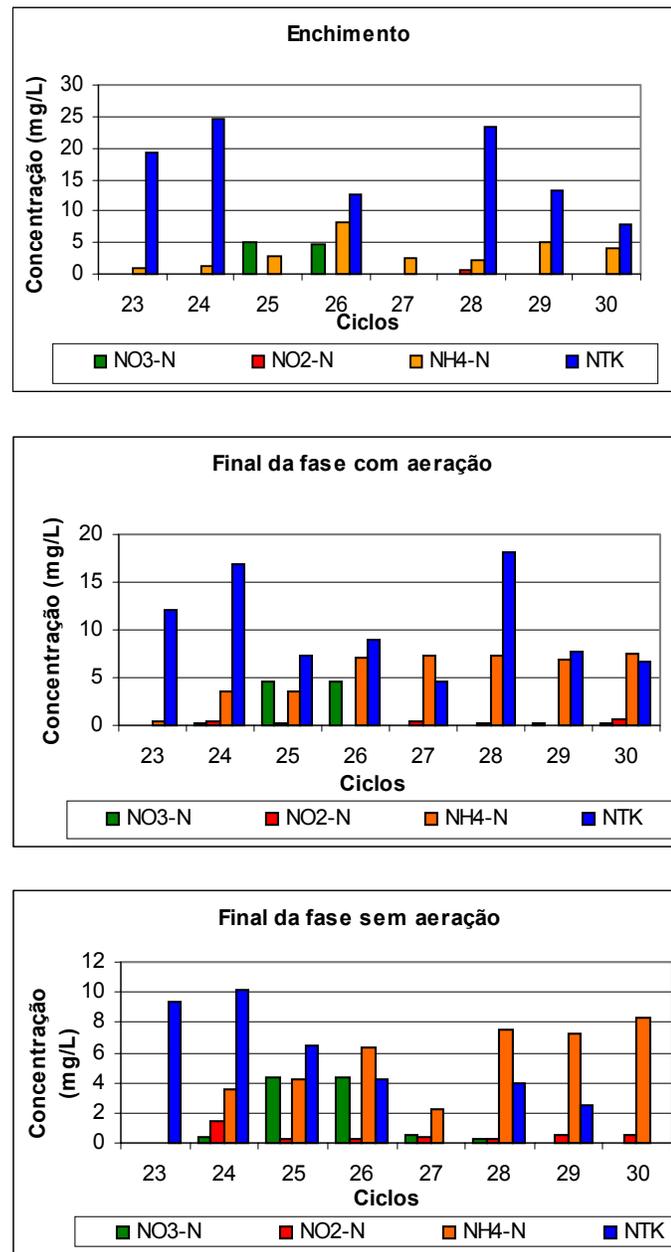


Figura 5.34 -. Evolução do $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e NTK ao longo dos ciclos efetuados com a estratégia 1:3 (obs. ciclos E25 e E27 problemas na determinação do NTK do enchimento)

Verifica-se na figura 5.34 que nesses ciclos o NTK inicial apresentou-se com concentração média de 15,6 mg/L, o reator apresentou aumento das concentrações de $\text{NH}_4\text{-N}$ na fase aeróbia,

porém praticamente não foi observada a presença de nitritos e nitratos, exceto quando estes já se encontravam presentes no esgoto afluente (E25 e E26). A relação $DQO_F/N_{\text{assimilável}}$ permaneceu baixa, sendo em média de 35/0,42.

A figura 5.35 apresenta em detalhe o perfil temporal dos parâmetros monitorados no ciclo E29.

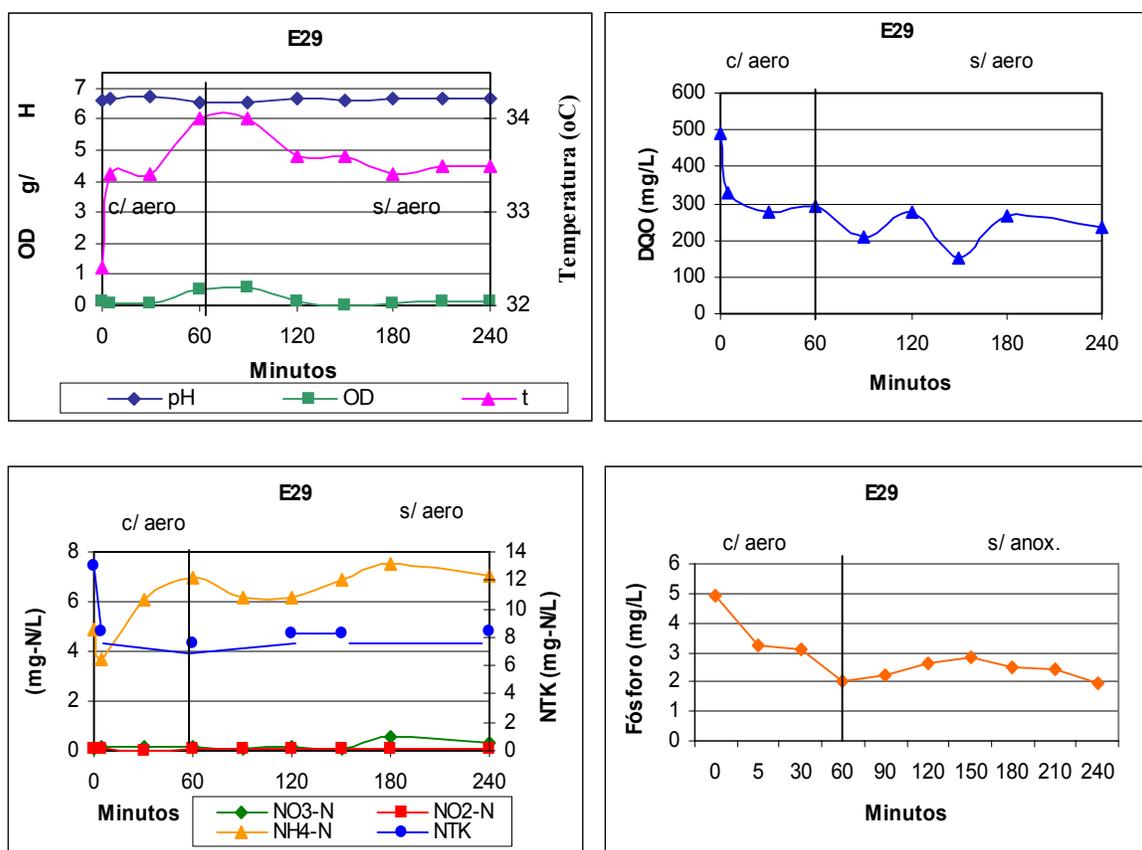


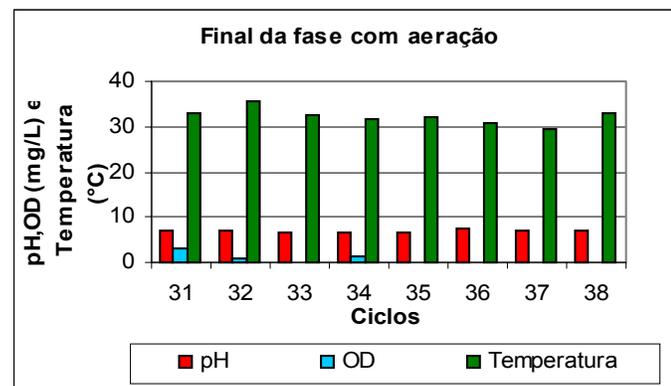
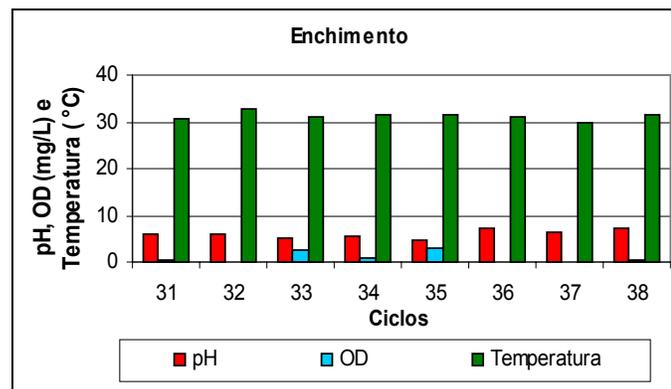
Figura 5.35 -. Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E29.

Os resultados obtidos no ciclo E29 mostram que o pH médio situou-se em 6,80, a temperatura média foi de 33,5 °C e as concentrações de OD foram muito baixas na fase aeróbia (< 1,0 mg/L). A DQO_F foi reduzida em cerca de 46%, apresentando concentração no final do ciclo em torno de 160 mg/L. A concentração de NTK passou de 13 mg/L durante o enchimento para 8 mg/L logo nos primeiros 5 minutos, devido a diluição com o efluente remanescente no reator, permanecendo nesse patamar o restante do ciclo. A amônia passou de 4 mg/L para 7 mg/L ao final

da fase aeróbia, oscilando entre 6 e 8 mg/L durante a fase sem aeração. As concentrações de nitritos e nitratos também foram muito baixas (< 1,0 mg/L). Quanto ao fósforo total, houve uma remoção em torno de 60%, não houve relargagem na fase sem aeração, a concentração no final do ciclo foi de 2,0 mg/L, ainda superior ao exigido pela legislação ambiental.

5.2.2.3. Estratégia 1,5:4,5

As figuras 5.36 a 5.41. mostram os resultados dos parâmetros pH, OD, temperatura, DQO_F, fósforo total, sólidos suspensos e compostos de nitrogênio ao longo dos ciclos realizados com a estratégia 1,5:4,5 (E31 a E38). As tabelas apresentadas no apêndice E mostram os resultados obtidos para todos os parâmetros analisados.



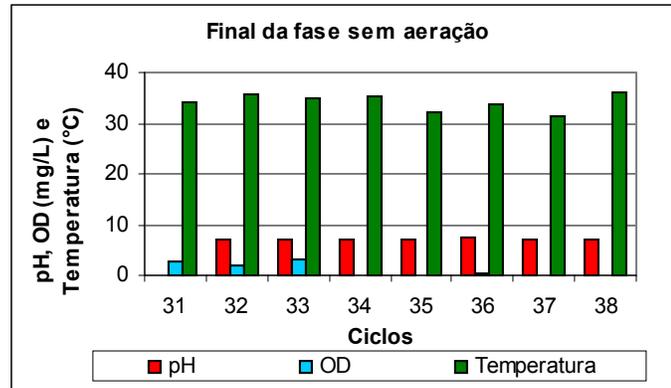


Figura 5.36.- Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos da estratégia 1,5:4,5.

Nos ensaios com a estratégia 1,5:4,5, os valores de OD variaram bastante ficando entre 3,20 a 0,02 mg/L, apresentando-se as vezes com concentrações superiores a 1,0 mg/L na fase sem aeração, e com falta de OD na fase com aeração, provavelmente devido a existência de biofilme espesso com estratificação no leito de biopartículas; a temperatura média foi de 31 °C e o pH oscilou entre 6,90 e 7,70, estando mais elevado que durante os ciclos realizados com as estratégias precedentes.

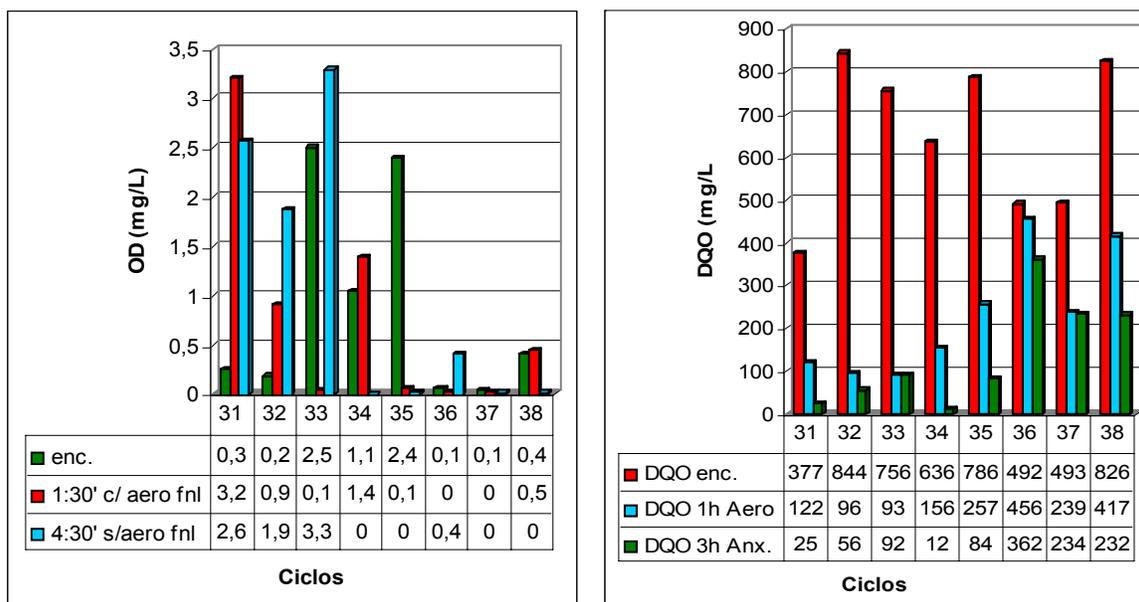


Figura 5.37 - Resultados do OD e da DQO_F ao longo dos ciclos, estratégia 1,5:4,5.

Nos ensaios da estratégia 1,5:4,5 a DQO_F do esgoto afluente esteve mais elevada que durante as outras estratégias, com média de 642 mg/L. O leito de biopartículas apresentou-se estratificado na maioria dos ciclos, porém a eficiência na remoção da DQO_F foi maior comparado com as outras estratégias testadas, sendo em média de 84% (não considerando E36), ressaltando-se que ela foi igual ou superior a 90% nos ciclos E31, E32, E33, E34 e E35 (com 98% no E34), o efluente no final desses ciclos ficou com DQO_F média de 54 mg/L.

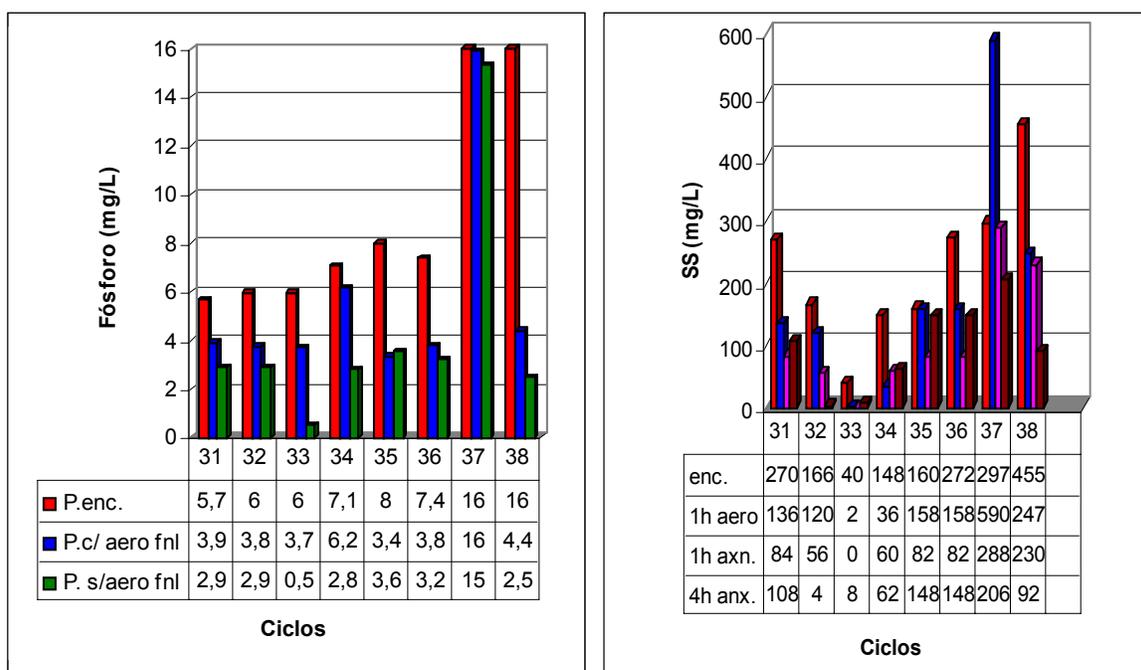


Figura 5.38.e 5.39 - Resultados do fósforo total e sólidos suspensos ao longo dos ciclos, estratégia 1,5:4,5

Nos ensaios com a estratégia 1,5:4,5 as concentrações afluentes de fósforo total foram superiores àquelas das estratégias 2:2 e 1:3, com valor médio de 9,80 mg/L, o qual segundo Metcalf & Eddy (1991) tem característica de esgoto doméstico médio a forte, igualmente para os valores obtidos na DQO_F afluente. A relação DQO_F/P foi em média de 100/1,46, fora da faixa considerada ideal para tratamento biológico (entre 100/0,15 e 100/0,45 segundo Morgan & Fruh, 1961 citados em Roques, 1980). A eficiência de remoção média foi de 62%, com máxima de 84% (E38). O efluente porém apresentou-se com concentrações acima do exigido pela Legislação Ambiental de Santa Catarina (PT ≤ 1,0 mg/L).

Os valores de sólidos suspensos ficaram abaixo de 100 mg/L nos ciclos onde a estratificação do leito foi pequena (E31, E32, E33, E34 e E38). Nos ciclos E35, E36 e E37, observou-se turbidez do meio líquido, confirmado pelos valores dos sólidos suspensos acima de 150 mg/L no final dos ciclos.

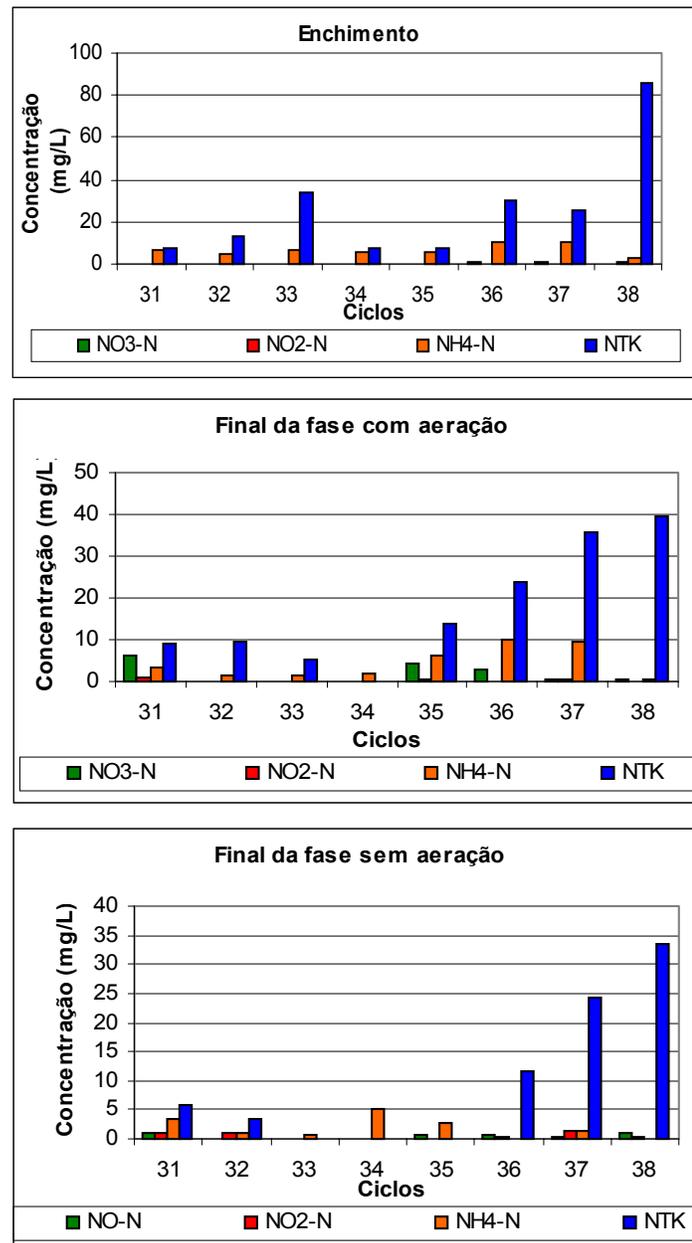


Figura 5.40 - Evolução do NO₃-N, NO₂-N, NH₄⁺-N e NTK ao longo dos ciclos efetuados com a estratégia 1,5:4,5.

Observa-se na figura 5.40 que o NTK apresentou-se no enchimento com baixas concentrações (< 10 mg/L) nos ciclos E31, E32, E34 e E35, nos demais ciclos a concentração foi superior ou igual a 20 mg/L, valores geralmente obtidos em águas residuárias domésticas brutas segundo Von Sperling (1998). Na fase com aeração observa-se início de nitrificação nos ciclos E31, E35 e E36, com desnitrificação na fase subsequente sem aeração. A relação $DQO_F/N_{\text{assimilável}}$ foi em média de 35/0,34; para os ciclos onde houve nitrificação teve-se 35/0,76 próximo do valor 35/1, recomendado por Goel & Gaudy (1969) citados em Roques (1980). A figura 5.41 apresenta um perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E31.

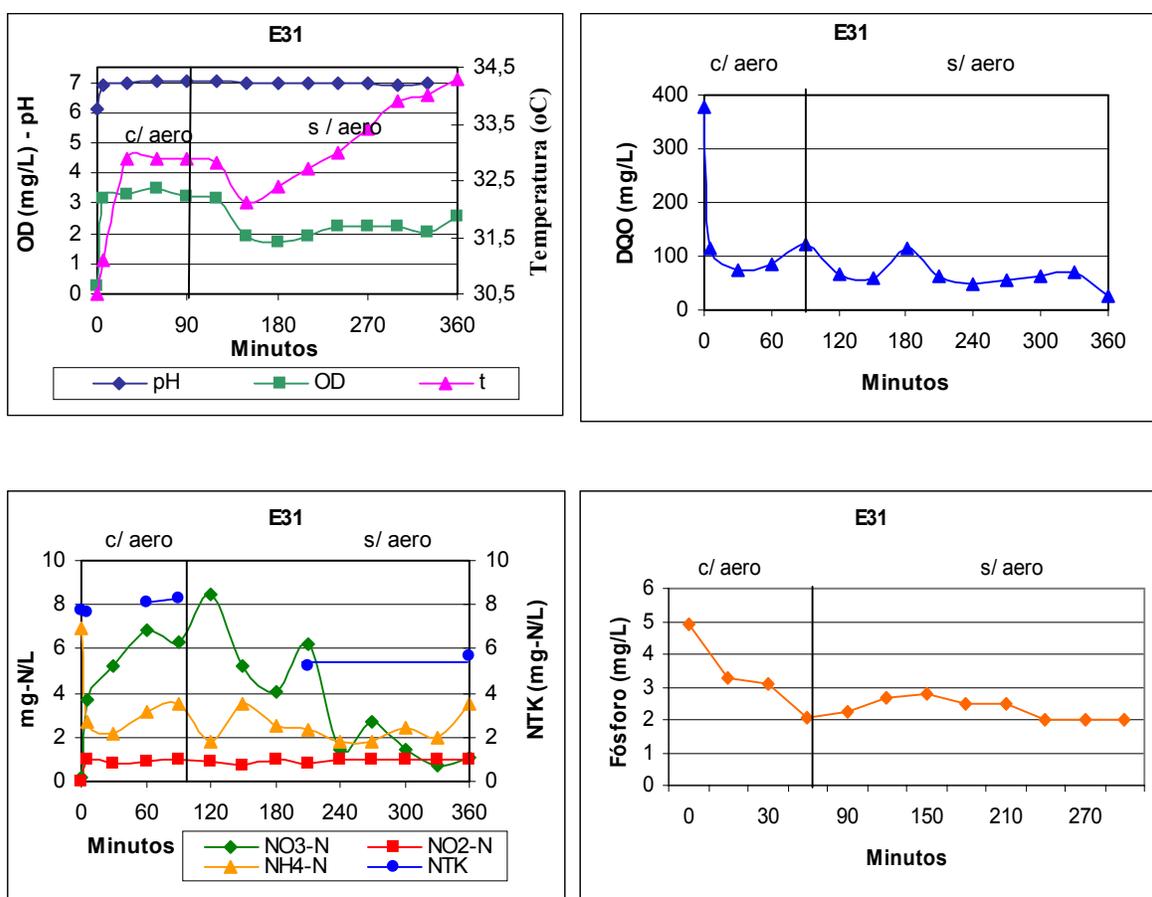


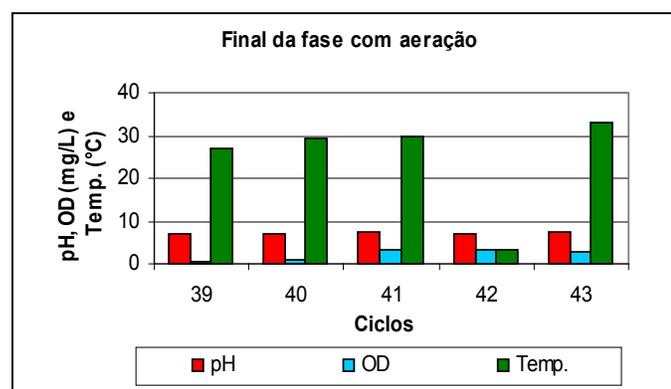
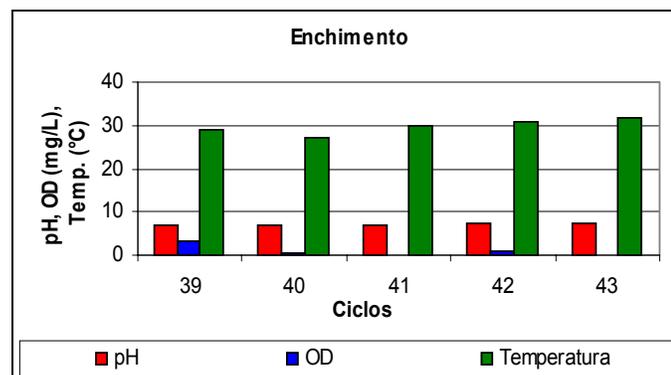
Figura 5.41 -. Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E31.

Durante o ciclo E31 o pH médio foi de 7,0; a temperatura média foi de 33,0 °C, variando entre 30,5 e 34,0 °C o OD esteve elevado durante todo o ciclo, acima de 3,0 mg/L na fase com

aeração e acima de 2,0 mg/L na fase sem aeração. O comportamento da DQOF foi idêntico ao dos outros ciclos, com decaimento durante a primeira hora do ciclo e estabilização entre 50-25 mg/L ($\epsilon=93\%$). O fósforo total também teve comportamento semelhante, passando de 5,7 mg/L no início do ciclo, para 2,9 mg/L no final do ciclo ($\epsilon=49\%$). Quanto aos compostos de nitrogênio, observa-se na figura 5.39 que o NTK ficou entre 8 e 6 mg/L, a amônia ficou em média 3 mg/L, com pouca variação durante o ciclo, os nitratos variaram entre 4 e 8 mg/L na fase aeróbia, havendo desnitrificação na fase anóxica, chegando a 1 mg/L, os nitritos praticamente não variaram, ficando em média 1 mg/L.

5.2.2.4. Estratégias utilizando esgoto doméstico (1:3, 1,5:4,5 e 2:2)

As figuras 5.42 a 5.49 mostram os resultados dos parâmetros pH, OD, temperatura, DQO_F, fósforo total, sólidos suspensos e compostos de nitrogênio ao longo dos ciclos realizados com esgoto doméstico em diferentes estratégias de tempo de ciclo (E39 a E43). As tabelas apresentadas no apêndice E mostram os resultados obtidos para todos os parâmetros analisados.



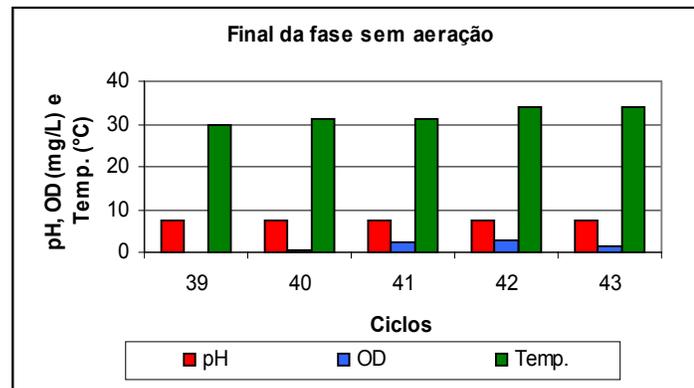


Figura 5.42.- Comportamento do pH, OD e temperatura ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico (1:3 = E39 e E40; 1,5:4,5 = E41 e E42; e 2:2 = E43).

Durante os ciclos realizados com esgoto doméstico, independente da sua duração, observou-se que os valores de OD variaram bastante (figuras 5.42 e 5.43), ficando entre 0,0 e 3,5 mg/L; em alguns ciclos a fase sem aeração apresentou OD, em outros a fase aerada não tinha OD. O pH esteve elevado, se comparado aos outros ciclos efetuados com efluente do RU, estando em média 7,5; a temperatura ficou compreendida entre 27 °C e 34 °C.

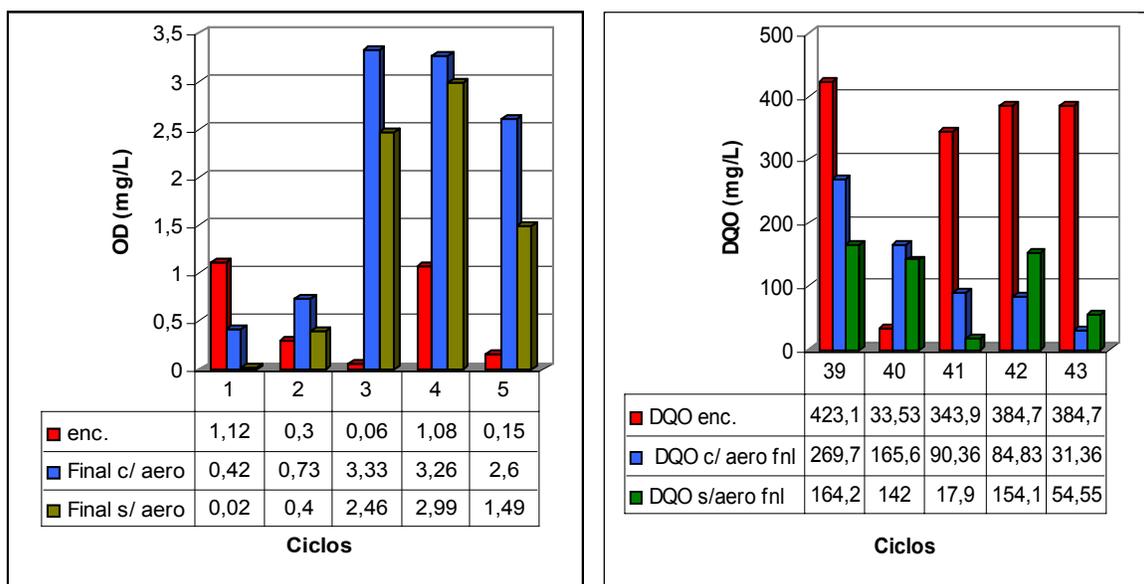


Figura 5.43 -. Resultados do OD e da DQO_F ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico.

Nos ciclos efetuados com o esgoto doméstico, a DQO_F afluyente foi mais regular que com esgoto do RU, sendo em média de 350 mg/L, caracterizando-se como esgoto médio segundo Metcalf & Eddy (1991). A eficiência média de remoção da DQO_F foi de 57% para a estratégia 1:3 (E39 e E40); 77,5% para 1,5:4,5 (E41 e E42); e 86% para 2:2 (E43). O efluente no final dos ciclos apresentou-se com concentrações da ordem de 150 mg/L, exceto nos ciclos E41 e E43, quando foi de 18 e 54,5 mg/L, respectivamente.

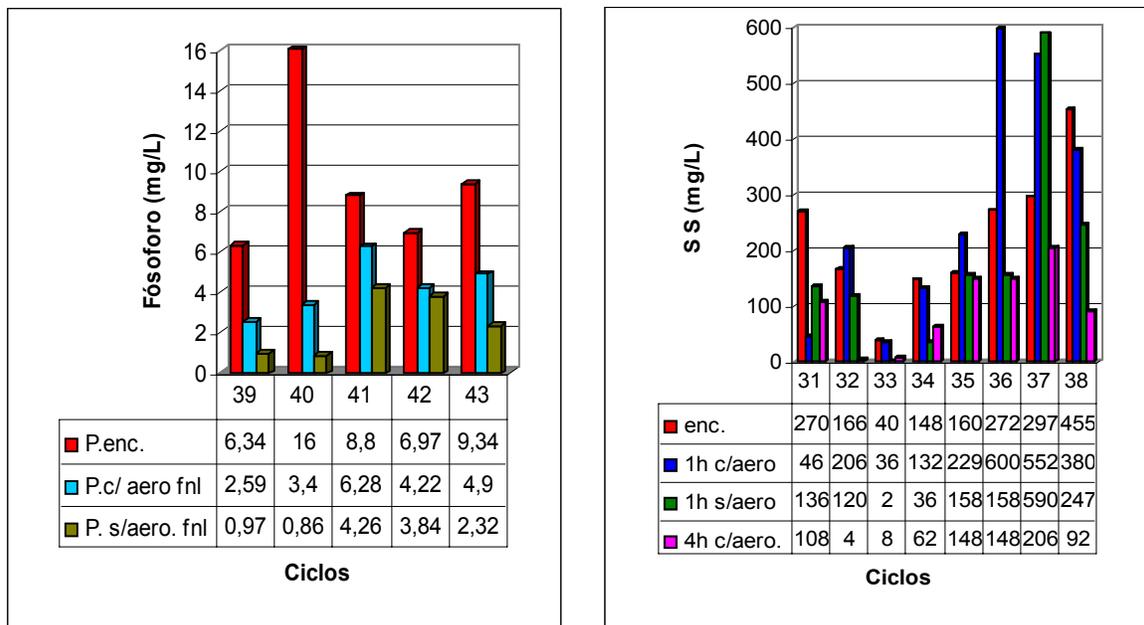


Figura 5.44 e 5.45 -. Resultados do fósforo total e sólidos suspensos ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico.

Para os ciclos efetuados com esgoto doméstico, a concentração de fósforo total no início dos ciclos variou entre 6,3 e 16 mg/L, com características de água residuária de média a forte concentração. A relação DQO_F/P foi de 100/2,71 fora da faixa ideal preconizada por Morgan & Fruh (1961) citados em Roques (1981). Calculando-se a razão DQO_F/P tem-se 36,88, a qual de acordo com Russel et al. (1993) citados em Thayalakumaran et al. (2003), deveria ser de DQO/P= 46 para uma efetiva remoção biológica do fósforo. As concentrações finais ficaram em média de 0,91 mg/L, 4,05 mg/L e 2,32 mg/L, para as estratégias 1:3, 1,5:4,5 e 2:2, respectivamente; com eficiência de remoção média de 90% para a estratégia 1:3, 50% para 1,5:4,5 e 75% para 2:2.

Os sólidos suspensos estiveram elevados no final do ciclo E39, nos demais ciclos o efluente tratado apresentou concentrações inferiores a 150 mg/L, evidenciando pouca perda do biofilme aderido.

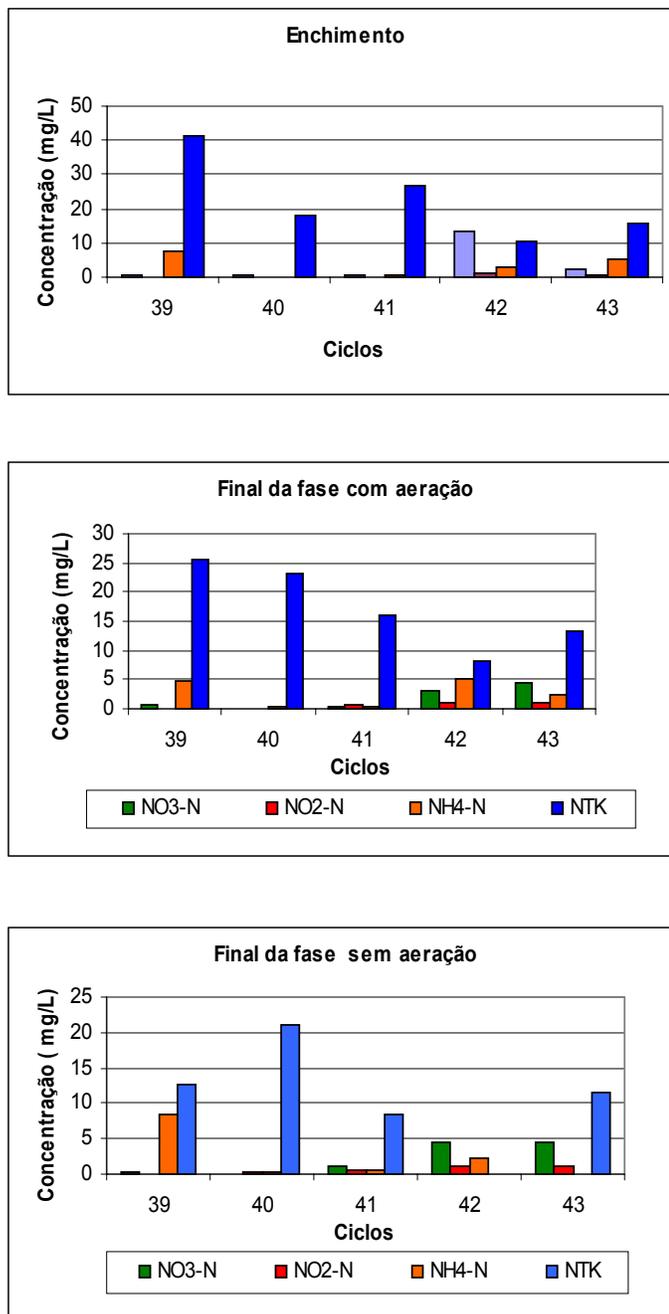


Figura 5.46 - Evolução do $\text{NO}_3\text{-N}$, $\text{NO}_2\text{-N}$, $\text{NH}_4^+\text{-N}$ e NTK ao longo dos ciclos efetuados com esgoto doméstico em diferentes estratégias (1:3= E39 e E40, 1,5:4,5= E41 e E42, 2:2= E43).

Nos ciclos efetuados com esgoto doméstico, o NTK durante o enchimento foi superior a 10 mg/L, houve nitrificação durante a fase com aeração dos ciclos E42 e E43. Nesses dois ciclos a relação $DQO_F/N_{\text{assimilável}}$ foi de 35/0,84 próxima de 35/1, recomendado por Goel & Gaudy (1969) citados em Roques (1980); nos demais a relação média foi de 35/0,1.

As figuras 5.47 apresentam um perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo dos ciclos E40, E41 e E43.

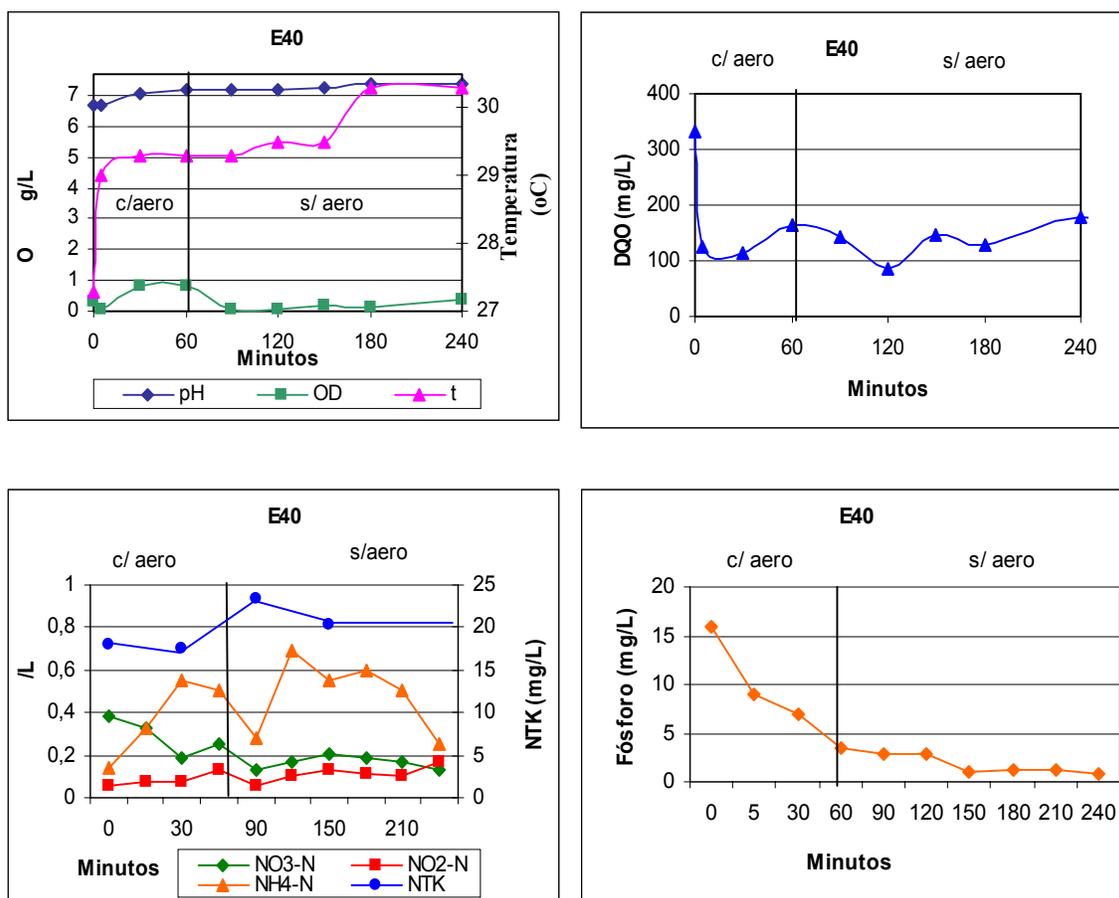


Figura 5.47.- Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E40, 1:3 – esgoto doméstico.

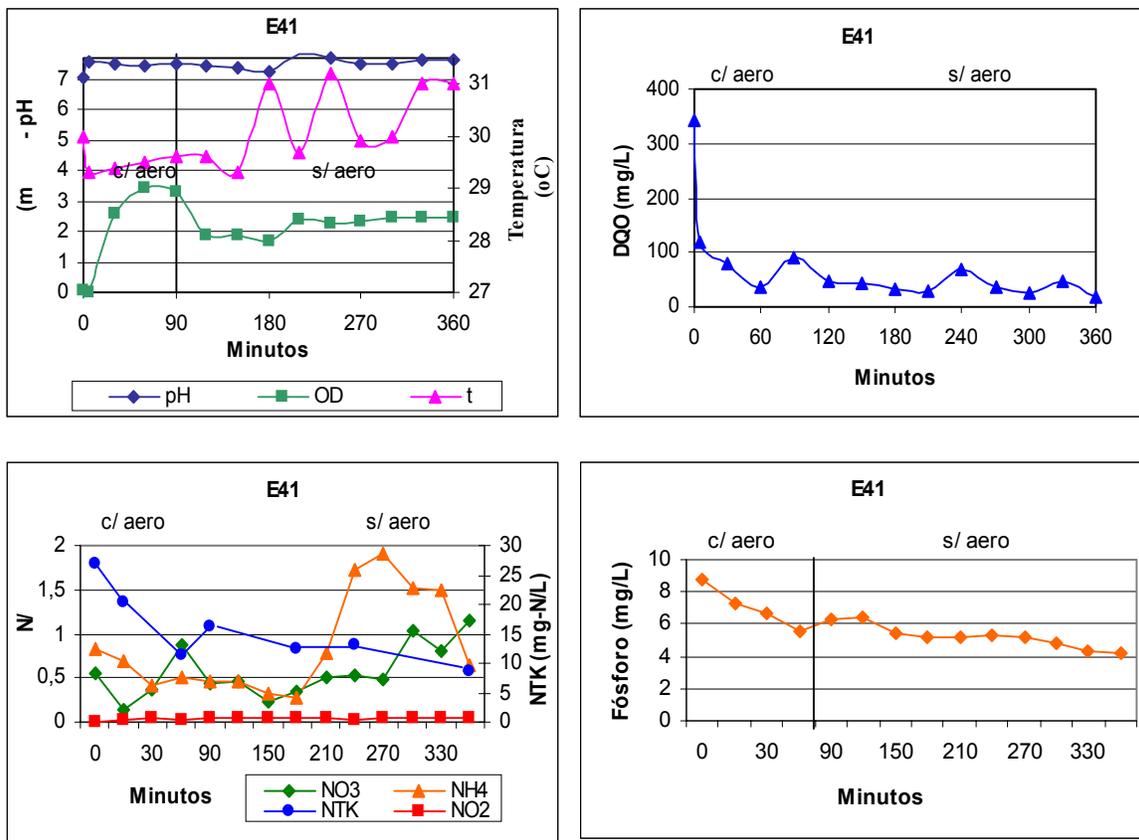
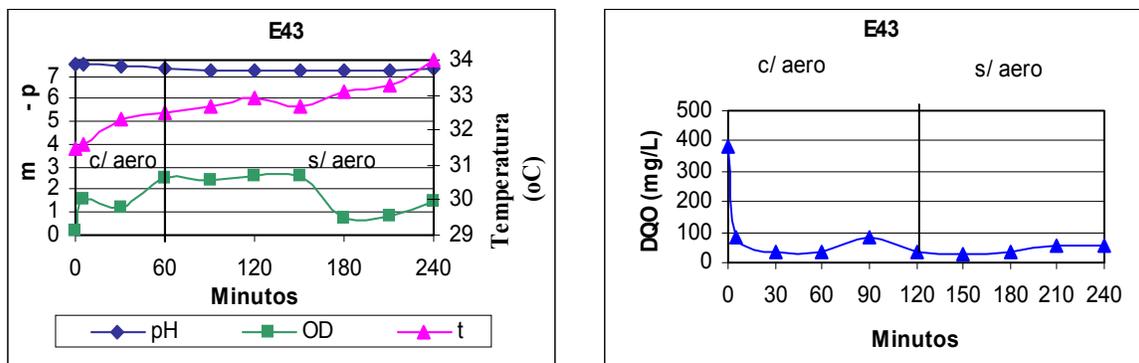


Figura 5.48 - Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E41, 1,5:4,5 – esgoto doméstico.



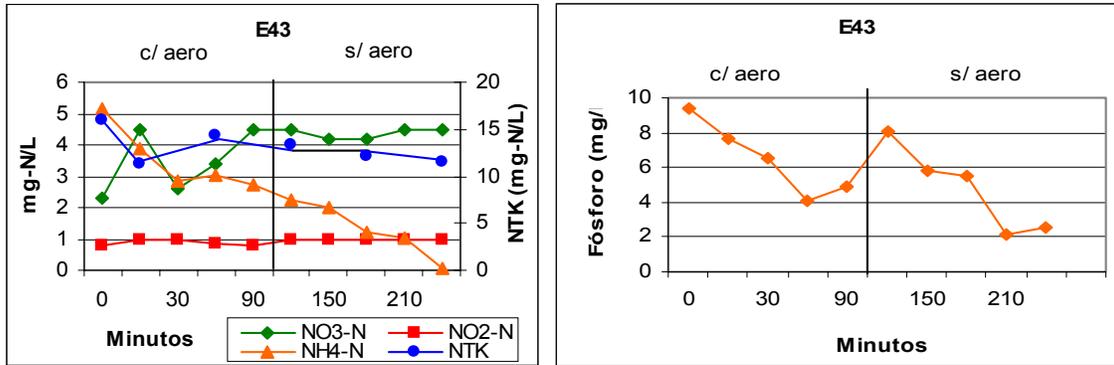


Figura 5.49 - Perfil temporal dos parâmetros medidos ao longo do ciclo E43, 2:2 – esgoto doméstico.

Os perfis temporais apresentados para diferentes estratégias com esgoto doméstico podem ser descritos sumariamente como:

- pH manteve-se em torno de 7,5 e temperatura média de 30 °C;
- OD foi variável entre zero e 3,5 mg/L, sendo superior a 1,0 mg/L na fase sem aeração dos ciclos E41 e E43;
- DQO_F seguiu a tendência dos outros ciclos com esgoto do RU, caindo durante os primeiros 30 minutos iniciais do ciclo, eficiência de remoção superior a 50%, efluente final com concentrações inferiores a 100 mg/L;
- Fósforo total foi eficientemente removido ($\epsilon = 55\% - 93\%$), porém as concentrações finais estão acima do máximo exigido pela Legislação Ambiental de Santa Catarina (1,0 mg/L), exceto E40;
- NTK afluente entre 16 e 26 mg/L, manteve-se elevado até o final dos ciclos, havendo pouca ou praticamente nenhuma remoção; amônia, nitratos e nitritos tiveram poucas variações.

5.2.3. Desenvolvimento do biofilme

Na etapa de estudos com o reator 2, o biofilme teve seu desenvolvimento avaliado através de medidas de polissacarídeos e proteínas (aderidos ao meio suporte e suspensos no meio líquido), produção específica de lodo (Y) e da microscopia ótica, conforme descrito nos itens 4.4. e 4.5.

5.2.3.1. Polissacarídeos, proteínas e produção específica de lodo (Y)

Os resultados correspondem às coletas de material realizadas durante os ensaios preliminares com ciclos apenas aeróbios e durante os ensaios de estratégias com esgoto do RU e esgoto doméstico, compreendidos num período de 36 dias. A figura 5.50 apresenta o comportamento da relação polissacarídeos/proteínas (PS/PN) ao longo do período dos ciclos, no apêndice F são apresentados à evolução de cada parâmetro individualmente.

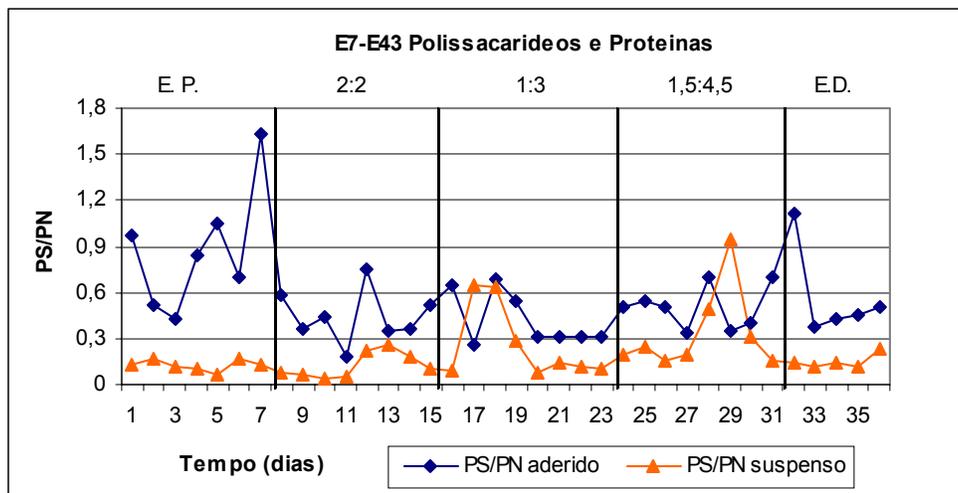


Figura 5.50 -. Comportamento da relação PS/PN aderidos e suspensos ao longo dos ciclos.

A figura 5.50 mostra que relação PS/PN aderidos foi na quase totalidade dos ciclos superior a PS/PN suspensos, o que, segundo resultados obtidos por diversos pesquisadores (TAVARES, 1992; WOLFF, 1997; HEIN DE CAMPOS, 2001; MARTINS, 2003), evidencia um biofilme coeso ao meio suporte, com conseqüente retenção de biomassa aderida. Para Flemming & Wingender (2001b), os polissacarídeos têm um importante papel na agregação microbiana em biofilmes, constituindo-se em pré-requisito para sua formação, facilitando sua adesão ao material suporte e

forneendo a estabilidade mecânica necessária para resistir as forças de atrito e cisalhamento do meio líquido onde se encontram.

Para os resultados obtidos, observa-se que PS/PN aderidos foram cerca de oito vezes superiores aos PS/PN suspensos durante os ensaios com ciclos aeróbios (E.P.), e quase três vezes superiores durante os ensaios das estratégias. Observa-se que nos ensaios de ciclos aeróbios a média de PS/PN aderidos foi de 0,9 e durante os ensaios das estratégias teve-se média de 0,5. Os valores obtidos para essas relações são, porém, inferiores aos obtidos por Martins (2003) e Hein de Campos (2001), que trabalharam em leito fluidizado sistema contínuo, obtendo valores compreendidos entre 1 e 60 para PS/PN aderidos e 1 e 3 para PS/PN suspensos (MARTINS, 2003); e 2 e 17 para PS/PN aderidos e 0,2 a 1,2 para PS/PN suspensos (HEIN DE CAMPOS, 2001). Durante os ensaios das estratégias (fase com aeração-fase sem aeração), o fato de o reator trabalhar como leito fluidizado bifásico na fase sem aeração favorece o crescimento de biofilme menos denso, devido a não existência das forças de cisalhamento, com conseqüente tombamento, diminuindo a produção de polissacarídeos, fato também constatado por Flemming & Wingender (2001a).

A produção específica de lodo (Y), determinada pela quantidade de biomassa em suspensão (PN suspensas) e pelo substrato consumido, calculada conforme item 4.5. deste trabalho, é apresentada na figura 5.51

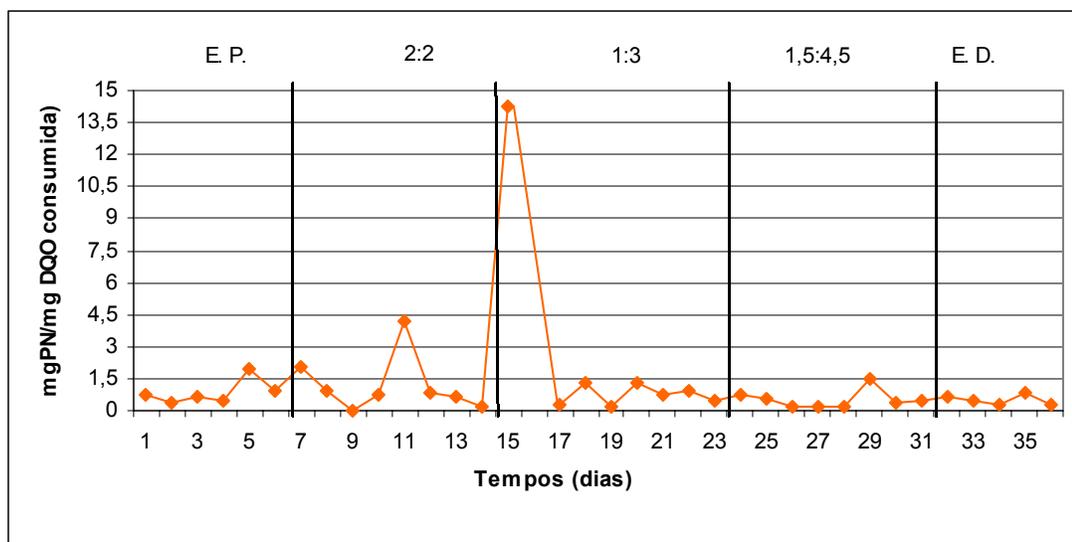


Figura 5.51 - Evolução da produção específica do lodo (Y) ao longo dos ciclos.

O valor médio obtido no decorrer dos ensaios preliminares de ciclos aeróbios e para as estratégias 2:2 e 1:3 foi de 1,0 mgPN/mgDQO_{removida} (pico de 4 mgPN/mgDQO_{removida} na 2:2 e de 14 mgPN/mgDQO_{removida} na 1:3). Nas estratégias 1,5:4,5 e ciclos com esgoto doméstico a média foi de 0,5 mgPN/mgDQO_{removida}. Esses valores estão acima daqueles obtidos por Hein de Campos (2001) em leito fluidizado trifásico e material suporte PVC, com funcionamento em contínuo, que foi da ordem de 0,19 mgPN/mgDQO_{removida}, mas são similares aos obtidos por Martins (2003), utilizando o PET como material suporte, que teve média de 0,5 mgPN/mgDQO_{removida}. Os picos observados ao longo dos ensaios correspondem a fases onde o biofilme apresentava-se espesso com leito estratificado; nos dias 11, 17 e 29 os picos do Y correspondem também a PS/PN aderidos iguais ou menores que PS/PN suspensos.

5.2.3.2. Microscopia ótica

As fotos capturadas para os flocos do material em suspensão no meio líquido e o biofilme aderido ao meio suporte, observados em microscópio ótico, com aumento de 100 vezes, durante os ensaios com o reator 2, são apresentadas na seqüência.

5.2.3.2.1. Ensaios com ciclos aeróbios de 2 horas (E7 a E14)



Figura 5.52- Suporte colonizado com *Vorticella* sp (30x)



Figura 5.53. *Uronema* sp no meio líquido (100x)

Na figura 5.52 nota-se grande quantidade de *Vorticellas* sp. na biopartícula no início dos ciclos com o reator 2. Como ressaltado no item 4.1.2., o material suporte estava sendo utilizado em processo de leito fluidizado de fluxo contínuo (MARTINS, 2003) e, conforme mostram as fotos efetuadas no MEV (figuras 4.5. e 4.6.), o biofilme já estava constituído.

Na figura 5.53, a presença de ciliado livre do tipo *Uronema* sp junto ao floco, é indicativo de efluentes com boa aeração, eles são muito encontrados em instalações de tratamento cuja qualidade é de moderada a fraco. Geralmente são os primeiros microrganismos que aparecerem após mudanças no processo de tratamento (BAYRISCHES LANDESAMT, 1999).

5.2.3.2.2. Estratégia 2:2



Figura 5.54 .- Biofilme com *Vorticellas* sp
(100x)

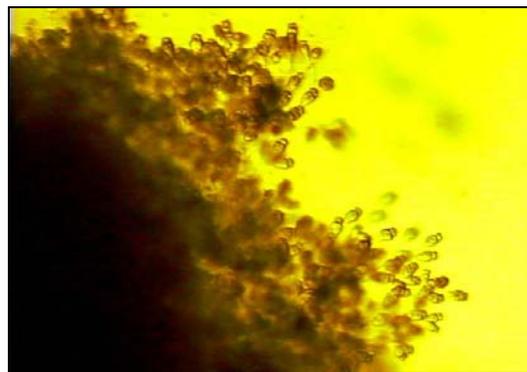


Figura 5.55 -. Biofilme com *Vorticellas* sp
e *Epistylis* sp (100x)

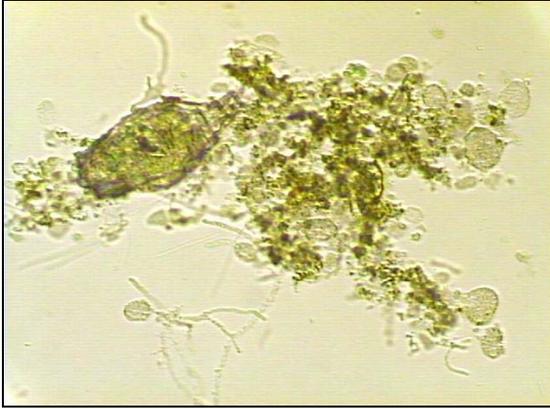


Figura 5.56 -. Floco com Zooglea e Rotífero (100x)



Figura 5.57 - Biofilme com *Vorticellas* sp (100x)

Durante os ciclos da estratégia 2:2 o biofilme apresentou-se bem formado com predominância de *Vorticellas* sp e *Epistylis* sp; os flocos apresentaram diversos organismos, destacando-se a ocorrência de Zooglea e rotíferos. Esses organismos dão indicativo de quadro estável, com matriz gelatinosa (Zooglea) aglutinadora de bactérias e partículas em suspensão (CETESB, 1997). As colônias de *Epistylis* sp são indicadoras de condições estáveis de tratamento, mas com cargas elevadas, de aeração permanente e de efluente tratado de boa a muito boa qualidade na depuração carbonácea (JENKINS et al., 1993; CETESB, 1997). As *Vorticellas* sp são espécies relativamente frágeis à introdução de compostos tóxicos e à falta de oxigênio. Sua presença em processos biológicos indica boa depuração (CANLER et al., 1999). Nesses ciclos, o OD manteve-se sempre elevado ($> 1,0$ mg/L) mesmo na fase sem aeração, como já discutido no item 5.2.2.1.

5.2.3.2.3. Estratégia 1:3



Figura 5.58-. Floco com Tardígrados e Rotíferos (100x)

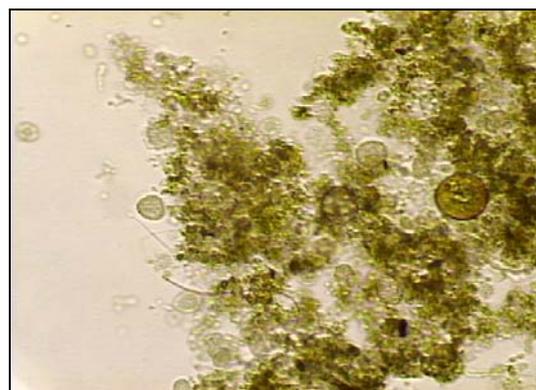


Figura 5.59 - Floco com Amebas com teca (100x)



Figura 5.60 -Rotífero – tronco sem cabeça de *Vorticellas* e *Epistylis* sp (100x)

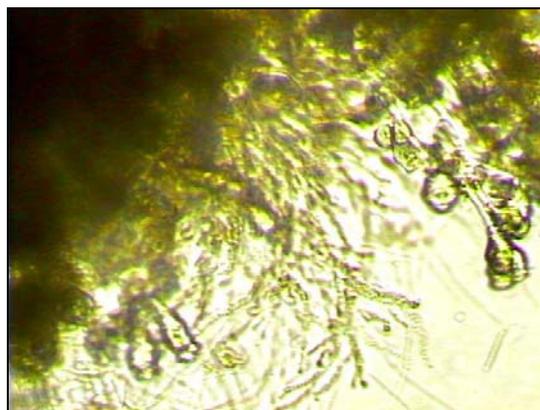


Figura 5.61.- *Epistylis* sp – tronco sem cabeça (100x)



Figura 5.62 -. Restos de *Epistylis* sp no biofilme (100x)



Figura 5.63 - Zooglea e filamentosos (100x)

Pode-se observar durante a estratégia 1:3 uma proliferação de protozoários nos flocos e no biofilme, destacando-se micrometazoário Tardígrado, rotíferos, amebas com teca, *Epistylis* sp, Zooglea e bactérias filamentosas (Figuras 5.58 a 5.63). Houve estratificação do leito, que surgiu repentinamente no início dos ciclos com essa estratégia e foi predominante neste período dos ensaios. A presença de *Zoogleas* e Tardígrados sugere baixa concentração de amônia ou elevada idade do lodo, assim como a presença de restos de rotíferos e de *Epistylis* sp. A ocorrência de amebas com teca é sinal de boa depuração, segundo Madoni (1994) citado em CETESB (1997).

O processo de estratificação do leito também foi comprovado nas análises de alguns parâmetros (OD, DQO_F e SS). O oxigênio dissolvido esteve sempre abaixo de 1,0 mg/L, apesar do aumento do fornecimento de ar para o reator. A DQO_F efluente manteve-se elevada em alguns ciclos (>200 mg/L). O excesso de microrganismos agregados no material suporte tornou-o mais espesso e ocorreu maior desprendimento do biofilme devido às forças de atrito entre as partículas e de cisalhamento do biofilme com o líquido e o ar, gerando assim o excesso de sólidos suspensos e aumentando a produção específica de lodo (Y) (figura 5.51). Essa fragilidade do biofilme também é constatada pela relação PS/PN aderidos no início ficou menor que a relação PS/PN suspensos, aumentando na continuação dos ciclos (figura 5.50).

Segundo Boaventura & Rodrigues (1998 citados por BRANDÃO, 2002), as partículas suportes têm influência sobre o comportamento hidrodinâmico dos biorreatores. Tem-se verificado, na prática, que partículas com alta densidade levam a uma estratificação do leito, devido às diferentes densidades das biopartículas (suporte + biofilme). Isto ocorre porque, sendo diferente a densidade da partícula e do biofilme, a densidade das biopartículas passa a ser função da espessura do biofilme.

5.2.3.2.4. Estratégia 1,5:4,5



Figura 5.64. - Rotíferos (100x)

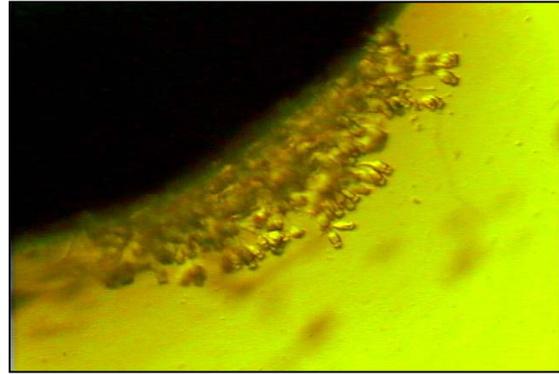
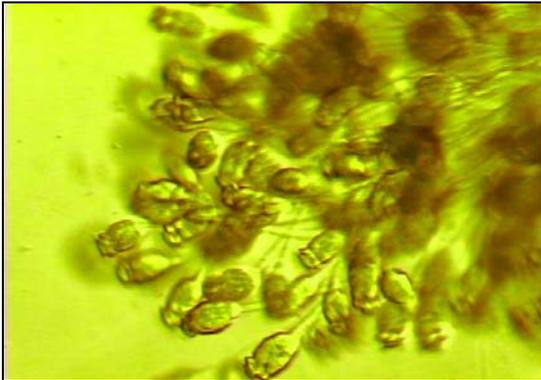
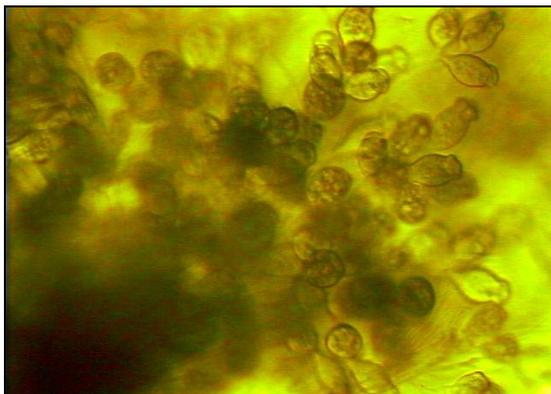
Figura 5.65 - Biofilme com *Epistylis* sp (100x)Figura 5.66.- Biofilme com *Epistylis* sp (100x)Figura 5.67.- Floco com *Vorticellas* spFigura 5.68-. *Vorticellas* sp e *Sphaerotilus* sp (100x)

Figura 5.69 - . Fase líquida com Zooflagelado e bactérias livres (100x)



Figura 5.70 – Bactérias filamentosos (100x)

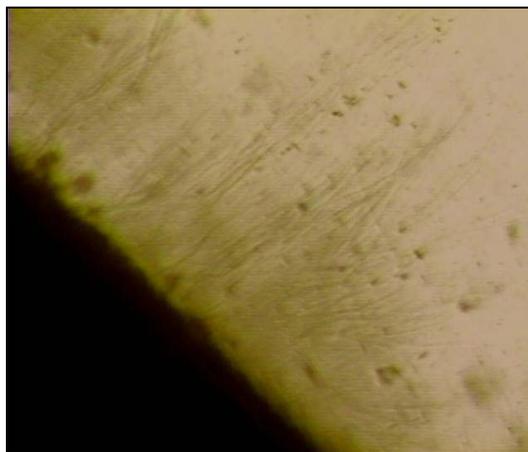


Figura 5.71 - Biofilme com predominância de filamentosos (100x)

Na estratégia 1,5:4,5, o leito ainda se manteve estratificado, observou-se a presença de rotíferos e biofilme com *Epistylis* sp (figuras 5.65 e 5.66), na maior parte dos ciclos, ao final houve a presença de *Vorticellas* sp e filamentosos do tipo *Sphaerotilus* sp (figura 5.68). Esses são indicadores de altas concentrações das substâncias orgânicas (nesses ciclos a DQO_F afluenta foi elevada, com média de 642 mg/L) e ao mesmo tempo deficiência em oxigênio (problemas operacionais do reator ou altas temperaturas, média de 31°C) para degradar o substrato. Verificou-se também na fase líquida zooflagelados (figura 5.69), que são organismos muito rápidos com relação aos seus movimentos, gastam uma quantidade muito alta de energia para sua locomoção, precisam se alimentar com muita frequência, geralmente de bactérias livres, e quando aparecem em número significativo é porque as bactérias não estão formando flocos (APHA, 1998). Os filamentosos também foram identificados na fase líquida, sendo predominantes no biofilme nos últimos ciclos (figuras 5.70 e 5.71.). A presença excessiva destes pode causar problemas na decantação do lodo.

Ressalta-se que nesses ciclos houve aumento nos teores de sólidos suspensos, grande variação do OD, diminuição da produção de polissacarídeos aderidos, baixando a relação PS/PN aderidos (dia 29, E36 figura 5.50), e com pico no valor da produção específica de lodo (Y) (dia 29, E36 figura 5.51).

5.2.3.2.5. Esgoto doméstico – estratégias variadas



Figura 5.72 - *Vorticellas* sp (100x)



Figura 5.73 - *Vorticellas* sp (100x)



Figura 5.74 - *Beggiatoa* sp (100x)

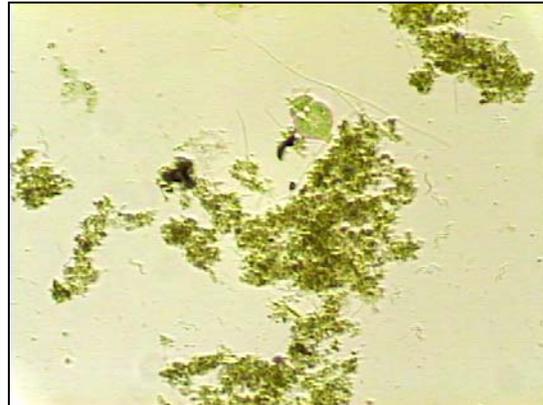


Figura 5.75 - Flocos bem formados (100x)

Nos ciclos efetuados com esgoto doméstico houve uma recuperação do biofilme, saindo os filamentosos, com predominância de *Vorticellas* sp, constituindo-se em indicador de efluente tratado de boa a muito boa qualidade (CANLER et al., 1999). Nos flocos em suspensão observou-se a ocorrência de *Beggiatoa* sp que são bactérias do enxofre, geralmente presentes em esgotos sépticos, vindas provavelmente com o esgoto doméstico da CASAN. Os flocos apresentaram-se bem formados no final dos ciclos.

5.2.4. Resumo das condições operacionais e discussão final dos resultados com o reator 2

A tabela 5.8 apresenta um resumo das condições operacionais, estabelecidas (T_c) e calculadas (TRH, n° ciclos possíveis por dia e vazão), e cargas aplicadas e removidas nos diferentes ciclos efetuados no reator 2.

Tabela 5.8. Resumo das condições operacionais e cargas aplicadas e removidas – reator 2

| Ciclo | Tempo total de duração do ciclo - T_c | TRH (horas) | N° ciclos possíveis por dia | Vazão de tratamento (m^3/d) | COV média aplicada/removida ($kg\ DQO_F/m^3.d$) | Eficiência de remoção DQO_F (%) | DQO_F residual média final do ciclo (mg/L) |
|------------------|---|-------------|-----------------------------|---------------------------------|---|-----------------------------------|--|
| E7 a E14 | 2 : 20' | 34,67 | 10,30 | 0,07 | 2,60 / 1,52 | 41,5 | 148 |
| E15 a E22 | 4 : 10' | 66,67 | 5,54 | 0,04 | 0,98 / 0,52 | 53 | 84 |
| 2:2 | | | | | | | |
| E23 a E30 | 4 : 20' | 4,56 | 5,14 | 0,55 | 1,94 / 1,07 | 55 | 169 |
| 1:3 | | | | | | | |
| E31 a E38 | 6: 20' | 6,67 | 3,60 | 0,39 | 2,31 / 1,82 | 84 | 137 |
| 1,5:4,5 | | | | | | | |
| E39 a E43 | 4 : 20' | 4,56 | 5,14 | 0,55 | 1,94 / 1,11 | 57 | 153 |
| Esgoto doméstico | 6 : 20' | 6,67 | 3,60 | 0,39 | 1,29 / 1,00 | 77,5 | 86 |
| | 4 : 20' | 4,56 | 5,14 | 0,55 | 1,97 / 1,70 | 86 | 54,5 |

Obs. Nos ensaios correspondentes aos ciclos E7 a E22 utilizou-se volume de enchimento de 7 L (esvaziamento de parte do líquido do reator) e nos demais ensaios 107 L (esvaziamento do líquido do tanque de recirculação) daí a diferença no TRH e vazão de tratamento.

O tratamento do efluente do RU foi estudado no reator 2 através de diferentes condições operacionais, com ciclos cujos tempos de duração variaram entre 2 horas e 10 minutos e 6 horas e

20 minutos; TRH entre 4,56 e 66,67 horas; e COV entre 0,98 e 2,60 kg DQO_F/m³.d. Essas condições operacionais e cargas aplicadas são comparáveis àquelas utilizadas com reator seqüencial em batelada (RSB) convencional (THAYALAKUMARAN et al., 2003; CHO et al., 2001; GARRIDO et al., 2001; KELLER et al., 2001; e outros).

O reator mostrou-se eficaz na remoção da matéria carbonácea, com eficiência média de remoção de DQO_F entre 41,5% e 86%, apresentando DQO_F residual média inferior a 170 mg/L no final dos ciclos. A nitrificação ocorreu apenas em alguns ciclos, independente da estratégia utilizada, sendo função principalmente da qualidade do afluente (relações DQO_F/N_{assimilável}) e das condições operacionais do reator, principalmente do oxigênio dissolvido. Enquanto o fósforo total foi removido satisfatoriamente nos ciclos quando o esgoto afluente apresentou concentrações superiores a 5 mg/L (estratégia 1,5:4,5 e esgoto doméstico), porém observou-se relargagem deste durante algumas etapas dos ciclos.

Assim como nos ensaios com o reator 1, a baixa qualidade do efluente do RU, com deficiência em nutrientes (N, P), certamente foi o fator mais negativo para o completo tratamento do efluente. Os ensaios com esgoto doméstico, embora em número reduzido, apresentaram maior regularidade nos resultados e eficiência do tratamento.

Em relação ao biofilme, observou-se que a alternância de fases, com e sem aeração, contribuiu para reduzir a relação PS/PN aderidos, comparada aos resultados obtidos com o reator funcionando somente em fase aeróbia (E7 a E14) e a outros estudos utilizando leito fluidizado convencional, em fluxo contínuo (HEIN DE CAMPOS, 2001; MARTINS, 2003). A produção específica de lodo (Y) ficou acima do obtido nos estudos de Hein de Campos (2001) que utilizou o PVC como material suporte, mas foi similar àquela obtida por Martins (2003) que utilizou o PET como material suporte.

As observações microscópicas efetuadas durante os ensaios com o reator 2 mostraram meio líquido com flocos pequenos e bem formados, com diversidade de microrganismos. O biofilme também esteve bem constituído, com a ocorrência de ciliados livres e fixos e metazoários. Durante os períodos de estratificação do leito de biopartículas, predominaram as *Vorticellas* sp e organismos filamentosos (*Shaerotilus* sp). Durante os períodos de bom funcionamento do processo de tratamento predominaram os ciliados fixos pedunculados do tipo *Epistylis* sp e *Vorticellas* sp, em acordo com as observações efetuadas por Fried & Lemmer (2003).

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

6.1. CONCLUSÕES

Neste trabalho estudou-se o tratamento biológico de efluente do restaurante universitário (RU) da UFSC e de esgoto doméstico, em reatores de leito fluidizado seqüencial em batelada (RLFSB), através de parâmetros físico-químicos e biológicos, testando-se diferentes condições operacionais. Os resultados obtidos permitem as seguintes conclusões:

Sobre o Tratamento Biológico:

- Os reatores utilizados (R1 e R2) mostraram-se capazes de tratar cargas orgânicas aplicadas variando entre 0,80 e 5,50 kg DQO_F/m³.d para TRH entre 4,50 e 74,5 horas, apresentando remoção da DQO_F entre 41,5 e 86%, com DQO_F residual inferior a 170 mg/L;
- A nitrificação ocorreu apenas em alguns ciclos, para o reator 2, independente da estratégia testada, sendo função principalmente da qualidade do afluente (pH e relação DQO_F/N_{assimilável}) e das condições operacionais do reator, como temperatura e oxigênio dissolvido;
- O fósforo total foi removido satisfatoriamente nos ciclos onde a relação DQO_F/P aproximou-se daquela recomendada em literatura (DQO/P= 46), havendo relargagem em algumas etapas dos ciclos;
- Tanto no reator 1 como no reator 2, a baixa qualidade do efluente do RU, com desequilíbrio entre C/N/P, foi o fator mais negativo para o completo tratamento do efluente. A utilização de esgoto doméstico mostrou maior regularidade nos resultados e eficiência do tratamento.

Sobre o Desenvolvimento do Biofilme:

- O uso de material suporte PET ainda não colonizado deixa o biofilme mais sensível às forças de atrito e cisalhamento do reator e retarda o processo de tratamento;
- A alternância de fases, com e sem aeração, reduz a relação PS/PN aderidos, em comparação com o reator funcionando somente em fase aeróbia;
- A produção específica de lodo (Y) foi baixa, ficando entre 0,50 e 1,00 mgPN/mgDQO_{removida}, similar àquela obtida em estudo com reator de leito fluidizado trifásico em fluxo contínuo, mesmo efluente e mesmo material suporte (MARTINS, 2003);
- O desenvolvimento do biofilme e o aparecimento de determinados grupos de microrganismos, que atuam como indicadores positivos (ocorrência de *Vorticellas* sp, *Epistylis* sp e outros) ou negativos do tratamento (filamentosos, flocos mal formados, etc.), é função de parâmetros operacionais do reator (OD e temperatura) e da qualidade do efluente (pH e relação DQO/N/P);
- O uso da microscopia ótica apresenta-se como uma ferramenta de avaliação rápida sobre as condições operacionais do reator e situação do tratamento biológico.

No geral, as estratégias testadas deram bons resultados quanto à remoção da poluição carbonácea e fósforo total, necessitando ainda, mais estudos e pesquisas para os compostos de nitrogênio, com a otimização operacional do reator (automação, controle da aeração, monitoramento *on line*) e condições da qualidade do esgoto afluente.

6.2. RECOMENDAÇÕES

Em vista das limitações do estudo e das conclusões apresentadas, recomenda-se a realização de novas pesquisas priorizando:

- O uso de esgoto doméstico;
- A automação do reator e controle das condições operacionais em termo de pH e OD;
- Estratégias de funcionamento com ciclos mais longos, objetivando a completa nitrificação/desnitrificação do esgoto;
- Utilização de outros materiais suporte nacionais;
- Estudos de custos, operacional e de instalação, visando a aplicação desse tipo de reator em escala real.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABELING,U and SEYFRIED C.F. Anaerobic-aerobic treatment of high – strength ammonia wastewater – nitrogen removal via nitrite. **Water Science and Technology**, v. 26, n.5-6, p.1007-1015, 1992..

ALLEMAND, J. E. e IRVINE, R.L. Storage-induced denitrification using sequencing batch reactor operation. **Water Research**, v. 14, p. 1483-1488, 1980.

AL-SHAREKH, H.A. , HAMODA, M.F. Removal of organics from wastewater using a novel biological hybrid system .**Water Science and Technology**, v. 43, n.1, p.321-326, 2001.

AMBIO – Atividades Projetos de RSB < [http:// www.webspaces.com.br/ambio](http://www.webspaces.com.br/ambio)>. Acesso em 30/09/2003.

ANDREOTTOLA, P. FOLADORI, M.RAGAZZI and R. VILLA. Treatment of winery wastewater in sequencing batch biofilm reactor. **Water Science and Technology**, v.45,n.12, p. 347-354., 2002.

APHA. **Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater**, 20^a ed, American Public Health Association. Washington DC, 1998.

ARAÚJO,J.C. e CAMPOS, J.R. Caracterização e evolução do biofilme com base em microscopia eletrônica de varredura e na quantificação da biomassa. In: REUNIÃO NACIONAL DE MICROBIOLOGIA APLICADA AO MEIO AMBIENTE, 1, 1996, Campinas. **Anais...** Campinas: UNICAMP, 276. p.135-140.,1997.

ARTAN N., ORHON D. and TASLI, R. Design of SBR systems for nutrient removal from wastewaters subject seasonal fluctuations. **Water Science and Technology**,v.46 n. 8, p 91-98, 2002.

ARTAN,N. WILDERER; P.,ORHON; D., MORGEROTH E.;ÖZGÜR N. The mechanism and design of sequencing batch reactor systems for nutrient removal – the state of the art. **Water Science and Technology**,v.43 n. 3, p 53-60, 2001.

BAE, J.H.;KIM,S.K. and CHANGH.S. Treatment of landfill leachats: ammonia removal via nitrification and denitrification and further COD reduction via fenton's treatment followed by activated sludge. **Water Science and Technology**, v.36 ,n.12, p. 341-348, 1997.

BARTHEL, L. **Estudo de biofilme desenvolvido em reator de leito fluidizado trifásico aeróbio no tratamento de efluentes têxteis**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 80 p., 1998.

BAYRISCHES LANDESSAM FÜR WASSERWIRTSCHAFT. **Das mikroskopische bild bei der aeroben abwasserreinigung informationsberichte**, München, Heft 1/99 3. Erweiterte und überarbeitete Auflage; 1999.

BERGAMASCO, R. **O uso de partículas poliméricas para adesão microbiana em tratamento biológico de resíduos**. Tese de Doutorado em Engenharia Química- Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Estadual de Campinas. São Paulo, 1996.

BERNARDES, R. S. e KLAPWIJK, A. Biological nutrient removal in SBR treating domestic wastewater. INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON TECHNOLOGY TRANSFER. IAWQ, Salvador, BA , p. 63-77, 1995.

BEYENA, H. e LEWANDOWSKI, Z. Combined effect of substrate concentration and flow velocity on effective diffusivity in biofilms. **Water Research**, v.34, p. 528-538., 2000.

BELKHADIR, R. **Etude fondamentale des biomasses fixées. Description et modélisation des films biologiques anaérobies**. Thèse de Doctorat, INSA, Toulouse, p. 257, 1986.

BISHOP, P. L. Biofilm structure and kinetics. **Water Science Technology** v.36, n.1, p.287-294,1997.

BISHOP, P. L.; ZHANG, T.C.; FU, Y. Effects of biofilm structure, microbial distributions and mass transport on biodegradation processes. **Water Science Technology**, v.31, n.01, p.143-153,1995.

BRANCO, S.M. **Hidrologia Aplicada à Engenharia Sanitária**. 2ª ed, CETESB, São Paulo; p 620, 1978.

BRANDÃO, H.L. **Transferência de Massa no Processo de Biodegradação de Efluentes Líquidos em Reatores com Biofilme**. Tese de Doutorado em Engenharia Química – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Química, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 192 p., 2002.

BRENNER, A. Use of computers for process and design analysis and control: seqüencial batch reactor application, **Water Science Technology**, v.35, n.1, p.11-18,1997.

BRINKE-SIEFERTH, S. **Beitrag zur Erhöhung des Reinigungsvermögens und der Flexibilität von Biofilmreaktoren (Festbett, Schwebbett, Filter)**. PhD Thesis, Hamburg Technical University, Harburg, 126p.in German, 1998.

BRYERS, J. D. Biologically active surfaces: processes governing the formation and persistence of biofilm. **Biotechnology Process**, v.3,n.6 p 57-68, 1987.

CALLADO, N.H. FOERSTI, E. **Tratamento de esgoto doméstico com remoção de nitrogênio e fósforo em reatores seqüenciais em batelada**. In: XXVII CONGRESSO INTERAMERICANO DE INGENIERIA SANITARIA Y AMBIENTAL. **Anais...AIDIS Porto Alegre –RS Brasil, 2000. CD-ROM**.

CANLER,J-P; PERRET. J-M, DUCHÈNE., P.,COTTEUX,É. Aide au diagnostic des stations d'épuration par l'observation microscopique des boues activées. ed. CEMAGREF, France .1999.

CASTELLÓ, E., GHISLIERI D., ONO A., BORZACCONI,L. Optimización del funcionamiento de un SBR para la remoción de matéria orgánica y nutrientes. In: XXVIII CONGRESO INTERMERICANO DE INGENIERÍA SANITARIA Y AMBIENTAL “ Gestión Inteligente de los Recursos Naturales, Desarrollo y Salud”. **Anais... Cancún – México, 2002.CD-ROM**

CETESB – Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental. **Microbiologia de lodos ativados**. Diretoria de Desenvolvimento e Transferência de Tecnologia, Setor Treinamento, São Paulo, 1997.

CHANG, H.T. & RITTMANN, B. E. Predicting bed dynamics in three-phase,fluidized-bed biofilm reactors. In: SECOND INTERNATIONAL SPECIALIZED CONFERENCE IN BIOFILM REACTORS – IAWQ, , Paris, France. 1993

CHENG,S.S., CHEN, W.C. and HWANG, H.H. Biofilm formation: the effects of hydrodynamic and substrate feeding patterns in three phase draft-tube fluidized bed for nitrification process. **Water Science & Technology**, v.36, n. 12, p.83-90, 1997.

CHO B-C.; CHANG C-N, LIAW S-L and P-T. The feasible sequential control strategy of treating high strength organic nitrogen wastewater with sequencing batch biofilm reactor. **Water Science & Technology** v. 43, n. 3, p.115-122, 2001.

COSTA, R.H.R. **Etude du contrôle du biofilm développé dans un lit fluidisé triphasique en épuration carbonée aérobie**. Toulouse. Thèse (Doctorat Ingénierie du Traitement et de l'Épuration des Eaux), L'Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA). 265 p., 1989.

CRISTINA, N. Falta de água ameaça as grandes cidades brasileiras. *Jornal de Brasília*, 10/06/2002 – http://www.jornaldebrasil.com.Br/anteriores/10-06/Brasil_2htm. Acesso em 22 de novembro, 2003.

CYBIS, L.F. e HORAN, N.J. Uso do pH, redox e O.D. para o controle da nitrificação e desnitrificação em reatores seqüenciais em batelada (RSB). XVIII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais....ABES**, Salvador-BA, 1995.

CYBIS, L.F. e HORAN, N.J. Protozan and metazoan population in sequencing batch reactors operated for nitrification. **Water Science Technology**, v.35, no1, p.137-144, 1997.

CYBIS, L.F. e PICKBRENNER, K. Uso de reator seqüencial em batelada para pós-tratamento de efluentes de tratamento anaeróbio. In: **Pós-Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios. Coletânea de Trabalhos Técnicos**, v. 1. PROSAB 2. FINEP, RJ. p.157-164, 2000.

DE LUCCA, S.J. e FACCIN, M. Avaliação preliminar de reator seqüencial de batelada. XVI Congresso Brasileiro Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais..... ABES**. Goiânia, GO, v. 2, tomo I, p.113-128, 1991.

DENNIS, R.W. e IRVINE, R. L. Effect of fill: react ratio on sequencing batch biological reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 51, n. 2, p.255-263, 1979.

DORNELLAS, J.C. e FIGUEIREDO, R.F. Lodos ativados por batelada - uma alternativa para o tratamento de águas residuárias da indústria cítrica. In: XVII Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, **Anais...**Natal, RN. 19 a 23 set., v.2, tomo IV, p.179-193, 1993.

DUBOIS, M. et al. Colorimetic method for determination of sugars and related substances. **Analytical Chemistry**, v. 28 , n.3 p. 350-356, 1956.

DURÁN,J. **Remoção Biológica de Nutrientes**. CBAB,MCT/CNPQ,CPGEQ/UFSC,CDB, material didático referente In: III curso de tratamento biológico de resíduos. Florianópolis –SC, 1997.

EPA – US. Environmental Protection Agency – Technology Transfer. **Manual: Nitrogen control**. Washington – U.S.A. 311 p., 1993.

FLEMMING, H.-C; Role and levels of real-time monitoring for successful ant fouling strategies an overview. **Water Science & Technology**, v.7, n.5, p.1-8, 2003.

FRIED, J. & LEMMER, H. On the dynamics and function of ciliates in sequencing batch biofilm reactors. **Water Science & Technology**, v.47, n.5, p.189-196, 2003.

GEBARA, D., SOBINHO, M.D. ALÉM SOBRINHO, P.; MATSUMOTO,T; TANGERINO, E.P. Coeficiente de transferência de oxigênio em Reator Aeróbio de Leito Fluidizado para Tratamento de esgoto. In: XX CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL, **Anais ... ABES** Rio de Janeiro – RJ , 1999.CD-ROM.

GONÇALVES, R.F; CHERNICHARO, C.A.L.; NETO, C.O.A.; ALÉM SOBRNHO, P.; KATO, M.T; COSTA, R..H. R.; AISSE, M.M.; ZAIAT, M. **Pós -Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios**. Cap. 4 - Pós- Tratamento de Efluentes de Reatores Anaeróbios por Reatores com Biofilme , p. 171 – 278; PROSAB 2; 2001.

GORONSZY, M.C. Intermittent operation of the extended aeration process for small systems, journal of the **Water Pollution Control Federation**, v.51, n..2, p. 274-287, 1979.

GRANDO ALVES, K.C.. **Tratamento de Efluentes Têxteis Usando Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio com Pré ou Pós-Ozonização**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis. 90 p., 2000.

GRAU,P.; CHUDOBA,J and DOHANYOS,M. “Theory and Practice of Accumulation- Regeneration Approach to the Control of Activated Sludge: Filamentous Bulking”, Chapter 7 in: **Bulking of Activated Sludge: Preventative and Remedial Methods**. Eds B. Chambers and E.J. Tomlinson Ellis Howood Ltd. Chichester, England.

HEIN DE CAMPOS, R. **Utilização de Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio em Sistema de Tratamento Combinado de Águas Residuárias**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 117 p., 2001..

HENZE, M., HARREMOES, P., JANSEN, J.C. and ARVIN, E. **Wastewater Treatment: Biological and Chemical Processes**. Springer Verlag, Heidelberg, 1995.

HERZBURN, P.A., IRVINE, R.L. e MALINOWSKI, K.C. Biological treatment of hazardous waste in sequential batch reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.57, n.12, pp.1163-1167, 1985.

HOECKER, E. C. & SCHROEDER, E.D. The effect of loading rate on batch activated sludge effluent quality. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v.51, n. 2, p. 264-273, 1979.

IRVINE, R.L. & BUSH, A. W. Sequencing batch biological reactors – an overview. **Journal of the Water Pollution Control Federation**, v.51, n. 2, p. 264-273, 1979.

IRVINE, R.L., WILDERER, P.A. e FLEMMING, H. C. Controlled unsteady state process and technologies – an overview. **Water Science and Technology**, v.35, n. 1, p. 1-10, 1997.

IRVINE, R.L., MILLER, G.; BHAMRAH, A.S. Sequencing batch treatment of wastewater in rural areas. **Journal of the Water Pollution Control Federation**. v.51 p. 244-254, 1979.

IRVINE, R.L.; KETCHUM, L.H; BREYFOGLE, R. and BARTH, E. F. Municipal application of sequencing batch treatment. **Journal of the Water Pollution Control Federation**. 1983.

JENKINS, D.; RICHARD, M. G., DAIGGER, G.T. **Manual on the Causes and Control of Activated Sludge Bulking and Foaming**. 2ª ed. Lewis Publishers, Chelsea, MI, 1993.

JORDÃO, E.P. e PESSÔA, C.A. **Tratamento de Esgotos Domésticos**. 3ª edição, ABES, Rio de Janeiro. 1995.

KABALLO, H.P., ZHAO,Y.and WILDERER,P.A. Elimination of p- chlorophenol in biofilm reactor – a comparative study of continuous flow and sequenced batch operation. **Waster Science and Technology**, v.31, n. 1,p. 51-60, 1995.

KAMIYAMA, H. Lodo ativado por batelada (LAB): os princípios, as modalidades operacionais e suas vantagens. In: XVI CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA E AMBIENTAL. **Anais.. ABES**, p. 441-447, Goiânia-GO, Set/1991.

KAMIYAMA, H. e TSUTIYA, M. T. Lodo ativado por batelada; um processo econômico para o tratamento de esgotos em estações de grande porte. **Revista DAE.**, v.52, n.165, p.1-7, 1992.

KATSOGIANNIS, A.,N.; KORNAROS M.; LYBERATOS G. Long–term effect of total cycle time and aerobic/anoxic phase ratio on nitrogen removal in a sequencing batch reactor. **Water Environment Research**, v.74,n 4, p. 324-337, 2002.

KATSOGIANNIS, A. N., KORNAROS, M. and LYBERATOS, G. Enhanced nitrogen removal in SBRs bypassing nitrate generation accomplished by multiple aerobic/anoxic phase pairs. **Water Science & Technology**, v 47 n.11, 53-60, 2003.

KEEVIL, C.W. Rapid detection of biofilms and adherent pathogens using scanning confocal laser microscopy and episcopic differential interference contrast microscopy. **Water Science & Technology**, v. 47, n.5, p.105-116, 2003.

KETCHUM JR., L.H., BREYFOGLE, R. E. e MANNING JR.,J.F. A comparison of biological and chemical phosphorus removals in continuous and sequencing batch reactors. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.59, n..1, p.13-18,1987.

KETCHUM JR., L.H. Design and physical features of sequencing batch reactors. **Water Science & Technology**, v.35 n.1, p.11-18, 1997.

LACKEY, J. B. e SMITH, D. B. Factor influencing development of biological flocs, biological treatment of sewage and industrial wastes. **Reinhold Publishing Corporation**, p 108-115, EUA, 1956.

LAZAROVA, V. and MANEM, J. Advances in biofilm aerobic reactors ensuring effective biofilm activity control. IN: SECOND INTERNATIONAL SPECIALIZED CONFERENCE ON BIOFILM REACTORS, 2, 1993, Paris, France. **Anais...**, p.411-420, 1993.

LAROZA, V. and MANEM, J. Advances in biofilm aerobic reactors ensuring effective biofilm activity control. **Water Science Technology**, v.29, n..10-11, p.319-327, 1994.

LAROZA, V. e MANEM, J. Biofilm characterization and activity analysis in water and wastewater treatment. **Water Research** , v.29,n.10, p.2227-2245,1995.

LEWANDOWSKI, Z. & BEYENAL, H. Biofilm monitoring: a perfect solution in search of a problem. **Water Science & Technology**, v 47, n.5, p.9-18, 2003.

LOWRY, O.H. et al. Potein measurement with the folin phenol reagent. **Journal of Environmental Engineering**, v. 112, n.4, p. 718-727, 1951.

LUZ, E. L. **Tratamento de Esgoto em Reatores por Bateladas Controlados por Sistema de Telegestão e Suporte Operacional Informatizado**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 135 p., 1998.

MADONI, P. A Sludge Biotic Index (SBI) for the evaluation of the biological performance of activated sludge plants based on the microfauna analysis. **Water Research**, v.28 , n.1, p 67-75, 1994.

MARTINS, C.L. **Comportamento de Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio Utilizando Diferentes Materiais Suporte**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 153 p. 2003.

MERK, E.D. Nitrato, Nitrito, Amônia. Frankfurter – Germany. Posfach 4119.

METCALF & EDDY **Wastewater Engineering: treatment, disposal and reuse**. Mc Graw Hill, 3rd ed.,1991.

MOREIRA, M.P; YAMAKAWA, C.S.; ALEGRE, R.M. Adição de Fonte de Carbono no Início da Fase Anóxica na Remoção de Macronutrientes e DQO por Lodo Ativado Usando RBS no Tratamento de Água Residuária Avícola. **Engenharia Sanitária e Ambiental**. v.7,n. 2, p.16-20, 2002.

MUNCH, E.V., BAND, P. and KELLER, J. Simultaneous nitrification and denitrification in bench-scale sequencing batch reactors. **Water Research**, v.30, n..2, p. 277-284, 1996.

NG, W.J. Sequencing Batch Reactor (SBR) Treatment of wastewaters. **Environmental Sanitation Reviews**, v. 28, p. 1-54, 1989.

NGUYEN, K.M. **Description et modélisation des films biologiques aérobies**. Thèse (Doctorat Ingénierie du Traitement et de l' Epuración des Eaux), L' Institut National des Sciences Appliquées de Toulouse (INSA). 235p. Toulouse, 1989.

NICOLELLA, C., CHIARLE,S., DI FELICE, R. and ROVATTI, M. Mechanisms of biofilm detachment in fluidized bed reactors. **Water Science & Technology**, v.36, n..1, p. 229-233, 1997.

NIELSEN, P.H., JAHN, A.. and PALMGREN, R. Conceptual model for production and composition of exopolymers in biofilms. **Water Science & Technology**, v. 36, n..1, p.229,1997.

NODA, N., EBIE, Y., MATSUMURA, M., TSUNEDA, S., HIRATA, A. and INAMORI, Y. Comparaison of detection specificity of nitrifying bacteria in biofilm using fluorescence in situ hybridization and in situ fluorescent antibody methods. **Water Science & Technology**, v.47, n..5, p.129-132, 2003.

ØDEGAARD, H.; GISVOLD, B., STRICKLAND, J. The influence of carrier size and shape in the moving bed biofilm process. **Water Science and Technology**, v 41, n.4-5, p. 383-391, 2000.

ØDEGAARD, H.; RUSTEN,B and WESTRUM,T. A new moving bed biofilm reactor – applications and results. **Water Science & Technology**, v.29, n 10-11, p. 157-165, 1994.

OKADA, M., TERAZONO, K. And SUDO, R. Removal of nutrients and DBO from soybean fermentation wastewater in a ten- years-old sequencing batch reactor activated sludge process. **Water Science and Tecnology**, v.22, n..9, p.85-92, 1990.

ORHON, D., SEKOULOV, I. and DULKADIROGIU, H. Innovatives technologies for wastewater treatment in coastal tourist areas. **Water Science & Technology**, v 46, n. 8, p. 67-74, 2002.

PIRES, M. R; FIGUEIREDO, R.F. Efeito do tempo de enchimento no desempenho de um reator tipo batelada. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES - RJ, v. 3, n. 3 e 4, , p. 113-116. 1998.

POCHANA, K. and KELLER, J. Study of factor affecting simultaneous nitrification and denitrification (SND). **Water Science and Technology**, v.39,n..6, p. 61-68, 1999

PONCELET, D. Biotechnologie des lits fluidisés en réacteur cylindrique et tronc-conique. Trib. **CEBEDEAU**, v.38, n. 494, p. 3 –12, 1985.

RIM,Y.T., YANG, H. YOON, C.H., KIM, Y. S., SEO, J. B., RYU, J.K. and SHIN, E. B. A full-scale test of a biological nutrients removal system using the sequencing batch reactor activated sludge process. **Water Science and Technology**, v.35, n. 1, p. 241-248, 1997.

ROQUES H. **Fondements théoriques du traitement biologique des eaux**. Tomes I et II, Technique et Documentation,1980.

RUSSEL, J, COOPER, R.N. and LENDESES, S.B. Soil denitrification rates at wastewater irrigation sites receiving primary treated and anerobically trated meat processing effluent. **Bio Tecnology** v.43, p 41-46, 1993.

RUSTEN, B., JOHNSON, C.H., DEVALL, S., DAVOREN, D. and CASHION, B.S. Biological pretreatment of a chemical plant wastewater in high-rate moving bed biofilm reactors. **Water Science and Technology**, v.39, n. 10/11, p. 257-264, 1999.

SALES, R. **Cinética de degradação de efluente têxtil por biofilme em leito fluidizado trifásico aeróbio**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 56 p., 1999.

SCHMID, T., PANNE, U., HAISCH, C. and NIESSNER, R. Biofilm monitoring by photoacoustic spectroscopy. **Water Science & Technology**, v 47, n. 5, p.25-30, 2003.

SCHROEDER, E. D. Design of sequencing batch reactor activated sludge processes. **Civil Engineering for Practicing and Desing Engineers**, v.2, p.22-44,1982.

SILVERSTEIN, J. and SCHROEDER, E.D. Performance of SBR activated sludge processes with nitrification/denitrification. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v.54, n.4, p.377-384,1983.

SOUSA, J. T. & FORESTI, E. Avaliação de reator seqüencial em batelada (SBR) no pós-tratamento de efluentes de reator UASB. **Revista Engenharia Sanitária e Ambiental**, ABES – RJ, v.6, nºs. 1 e 2, p. 9-16, 2001.

STENSTROM, M, K, and PODUSKA,R.. A. The effects of dissolved oxygen concentration on nitrification. **Water Science & Technology**., v.14, n.6, p.643-649, 1980.

STENSTROM M.K. and SONGE, S. Effects of oxygen transport limitation on nitrification in the activated sludge process. **Journal of Water Pollution Control Federation**, v. 63, n. 3, p.208-219, 1991.

SUTTON, P.M. Engineered systems for biotreatment-adsorption of hazardous wastes. **General Review**, p.53-74. 1988.

SURMACZ-GORSKA,J.CICHON,A. and MIKSCH, K. Nitrogen removal from wastewater with high ammonia nitrogen concentration via shorter nitrification and denitrification. **Water Science and Technology**, v. 36 no.10, p. 73-78,1997.

TAVARES, C.R.G. **Tratamento aeróbio de efluentes em bio-reactores de leito fluidizado trifásico.** Tese de Doutorado em Engenharia Química- COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro. Rio de Janeiro, 1992.

THALASSO,F., VALLESSILO, A., GARCIA-ENCINA, P. and POLANCO, F. The use of methane as a sole carbon source for wastewater denitrification. **Water Research**, v.31, p. 55-60,1997.

THAYALAKUMARAN, R., BHAMIDIMARRI and BICKERS P. O. Biological nutrient removal from meat processing wastewater using a sequencing batch reactor. **Water Science and Technology**, v. 47 n.10, p. 101-108, 2003.

TINHAM, P. & BOTT, T.R. Biofouling assessment using an infrared monitor. **Water Science & Technology**, v.47, n. 5, p.39-44, 2003.

TORRIJOS, M. and MOLETTA, R. Winery wastewater depollution by sequencing batch reactor. **Water Science & Technology**, v.35, n. 1, p.249-257,1997.

TRINET,F., HEIM da COSTA, R., AMAR, D., CHANG, H.T. and RITTMANN, B.E. Study of biofilm and fluidization of bioparticles in a three-phase liquid –fluidized-bed reactor. **Water Science & Technology**, v.23,p. 1347-1354, 1991.

Van LOOSDRECHT, M.C.M.; EIKELBOOM, D.; GJALTEMA, A.; MULDER, A.; TIJHUIS L.; HEIJNEN,J.J. Biofilm structures. **Water Science Technology**, v.32, n.8, p. 35-43, 1995.

Von SPERLING, M. **Lodos Ativados – Princípios do tratamento biológico de águas residuárias.** Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental; Universidade Federal de Minas Gerais. Belo Horizonte, v.4, 1997.

VAZOLLER, R. F. Biodiversidade: Oportunidade e Perspectivas Tecnológicas. **Workshop...** Campinas-SP.USP. p.1-24.1996.

VALOKITA, M., BELKIN, S., ABELIOVICH, A., SOARES, INES, M. Biological denitrification of drinking water using newspaper. **Water Research**, v.30, p.965-971, 1996.

XAVIER, J.B., WHITE, D.C. and ALMEIDA, J.S. Automated biofilm morphology quantification from confocal laser scanning microscopy imaging. **Water Science & Technology**, v 47, n.5, p.31-38, 2003.

YU, R., ARTAN, N., e ORHON, D. The influence of different substrate on enhanced biological phosphorus removal in a sequencing batch reactor. **Water Science and Technology**,.v. 35, no.1, p. 75-80. 1997.

WANNER, O. and REICHERT, P.A. Multispecies biofilm model. **Bioengineering**, v.28, mar., p.314-328,1986.

WOFF,D.B. **Estudo da Degradabilidade de Efluente Têxtil por Biomassa Fixa Através de um Reator de Leito Fluidizado Trifásico Aeróbio**. Dissertação de Mestrado em Engenharia Ambiental – Curso de Pós-Graduação em Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Santa Catarina. Florianópolis, 92 p., 1997.

WOLFF, D.B., CHAVEZ, J.C.O., PAUL, E. e COSTA, R.H.R. Tratamento de Esgoto Sanitário Por Reatores Híbridos. In: XXII CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA SANITÁRIA e AMBIENTAL, Joinville, SC, **Anais...ABES**, 2003.CD-ROM.

APÊNDICE

APÊNDICE A - Ensaio Preliminares de pH, OD, Temperatura P1 – P47.

| P1 | 22/mai | pH | OD | Temp. |
|-----------|--------|------|------|-------|
| | 0 | 6,81 | 1,78 | 27,78 |
| | 3h | 6,64 | 1,71 | 27,8 |
| | 1h | 6,81 | 1,78 | 27,78 |
| | 30' | 6,68 | 5,16 | 27,17 |

| P2 | 27/mai | pH | OD | Temp. |
|-----------|--------|------|------|-------|
| | 0 | 5,44 | 1,44 | 26 |
| | 3h | 6,61 | 1,77 | 27,9 |
| | 1h | 6,56 | 0,93 | 28,3 |
| | 30' | 6,61 | 0,22 | 27,2 |

| P3 | 27/05 II | pH | OD | Temp. |
|-----------|----------|------|------|-------|
| | 0 | 5,56 | 0,08 | 27 |
| | 3h | 6,65 | 0,09 | 28,9 |
| | 1h | 6,68 | 2,05 | 29,8 |
| | 30' | 6,67 | 0,76 | 28,8 |

| P4 | 28/mai | pH | OD | Temp. |
|-----------|--------|------|------|-------|
| | 0 | 6,89 | 0,1 | 28,9 |
| | 3h | 6,37 | 0,08 | 28,9 |
| | 1h | 6,47 | 1,17 | 29,3 |
| | 30' | 6,47 | 1,7 | 6,47 |

| P5 | 24/jun | pH | OD | Temp. |
|-----------|--------|------|------|-------|
| | 0 | 6,29 | 0,15 | 24,4 |
| | 3h | 6,69 | 0,05 | 23,5 |
| | 1h | 6,76 | 2,33 | 26,9 |
| | 30' | 6,79 | 0,01 | 23,9 |

| P6 | 24/06 II | pH | OD | Temp. |
|-----------|----------|------|------|-------|
| | 0 | 5,28 | 4,35 | 19,6 |
| | 3h | 6,58 | 0,02 | 23,2 |
| | 1h | 6,78 | 2,16 | 23,2 |
| | 30' | 6,73 | 0,02 | 23,1 |

| P7 | 25/jun | pH | OD | Temp. |
|-----------|--------|------|------|-------|
| | 0 | 6,72 | 0,08 | 18,9 |
| | 3h | 6,17 | 5,38 | 21,7 |
| | 1h | 6,78 | 2,97 | 21,8 |
| | 30' | 7,17 | 1,87 | 21,6 |

| P8 | 25/06 II | pH | OD | Temp. |
|-----------|----------|------|------|-------|
| | 0 | 5,99 | 0,1 | 20,7 |
| | 3h | 6,69 | 0,03 | 22,3 |
| | 1h | 6,73 | 1,51 | 22,4 |
| | 30' | 6,76 | 1,47 | 22,4 |

| P9 | 27/jun | pH | OD | Temp. |
|-----------|--------|------|------|-------|
| | 0 | 5,1 | 0,1 | 21,6 |
| | 3h | 6,79 | 0,06 | 22,9 |
| | 1h | 6,81 | 1,55 | 23,8 |
| | 30' | 6,81 | 1,48 | 23,8 |

| P10 | 27/06 II | pH | OD | Temp. |
|------------|----------|------|------|-------|
| | 0 | 5,25 | 0,07 | 22,7 |
| | 3h | 6,65 | 0,04 | 24,6 |
| | 1h | 6,69 | 1,65 | 24,9 |
| | 30' | 6,72 | 0,05 | 24,8 |

| P11 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 28/jun | pH | OD | Temp. |
| 0 | 5,33 | 0,05 | 24,2 |
| 3h | 6,52 | 0,05 | 25,1 |
| 1h | 6,58 | 2,28 | 26 |
| 30' | 6,58 | 0,04 | 25,8 |

| P12 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 28/06 II | pH | OD | Temp. |
| 0 | 4,82 | 0,22 | 24,5 |
| 3h | 6,4 | 0,05 | 26,7 |
| 1h | 6,43 | 2,5 | 26,9 |
| 30' | 6,44 | 0,09 | 26,7 |

| P13 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 01/jul | pH | OD | Temp. |
| 0 | 6,9 | 0,57 | 29 |
| 3h | 7,07 | 2,3 | 30 |
| 1h | 7 | 3,39 | 30 |
| 30' | 7,01 | 2,79 | 30 |

| P14 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 01/07 II | pH | OD | Temp. |
| 0 | 5,37 | 0,04 | 25,9 |
| 3h | 6,79 | 2,06 | 29,8 |
| 1h | 6,8 | 2,21 | 29,8 |
| 30' | 6,81 | 0,62 | 29,8 |

| P15 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 02/jul | pH | OD | Temp. |
| 0 | 6,04 | 0,06 | 26,5 |
| 3h | 6,92 | 0,04 | 27,8 |
| 1h | 6,9 | 1,75 | 28 |
| 30' | 6,92 | 1,32 | 28 |

| P16 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 02/07 II | pH | OD | Temp. |
| 0 | 5,02 | 0,06 | 24,6 |
| 3h | 6,66 | 0,05 | 28,1 |
| 1h | 6,69 | 1,3 | 28,7 |
| 30' | 6,71 | 0,03 | 28,6 |

| P17 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 15/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,11 | 2,04 | 23,6 |

| P18 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 15/07II | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,61 | 1,63 | 23,4 |

| P19 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 16/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,77 | 0,16 | 24,4 |

| P20 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 16/07II | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,45 | 0,07 | 24,6 |

| P21 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 17/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,65 | 0,08 | 25,2 |

| P22 | | | |
|------------|------|-----|-------|
| 17/07II | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,34 | 0,8 | 25,1 |

| P23 | | | |
|------------|------|-----|-------|
| 19/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | | | |
| 30' | | | |
| 45' | | | |
| 75' | | | |
| 105' | 6,65 | 0,5 | 25,2 |

| P24 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 22/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 6,17 | 0,44 | 28,7 |
| 30' | 6,76 | 3,71 | 27,6 |
| 45' | 6,97 | 4,19 | 27,9 |
| 75' | 6,96 | 1,97 | 27,6 |
| 105' | 6,94 | 1,93 | 27 |

| P25 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 22/07 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 6,98 | 0,09 | 23 |
| 30' | 6,69 | 0,04 | 27,1 |
| 45' | 6,7 | 2,12 | 27,1 |
| 75' | 6,69 | 0,03 | 27,2 |
| 105' | 6,7 | 0,03 | 26,9 |

| P26 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 23/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,48 | 0,11 | 24,2 |
| 30' | 6,76 | 2,99 | 26,6 |
| 45' | 6,72 | 3,52 | 26,7 |
| 75' | 6,76 | 1,14 | 26,6 |
| 105' | 6,76 | 0,08 | 26,7 |

| P27 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 23/07 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 6,76 | 0,56 | 23,3 |
| 30' | 6,54 | 0,04 | 26,5 |
| 45' | 6,52 | 1,15 | 26,6 |
| 75' | 6,52 | 0,04 | 26,7 |
| 105' | 6,53 | 0,03 | 26,6 |

| P28 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 24/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 6,76 | 0,09 | 23,5 |
| 30' | 6,55 | 3,19 | 23,9 |
| 45' | 7 | 3,04 | 25,6 |
| 75' | 6,77 | 1,76 | 25,6 |
| 105' | 6,77 | 0,61 | 25,4 |

| P29 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 24/07 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 7,02 | 0,05 | 19,2 |
| 30' | 6,67 | 0,04 | 26,5 |
| 45' | 6,68 | 1 | 26,6 |
| 75' | 6,62 | 0,03 | 25,7 |
| 105' | 6,62 | 0,03 | 25,4 |

| P30 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 25/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,19 | 0,1 | 25,5 |
| 30' | 6,77 | 0,5 | 26,6 |
| 45' | 6,19 | 1,8 | 26,6 |
| 75' | 6,79 | 0,1 | 26,5 |
| 105' | 6,77 | 0,03 | 26,6 |

| P31 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 25/07 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,97 | 0,03 | 26 |
| 30' | 6,98 | 0,02 | 26,5 |
| 45' | 6,79 | 0,79 | 26,5 |
| 75' | 6,68 | 0,02 | 26,6 |
| 105' | 6,98 | 0,02 | 26,5 |

| P32 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 26/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,39 | 0,03 | 23,3 |
| 30' | 6,79 | 2,3 | 25,5 |
| 45' | 6,8 | 3,01 | 25,5 |
| 75' | 6,83 | 1,12 | 25,7 |
| 105' | 6,67 | 0,05 | 25,5 |

| P33 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 26/07 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,49 | 0,05 | 24 |
| 30' | 6,67 | 0,03 | 25,1 |
| 45' | 6,65 | 0,44 | 25,1 |
| 75' | 6,65 | 0,02 | 24,9 |
| 105' | 6,67 | 0,03 | 23,7 |

| P34 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 29/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 4,89 | 0,27 | 22,9 |
| 30' | 6,79 | 1,49 | 23,3 |
| 45' | 6,61 | 2,36 | 23,3 |
| 75' | 6,64 | 0,74 | 23,4 |
| 105' | 6,67 | 0,09 | 23,1 |

| P35 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 30/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 4,91 | 0,09 | 25 |
| 30' | 6,72 | 2,86 | 24,2 |
| 45' | 6,75 | 2,65 | 24,4 |
| 75' | 6,74 | 0,08 | 24,5 |
| 105' | 6,73 | 0,08 | 24,3 |

| P36 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 30/07II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 4,99 | 0,13 | 24,9 |
| 30' | 6,67 | 0,09 | 25,7 |
| 45' | 6,65 | 0,46 | 25,9 |
| 75' | 6,67 | 0,04 | 25,9 |
| 105' | 6,67 | 0,03 | 25,8 |

| P37 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 31/jul | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,04 | 0,05 | 24,3 |
| 30' | 6,53 | 0,03 | 24,5 |
| 45' | 6,54 | 0,46 | 25,9 |
| 75' | 6,67 | 0,04 | 25,9 |
| 105' | 6,67 | 0,03 | 25,8 |

| P38 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 31/07II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,04 | 0,05 | 24,3 |
| 30' | 6,53 | 0,03 | 24,5 |
| 45' | 6,54 | 0,04 | 25,9 |
| 75' | 6,48 | 0,05 | 26 |
| 105' | 6,53 | 0,05 | 26 |

| P39 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 01/ago | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,14 | 0,04 | 24,5 |
| 30' | 6,49 | 0,03 | 25,1 |
| 45' | 6,51 | 0,57 | 25,1 |
| 75' | 6,51 | 0,05 | 25 |
| 105' | 6,52 | 0,05 | 25 |

| P40 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 02/ago | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,04 | 0 | 22,6 |
| 30' | 6,52 | 0,15 | 22,9 |
| 45' | 6,52 | 1,93 | 23 |
| 75' | 6,55 | 0,09 | 23 |
| 105' | 6,54 | 0 | 22,6 |

| P41 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 02/08II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 4,91 | 0,03 | 22,3 |
| 30' | 6,44 | 0 | 22,7 |
| 45' | 6,43 | 0,43 | 22,8 |
| 75' | 5,05 | 0 | 22,8 |
| 105' | 6,44 | 0 | 22 |

| P42 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 03/ago | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,21 | 0 | 23,1 |
| 30' | 6,71 | 1,66 | 25,1 |
| 45' | 6,72 | 1,94 | 25,2 |
| 75' | 6,69 | 0,18 | 25,2 |
| 105' | 7 | 0 | 25 |

| P43 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 03/08 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,24 | 0 | 22,9 |
| 30' | 6,62 | 0 | 24,9 |
| 45' | 6,64 | 0,36 | 24,9 |
| 75' | 6,64 | 0 | 24,9 |
| 105' | 6,65 | 0 | 24,3 |

| P44 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 04/ago | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,49 | 0 | 22,2 |
| 30' | 6,54 | 0 | 24,2 |
| 45' | 6,57 | 0,45 | 24,3 |
| 75' | 6,54 | 0 | 24,4 |
| 105' | 6,6 | 0 | 24 |

| P45 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 04/08 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,84 | 0 | 23 |
| 30' | 6,51 | 0 | 24,3 |
| 45' | 6,68 | 1,53 | 24,4 |
| 75' | 6,54 | 0 | 24,4 |
| 105' | 6,56 | 0 | 24,5 |

| P46 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 07/ago | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,44 | 0,05 | 23,4 |
| 30' | 6,67 | 0,89 | 25,9 |
| 45' | 6,67 | 2,89 | 25,9 |
| 75' | 6,68 | 1,39 | 26 |
| 105' | 6,66 | 0,71 | 25,9 |

| P47 | | | |
|------------|------|------|-------|
| 07/08 II | pH | OD | Temp. |
| 20' | 5,04 | 0,03 | 23,9 |
| 30' | 6,56 | 0,04 | 25,8 |
| 45' | 6,59 | 0,06 | 25,9 |
| 75' | 6,59 | 0,06 | 25,9 |
| 105' | 6,6 | 0,02 | 25,9 |

APÊNDICE B – Ensaio preliminares de DQO do P1-P47.

| P5 | | | |
|-----------|--------|------------|--|
| 24/jun | reator | decantador | |
| 0 | 387,74 | | |
| 3h | 121,84 | 148,96 | |
| 1h | 119,39 | 161,66 | |
| 30' | 113,3 | 113,3 | |

| P6 | | | |
|-----------|--------|------------|--|
| 24/06 II | reator | decantador | |
| 0 | 306,32 | | |
| 3h | 117,29 | 122,04 | |
| 1h | 115,85 | 104,21 | |
| 30' | 120,3 | 120,3 | |

| P10 | | | |
|------------|--------|------------|--|
| 27/jun | reator | decantador | |
| 0 | 320,2 | | |
| 3h | 143,83 | 113,6 | |
| 1h | 138,82 | 128,07 | |
| 30' | 126,55 | 126,55 | |

| P11 | | | |
|------------|----------|------------|--|
| 28/jun | reator I | decantador | |
| 0 | 409,85 | | |
| 3h | 207,14 | 204,95 | |
| 1h | 168,44 | 218,73 | |
| 30' | 189,25 | 189,25 | |

| P12 | | | |
|------------|--------|------------|--|
| 28/06 II | reator | decantador | |
| 0 | 416,81 | | |
| 3h | 194,86 | 227,9 | |
| 1h | 187,52 | 201,41 | |
| 30' | 187,52 | 187,52 | |

| P13 | | | |
|------------|--------|------------|--|
| 01/jul | reator | decantador | |
| 0 | 413,06 | | |
| 3h | 148,54 | 142,25 | |
| 1h | 148,12 | 137,31 | |
| 30' | 118,03 | 118,03 | |

| P14 | | | |
|------------|--------|------------|--|
| 01/07II | reator | decantador | |
| 0 | 278,73 | | |
| 3h | 137,31 | | |
| 1h | 60,16 | | |
| 30' | 65,84 | 65,84 | |

| P15 | | | |
|------------|--------|------------|--|
| 02/jul | reator | decantador | |
| 0 | 288,53 | | |
| 3h | 68,96 | 49,58 | |
| 1h | 126,3 | 126,33 | |
| 30' | 41,72 | 41,72 | |

| P16 | | | |
|------------|--------|------------|--|
| 02/07 II | reator | decantador | |
| 0 | 364,73 | | |
| 3h | 303,22 | | |
| 1h | 76,3 | 86,24 | |
| 30' | 111,71 | 111,71 | |

| P17 | | |
|------------|--------|--|
| 15/jul | DQO | |
| 20' | 233,86 | |
| 30' | 35,68 | |
| 45' | 177,46 | |
| 75' | 76,73 | |
| 105' | 75,65 | |

| P18 | |
|------------|--------|
| 15/07 II | DQO |
| 20' | 310,12 |
| 30' | 58,88 |
| 45' | 64,44 |
| 75' | 132,44 |
| 105' | 131,62 |

| P19 | |
|------------|--------|
| 16/jul | DQO |
| 20' | 343,1 |
| 30' | 126,68 |
| 45' | 117,22 |
| 75' | 49,4 |
| 105' | 45 |

| P20 | |
|------------|--------|
| 16/07II | DQO |
| 20' | 291,52 |
| 30' | 147,93 |
| 45' | 146,17 |
| 75' | 151,26 |
| 105' | 150,23 |

| P21 | |
|------------|--------|
| 17/jul | DQO |
| 20' | 352,78 |
| 30' | 62,17 |
| 45' | 169,56 |
| 75' | 168,62 |
| 105' | 90,01 |

| P22 | |
|------------|--------|
| 17/07 II | DQO |
| 20' | 222,42 |
| 30' | 90,27 |
| 45' | 94,59 |
| 75' | 89,23 |
| 105' | 88,24 |

| P24 | |
|------------|--------|
| 22/jul | DQO |
| 20' | 689,71 |
| 30' | 167 |
| 45' | 237,6 |
| 75' | 108,06 |
| 105' | 100,3 |

| P25 | |
|------------|--------|
| 22/07II | DQO |
| 20' | 217,29 |
| 30' | 183,28 |
| 45' | 153,78 |
| 75' | 132,61 |
| 105' | 131,6 |

| P26 | |
|------------|--------|
| 23/jul | DQO |
| 20' | 250,64 |
| 30' | 260,8 |
| 45' | 270,72 |
| 75' | 155,14 |
| 105' | 107,83 |

| P28 | |
|------------|--------|
| 24/jul | DQO |
| 20' | 207,38 |
| 30' | 170 |
| 45' | 375,52 |
| 75' | 299,96 |
| 105' | 123,7 |

| P29 | |
|------------|--------|
| 24/07 II | DQO |
| 20' | 275,18 |
| 30' | 231,93 |
| 45' | 183,22 |
| 75' | 212,78 |
| 105' | 166,39 |

| P30 | |
|------------|-----|
| 25/jul | DQO |
| 20' | 15 |
| 30' | 93 |
| 45' | 76 |
| 75' | 65 |
| 105' | 54 |

| P31 | |
|------------|-----|
| 25/07 II | DQO |
| 20' | 130 |
| 30' | 98 |
| 45' | 93 |
| 75' | 85 |
| 105' | 72 |

| P32 | |
|------------|--------|
| 26/jul | DQO |
| 20' | 82,59 |
| 30' | 88,09 |
| 45' | 222,68 |
| 75' | 260,46 |
| 105' | 152,51 |

| P33 | |
|------------|--------|
| 26/07 II | DQO |
| 20' | 152,51 |
| 30' | 99,51 |
| 45' | 94,52 |
| 75' | 139,28 |
| 105' | 169,38 |

| P34 | |
|------------|--------|
| 29/jul | DQO |
| 20' | 258,17 |
| 30' | 79,79 |
| 45' | 93,08 |
| 75' | 93,05 |
| 105' | 67,48 |

| P36 | |
|------------|--------|
| 30/jul DQO | |
| 20' | 106,72 |
| 30' | 276,38 |
| 45' | 251,29 |
| 75' | 171,94 |
| 105' | 137,8 |

| P37 | |
|------------|--------|
| 31/jul | DQO |
| 20' | 330,55 |
| 30' | 190,14 |
| 45' | 212,66 |
| 75' | 260,46 |
| 105' | 179,7 |

| P38 | |
|------------|--------|
| 31/07II | DQO |
| 20' | 248,51 |
| 30' | 133,52 |
| 45' | 193,32 |
| 75' | 273,81 |
| 105' | 186,43 |

| P39 | |
|------------|--------|
| 01/ago DQO | |
| 20' | 316,79 |
| 30' | 241,67 |
| 45' | 220,25 |
| 75' | 134,76 |
| 105' | 98,65 |

| P40 | |
|------------|--------|
| 02/ago | DQO |
| 20' | 177,27 |
| 30' | 171,25 |
| 45' | 133,13 |
| 75' | |
| 105' | |

| P41 | |
|------------|--------|
| 02/08 II | DQO |
| 20' | 269,44 |
| 30' | 234,43 |
| 45' | 232 |
| 75' | 235 |
| 105' | 238,1 |

| P44 | |
|------------|--------|
| 04/ago | DQO |
| 20' | 208,05 |
| 30' | 167,72 |
| 45' | 136,79 |
| 75' | |
| 105' | |

| P45 | |
|------------|--------|
| 04/08 II | DQO |
| 20' | 233,15 |
| 30' | 281,14 |
| 45' | 139,06 |
| 75' | 138 |
| 105' | 137 |

| P46 | |
|------------|--------|
| 07/ago | DQO |
| 20' | 190,16 |
| 30' | 172,77 |
| 45' | |
| 75' | |
| 105' | |

| P47 | |
|------------|--------|
| 07/ago | DQO |
| 20' | 199,3 |
| 30' | 182,84 |
| 45' | 65,75 |
| 75' | |
| 105' | 69,09 |

APÊNDICE C - Ensaio de Sólidos Suspensos do P1 – P43 (Não há alguns resultados)

| P1 | | |
|-----------|----|----|
| 22/mai | SS | |
| 0 | | 68 |
| 3h | | 44 |
| 1h | | 4 |
| 30' | | 2 |

| P2 | | |
|-----------|----|-----|
| 27/mai | SS | |
| 0 | | 148 |
| 3h | | 126 |
| 1h | | 94 |
| 30' | | 98 |

| P3 | | |
|-----------|----|----|
| 27/05 II | SS | |
| 0 | | 88 |
| 3h | | 74 |
| 1h | | 68 |
| 30' | | 58 |

| P4 | | |
|-----------|----|----|
| 28/mai | SS | |
| 0 | | 62 |
| 3h | | 66 |
| 1h | | 6 |
| 30' | | 30 |

| P13 | | |
|------------|----|----|
| 01/jul | SS | |
| 0 | | 44 |
| 3h | | 28 |
| 1h | | 28 |
| 30' | | 20 |

| P14 | | |
|------------|----|----|
| 01/07 II | SS | |
| 0 | | 36 |
| 3h | | 96 |
| 1h | | 66 |
| 30' | | 86 |

| P15 | | |
|------------|----|----|
| 25/jun | SS | |
| 0 | | 98 |
| 3h | | 95 |
| 1h | | 98 |
| 30' | | 86 |

| 25/06 II | | SS |
|-----------------|--|----|
| 0 | | 66 |
| 3h | | 72 |
| 1h | | 62 |
| 30' | | 58 |

| 20' | | 6 |
|------|--|----|
| 30' | | 34 |
| 45' | | 18 |
| 75' | | 0 |
| 105' | | 12 |

| P18 | | |
|------------|----|----|
| 15/07II | SS | |
| 20' | | 22 |
| 30' | | 12 |
| 45' | | 32 |
| 75' | | 20 |
| 105' | | 2 |

| P19 | | |
|------------|----|----|
| 16/jul | SS | |
| 20' | | 6 |
| 30' | | 8 |
| 45' | | 16 |
| 75' | | 0 |
| 105' | | 0 |

| P20 | | |
|------------|----|----|
| 16/07II | SS | |
| 20' | | 34 |
| 30' | | 0 |
| 45' | | 2 |
| 75' | | 6 |
| 105' | | 2 |

| P21 | | |
|------------|----|----|
| 17/jul | SS | |
| 20' | | 0 |
| 30' | | 10 |
| 45' | | 46 |
| 75' | | 38 |
| 105' | | 34 |

| P22 | | |
|------------|----|----|
| 17/07II | SS | |
| 20' | | 46 |
| 30' | | 37 |
| 45' | | 36 |
| 75' | | 34 |
| 105' | | 11 |

| P23 | | |
|------------|----|-----|
| 19/jul | SS | |
| 20' | | 28 |
| 30' | | 2 |
| 45' | | 2 |
| 75' | | 0 |
| 105' | | 0,8 |

| P24 | | |
|------------|----|------|
| 22/jul | SS | |
| 20' | | 0,44 |
| 30' | | 3,71 |
| 45' | | 4,19 |
| 75' | | 1,97 |
| 105' | | 1,93 |

| P25 | | |
|------------|----|------|
| 22/07 II | SS | |
| 20' | | 0,09 |
| 30' | | 0,04 |
| 45' | | 2,12 |
| 75' | | 0,03 |
| 105' | | 0,03 |

| P26 | | |
|------------|----|------|
| 23/jul | SS | |
| 20' | | 0,11 |
| 30' | | 2,99 |
| 45' | | 3,52 |
| 75' | | 1,14 |
| 105' | | |

| P28 | | |
|------------|----|----|
| 24/jul | SS | |
| 20' | | 90 |
| 30' | | 92 |
| 45' | | 80 |
| 75' | | 95 |
| 105' | | 79 |

| P30 | | |
|------------|----|----|
| 25/jul | SS | |
| 20' | | 98 |
| 30' | | 95 |
| 45' | | 98 |
| 75' | | 86 |
| 105' | | 82 |

| P27 | | |
|------------|----|------|
| 23/07 II | SS | |
| 20' | | 0,56 |
| 30' | | 0,04 |
| 45' | | 1,15 |
| 75' | | 0,04 |
| 105' | | 0,03 |

| P32 | | |
|------------|----|----|
| 26/jul | SS | |
| 20' | | 46 |
| 30' | | 22 |
| 45' | | 68 |
| 75' | | 40 |
| 105' | | 50 |

| P33 | | |
|------------|----|----|
| 26/07 II | SS | |
| 20' | | 42 |
| 30' | | 14 |
| 45' | | 56 |
| 75' | | 72 |
| 105' | | 72 |

| P31 | | |
|------------|----|------|
| 25/07 II | SS | |
| 20' | | 0,03 |
| 30' | | 0,2 |
| 45' | | 0,79 |
| 75' | | 0,02 |
| 105' | | 0,02 |

| P39 | | |
|------------|----|----|
| 01/ago | SS | |
| 20' | | 28 |
| 30' | | 6 |
| 45' | | 2 |
| 75' | | 0 |
| 105' | | 0 |

| P40 | | |
|------------|----|-----|
| 02/ago | SS | |
| 20' | | 30 |
| 30' | | 14 |
| 45' | | 22 |
| 75' | | 104 |
| 105' | | 84 |

| P41 | | |
|------------|----|----------------|
| 02/08II | SS | |
| 20' | | 80 |
| 30' | | 66 |
| 45' | | 108 |
| 75' | | 108 |
| 105' | | 80 |

| P42 | | |
|------------|----|-----|
| 03/ago | SS | |
| 20' | | 130 |
| 30' | | 104 |
| 45' | | 106 |
| 75' | | 150 |
| 105' | | 128 |

| P43 | | |
|------------|----|-----|
| 03/08 II | SS | |
| 20' | | 172 |
| 30' | | 146 |
| 45' | | 106 |
| 75' | | 96 |
| 105' | | 140 |

APÊNDICE D - Serie de Nitrogênio (somente P27, P28 e P45.).

| P27 23/07 II | NO3-N | NO2-N | NH4-N |
|------------------------|--------|--------|-------|
| 20' | 0,425 | 0,1525 | 1,424 |
| 30' | 0,68 | 0,422 | 0,96 |
| 45' | 0,0855 | 0,0767 | 2,733 |
| 75' | 0 | | 0 |
| 105' | 0 | | 0 |

| P28 24/jul | NO3-N | NO2-N | NH4-N |
|----------------------|--------|--------|---------|
| 20' | 0,2813 | 0,0489 | 1,85792 |
| 30' | 0,392 | 0,038 | 2,397 |
| 45' | 0,0885 | 0,095 | 2,929 |
| 75' | 0,292 | 0,044 | 2,38 |
| 105' | 0,438 | 0,095 | 2,045 |

| P45 04/ago | NO3-N | NO2-N | NH4-N |
|----------------------|---------|---------|-------|
| 20' | 0,5249 | 0,0761 | 1,5 |
| 30' | 0,49173 | 0,0722 | 1,9 |
| 45' | 0,62684 | 0,18881 | 2,4 |
| 75' | 0,45629 | 0,0821 | 2 |
| 105' | 0,55375 | 0,06177 | 2,2 |

APÊNDICE E - Resultados do reato r 2

Estratégia 2:2

E15

| 29/10 E15 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,99 | 1,18 | 31,0 |
| 5 | 6,49 | 1,54 | 31,7 |
| 30 | 6,67 | 1,58 | 31,1 |
| 60 | 6,83 | 1,62 | 31,1 |
| 90 | 6,93 | 1,60 | 31,3 |
| 120 | 6,94 | 1,57 | 31,4 |
| 150 | 6,84 | 0,38 | 31,5 |
| 180 | 6,88 | 0,32 | 32,0 |
| 210 | 6,90 | 0,36 | 32,3 |
| 240 | 6,88 | 0,33 | 32,1 |

| 29/out E15 | |
|------------|---------|
| T (min) | DQO |
| 0 | 148,825 |
| 5 | 66,93 |
| 30 | 97,675 |
| 60 | 72,97 |
| 90 | 84,685 |
| 120 | 85,11 |
| 150 | 70,63 |
| 180 | 79,225 |
| 210 | 82,34 |
| 240 | 66,685 |

| 29/out E15 | |
|------------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 20 |
| 5 | 24 |
| 30 | 48 |
| 60 | 32 |
| 90 | 16 |
| 120 | 12 |
| 150 | 50 |
| 180 | 230 |
| 210 | 34 |
| 240 | 24 |

| 29/out | E 15 | | | |
|---------|-------------|-------------|-------------|-------|
| T (min) | NO3-N | NO2-N | NH4 | NTK |
| 0 | 0,208487585 | 0,0915 | 1,044 | 14,56 |
| 5 | 5,050790068 | 0,779147239 | 0,940996705 | 4,368 |
| 30 | 7,848984199 | 0,942638037 | 1,013995058 | 2,184 |
| 60 | 7,09 | 0,839141104 | 1,034497529 | 3,416 |
| 90 | 7,908487585 | 0,800889571 | 0,982 | 3,75 |
| 120 | 8,921444695 | 0,259693252 | 1,1865 | 2,18 |
| 150 | 1,089480813 | 1,467898773 | 1,10199341 | 3,97 |
| 180 | 0,749498871 | 0,68809816 | 0,773 | 4 |
| 210 | 1,114998871 | 0,049800613 | 0,9735 | 3,69 |
| 240 | 1,250498871 | 0,662199387 | 0,765996705 | 3,58 |

| 29/out | E15 | |
|--------|-------|--|
| Tempo | P | |
| 0 | 2,351 | |
| 5 | 1,382 | |
| 30 | 1,175 | |
| 60 | 1,368 | |
| 90 | 0,181 | |
| 120 | 0,84 | |
| 150 | 1,009 | |
| 180 | 1,231 | |
| 210 | 1,636 | |
| 240 | 2,476 | |

E16

| 30/10 E16 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,30 | 1,79 | 29,7 |
| 5 | 6,68 | 2,18 | 29,5 |
| 30 | 6,79 | 2,26 | 29,6 |
| 60 | 6,85 | 2,35 | 29,3 |
| 90 | 6,88 | 2,22 | 29,1 |
| 120 | 6,89 | 2,15 | 29,2 |
| 150 | 6,88 | 1,8 | 29,3 |
| 180 | 6,86 | 1,98 | 29,3 |
| 210 | 6,88 | 1,99 | 29,3 |
| 240 | 6,72 | 1,9 | 28,4 |

| 30/out E16 | |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 111,955 |
| 5 | 52,85 |
| 30 | 80,11 |
| 60 | 91,98 |
| 90 | 85,695 |
| 120 | 96,78 |
| 150 | 106,295 |
| 180 | 99,655 |
| 210 | 95,95 |
| 240 | 135,95 |

| 30/out E16 | |
|------------|----|
| T(min) | SS |
| 0 | 16 |
| 5 | 42 |
| 30 | 48 |
| 60 | 42 |
| 90 | 0 |
| 120 | 44 |
| 150 | 6 |
| 180 | 2 |
| 210 | 6 |
| 240 | 8 |

| 30/ out. E16 2:2 | | | | |
|------------------|------------|------------|------------|-------|
| tempo (min) | NO3-N | NO2-N | NH4 | NTK |
| 0 | 0,0935 | | 1,83949753 | 8,848 |
| 5 | 2,25498871 | 0,69503067 | 1,10049423 | 3,864 |
| 30 | 2,14049661 | 0,72059816 | 1,29699341 | 2,184 |
| 60 | 2,25948081 | 0,74509816 | 1,05799835 | 3,808 |
| 90 | 2,1744921 | 0,77684969 | 0,89549423 | 1,96 |
| 120 | 2,68399549 | 0,83030368 | 0,84149918 | 3,248 |
| 150 | 3,2889842 | 0,80189877 | 1,00494234 | 1,456 |
| 180 | 2,68848758 | 0,82109816 | 0,73949753 | 5,432 |
| 210 | 2,82099323 | 0,83204908 | 0,80299835 | 1,288 |
| 240 | 3,57799097 | 0,824 | 0,72350247 | 5,264 |

| 30/out E16 | |
|------------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 6,359 |
| 5 | 0,696 |
| 30 | 0,723 |
| 60 | 1,278 |
| 90 | 0,84 |
| 120 | 0,181 |
| 150 | 2,476 |
| 180 | 1,636 |
| 210 | 1,231 |
| 240 | 1,009 |

E17

| 31/10 E17 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,13 | 1,59 | 29,2 |
| 5 | 6,68 | 2,07 | 27,2 |
| 30 | 6,71 | 2,19 | 27,5 |
| 60 | 6,73 | 2,15 | 27,5 |
| 90 | 6,75 | 2,19 | 27,5 |
| 120 | 6,79 | 2,15 | 27,5 |
| 150 | 6,89 | 2,05 | 27,2 |
| 180 | 6,79 | 1,99 | 27,2 |
| 210 | 6,80 | 2,02 | 27,2 |
| 240 | 6,80 | 1,95 | 27,2 |

| 31/out E17 | |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 199,425 |
| 5 | 83,545 |
| 30 | 73,235 |
| 60 | 72,835 |
| 90 | 76,48 |
| 120 | 60,045 |
| 150 | 81,125 |
| 180 | 90,845 |
| 210 | 46,26 |
| 240 | 51,46 |

| 31/out E17 | |
|------------|----|
| T(min) | SS |
| 0 | 8 |
| 5 | 62 |
| 30 | 56 |
| 60 | 32 |
| 90 | 42 |
| 120 | 24 |
| 150 | 42 |
| 180 | 60 |
| 210 | 10 |
| 240 | 66 |

| 31/out T (min) | E17 2:2 NO3-N | NO2-N | NH4 | NTK |
|-------------------|------------------|---------------|---------------|-------|
| 0 | 0,061 | 0,01804908 | 0,9065 | 5,712 |
| 5 | 0,80874944 | 0,67274847 | 1,1875 | 5,71 |
| 30 | 0,8089842 | 0,7529 | 1,04149918 | 4,872 |
| 60 | 1,09399549 | 0,80739264 | 1,01549423 | 2,464 |
| 90 | 0,763 | 0,80679755 | 1,19899506 | 5,32 |
| 120 | 0,789 | 0,81155 | 0,804 | 1,904 |
| 150 | 1,61099323 | 2,718677/3,26 | 2,95338/1,21 | 1,512 |
| 180 | 1,025 | 2,717373/3,26 | 1,110203/1,21 | 1,904 |
| 210 | 1,38249887 | 0,28419/3,26 | 1,0592151,21 | 1,68 |
| 240 | 1,339 | 2,83946/3,26 | 1,16301/1,21 | 2,128 |

| 01/nov T(min) | E18 SS |
|------------------|-----------|
| 0 | 62 |
| 5 | 84 |
| 30 | 82 |
| 60 | 118 |
| 90 | 106 |
| 120 | 98 |
| 150 | 66 |
| 180 | 76 |
| 210 | 78 |
| 240 | 64 |

E18

| 01/11 E18 T(min) | pH | OD | t |
|---------------------|------|------|------|
| 0 | 7,24 | 1,64 | 27,2 |
| 5 | 6,65 | 2,12 | 28,7 |
| 30 | 6,74 | 2,18 | 28,7 |
| 60 | 6,84 | 2,22 | 29,0 |
| 90 | 6,86 | 2,24 | 28,7 |
| 120 | 6,88 | 2,25 | 28,5 |
| 150 | 6,88 | 0,89 | 28,7 |
| 180 | 6,89 | 0,39 | 29,0 |
| 210 | 6,80 | 0,30 | 29,0 |
| 240 | 6,80 | 1,80 | 29,0 |

| 01/nov Tempo (min) | E18 DQO |
|-----------------------|------------|
| 0 | 97,97 |
| 5 | 61,285 |
| 30 | 111,1 |
| 60 | 90,805 |
| 90 | 90,19 |
| 120 | 67,265 |
| 150 | 56,75 |
| 180 | 109,275 |
| 210 | 74,375 |
| 240 | 98,805 |

| 31/out Tempo | E17 P |
|-----------------|----------|
| 0 | 1,062 |
| 5 | 0,782 |
| 30 | 1,079 |
| 60 | 0,879 |
| 90 | 2,4999 |
| 120 | 1,907 |
| 150 | 1,31 |
| 180 | 1,031 |
| 210 | 1,183 |
| 240 | |

| 01/nov T (min) | E18 2:2 NO3-N | NO2-N | NH4 | NTK |
|-------------------|------------------|---------|------------|-------|
| 0 | 0,1695 | 0,05735 | 1,56 | 6,608 |
| 5 | 0,586 | 0,92995 | 1,0435 | 6,048 |
| 30 | 0,7875 | 0,96645 | 1,015 | 4,088 |
| 60 | 0,7645 | 0,6554 | 0,9695 | 4,536 |
| 90 | 0,654 | 0,7684 | 1,031 | 5,152 |
| 120 | 0,829 | 0,6362 | 0,8785 | 5,096 |
| 150 | 0,8935 | 0,62705 | 0,849 | 5,936 |
| 180 | 0,771 | 0,69855 | 0,8755 | 2,576 |
| 210 | 1,302 | 0,6457 | 0,75090305 | 0,784 |
| 240 | 1,1995 | 0,6062 | 1,0105 | 3,08 |

| 01/nov Tempo | E18 P |
|-----------------|----------|
| 0 | 0,363 |
| 5 | 3,244 |
| 30 | 1,29 |
| 60 | 0,971 |
| 90 | 1,223 |
| 120 | 0,248 |
| 150 | 0,35 |
| 180 | 2,464 |
| 210 | 0,378 |
| 240 | 0,373 |

E19

| 04/11 E19 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,63 | 1,36 | 31,5 |
| 5 | 6,78 | 1,70 | 30,1 |
| 30 | 6,77 | 1,72 | 30,2 |
| 60 | 6,67 | 1,87 | 29,7 |
| 90 | 6,68 | 1,80 | 29,3 |
| 120 | 6,87 | 1,88 | 29,2 |
| 150 | 6,78 | 1,66 | 29,3 |
| 180 | 6,76 | 1,6 | 29,1 |
| 210 | 6,77 | 1,74 | 29,4 |
| 240 | 6,78 | 1,73 | 30,2 |

| 04/nov | E19 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 110,575 |
| 5 | 61,045 |
| 30 | 26,595 |
| 60 | 61,265 |
| 90 | 49,38 |
| 120 | 31,555 |
| 150 | 36,43 |
| 180 | 22,085 |
| 210 | 27,98 |
| 240 | 38,525 |

| 04/nov | E19 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 16 |
| 5 | 30 |
| 30 | 18 |
| 60 | 36 |
| 90 | 22 |
| 120 | 56 |
| 150 | 48 |
| 180 | 54 |
| 210 | 28 |
| 240 | 46 |

| | | | NH4 | NTK |
|-----|-----------|-------------|------------|-------|
| 0 | 0,044 | 0,009 | 1,21795717 | 5,32 |
| 5 | 0,242 | 0,393496933 | 1,57 | 6,44 |
| 30 | 0,227 | 0,414 | 0,97092257 | 7,84 |
| 60 | 0,3500226 | 0,534 | 2,15321252 | 6,384 |
| 90 | 0,1139955 | 0,5769 | 2,61194399 | 4,2 |
| 120 | 0,387991 | 0,532699387 | 1,88467875 | 5,3 |
| 150 | 0,827991 | 0,621779141 | 1,07578254 | 6,328 |
| 180 | 0,2469977 | 0,736 | 2,44563427 | 2,32 |
| 210 | 0,2 | 0,783374233 | 4,68369028 | 0,616 |
| 240 | 0,122 | 0,844785276 | 2,63599671 | 0,96 |

| 04/nov | E19 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 0,387 |
| 5 | 0,549 |
| 30 | 0,669 |
| 60 | 0,308 |
| 90 | 0,77 |
| 120 | 0,621 |
| 150 | 1,06 |
| 180 | 1,789 |
| 210 | 1,677 |
| 240 | 1,326 |

E20

| 6/nov II E20 | | | |
|--------------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,62 | 1,03 | 25,2 |
| 5 | 5,56 | 1,68 | 28,5 |
| 30 | 6,57 | 1,73 | 28,8 |
| 60 | 6,56 | 1,71 | 29,3 |
| 90 | 6,56 | 1,70 | 28,8 |
| 120 | 6,62 | 1,46 | 28,7 |
| 150 | 6,54 | 1,54 | 29,7 |
| 180 | 6,5 | 1,5 | 28,5 |
| 210 | 6,54 | 1,53 | 28,8 |
| 240 | 6,68 | 1,58 | 28,8 |

| 06/nov | E20 |
|---------|---------|
| T (min) | DQO |
| 0 | 437,3 |
| 5 | 167,125 |
| 30 | 106,62 |
| 60 | 145,52 |
| 90 | 191,205 |
| 120 | 196,715 |
| 150 | 151,595 |
| 180 | 163,995 |
| 210 | 157,295 |
| 240 | 147,87 |

| 06/nov | E20 |
|--------|-------|
| T(min) | SS |
| 0 | 0 |
| 5 | 72 |
| 30 | 48 |
| 60 | 98 |
| 90 | 10 |
| 120 | 30 |
| 150 | 60 |
| 180 | 57,14 |
| 210 | 67 |
| 240 | 2 |

| 6/11 - T (min) | E20 2:2 NO3-N | NO2-N | NH4-N | NTK | 06/nov Tempo | E20 P |
|-------------------|------------------|-------------|------------|--------|-----------------|----------|
| 0 | 0,076 | 0,138190184 | 3,1684514 | 18,592 | 0 | 2,068 |
| 5 | 0,1577878 | 0,2441 | 1,46144975 | 16,016 | 5 | 1,997 |
| 30 | 2,07 | 0,683190184 | 1,94497529 | 8,344 | 30 | 2,02 |
| 60 | 0,5549887 | 0,684490798 | 1,643 | 6,272 | 60 | 2,044 |
| 90 | 0,0149887 | 0,9123 | 0,08171915 | 15,792 | 90 | 2,288 |
| 120 | 0,5969977 | 0,7994 | 1,00349259 | 12,544 | 120 | 2,085 |
| 150 | 1,24 | 0,828447853 | 1,28270181 | 10,856 | 150 | 1,906 |
| 180 | 0,2 | 0,749134969 | 0,68846787 | 12,096 | 180 | 2,182 |
| 210 | 0,956 | 0,059570552 | 1,05691928 | 7,952 | 210 | 1,719 |
| 240 | 1,4 | 0,465644172 | 1,20247117 | 7,832 | 240 | 1,632 |

E21

| 07/11 E21 T(min) | pH | OD | t |
|---------------------|------|------|------|
| 0 | 6,75 | 1,34 | 30,2 |
| 5 | 6,81 | 1,78 | 27,5 |
| 30 | 6,97 | 3,15 | 27,6 |
| 60 | 7,01 | 2,29 | 28,2 |
| 90 | 7,07 | 2,18 | 28,7 |
| 120 | 7,03 | 2,08 | 29 |
| 150 | 7,08 | 2,23 | 28,1 |
| 180 | 6,89 | 1,78 | 29 |
| 210 | 6,98 | 1,75 | 29,8 |
| 240 | | | |

| 07/nov E21 T (min) | DQO 1 |
|-----------------------|---------|
| 0 | 167,39 |
| 5 | 225,175 |
| 30 | 123,875 |
| 60 | 107,045 |
| 90 | 210,24 |
| 120 | 170,67 |
| 150 | 103,235 |
| 180 | 78,495 |
| 210 | 119,8 |
| 240 | 111,97 |

| 07/nov E21 T(min) | SS |
|----------------------|-----|
| 0 | 72 |
| 5 | 132 |
| 30 | 102 |
| 60 | 120 |
| 90 | 40 |
| 120 | 72 |
| 150 | |
| 180 | 30 |
| 210 | 66 |
| 240 | 44 |

| 07/nov T (min) | E21 2:2 NO3-N | NO2-N | NH4 | NTK |
|-------------------|------------------|-------------|------------|--------|
| 0 | 0,026 | 0,037883436 | 2,445 | 20,27 |
| 5 | 1,97 | 0,948680982 | 2,40197694 | 16,744 |
| 30 | 3,0165011 | 0,73398773 | 1,48698517 | 12,63 |
| 60 | 3,4809932 | 0,889386503 | 1,29299835 | 11,36 |
| 90 | 6,9629797 | 0,678282209 | 1,40699341 | 10,53 |
| 120 | 3,2049887 | 0,896871166 | 1,39899506 | 11,63 |
| 150 | 0,9469526 | 0,861871166 | 1,2953 | 10,81 |
| 180 | 2,1004097 | 0,937699387 | 1,337 | 13,16 |
| 210 | 2,3831155 | 0,859294479 | 1,1314 | 13,27 |
| 240 | 2,1835214 | 0,812699387 | 0,90321 | 13,8 |

| 07/nov Tempo | E21 P |
|-----------------|----------|
| 0 | 1,901 |
| 5 | 1,334 |
| 30 | 1,394 |
| 60 | 1,655 |
| 90 | 1,575 |
| 120 | 1,572 |
| 150 | 1,641 |
| 180 | 1,415 |
| 210 | 1,4 |
| 240 | 1,366 |

E22

| 08/11 E22 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,11 | 1,2 | 30,1 |
| 5 | 6,79 | 1,34 | 31,1 |
| 30 | 6,89 | 1,62 | 31,3 |
| 60 | 6,88 | 1,67 | 29,4 |
| 90 | 6,88 | 1,53 | 29,2 |
| 120 | 6,88 | 1,54 | 29,3 |
| 150 | 6,9 | 1,5 | 29,2 |
| 180 | 6,5 | 1,5 | 29,2 |
| 210 | 6,88 | 1,52 | 29,2 |
| 240 | 6,88 | 1,53 | 29,2 |

| 08/nov | E22 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 85,335 |
| 5 | 89,295 |
| 30 | 119,735 |
| 60 | 64,17 |
| 90 | 54,725 |
| 120 | 90,545 |
| 150 | 90,715 |
| 180 | 73,695 |
| 210 | 74,855 |
| 240 | 73,655 |

| 07/nov | E22 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 124 |
| 5 | 92 |
| 30 | 126 |
| 60 | 144 |
| 90 | 118 |
| 120 | 138 |
| 150 | 80 |
| 180 | 76 |
| 210 | 112 |
| 240 | 200 |

| 08/nov | E22 2:2 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------|
| T (min) | NO3-N | NO2-N | NH4 | NTK |
| 0 | 0,023963 | 0,000693252 | 5,94975288 | 17,136 |
| 5 | 3,7063205 | 0,597699387 | 2,8970346 | 19,88 |
| 30 | 1,3147583 | 0,567177914 | 2,16474465 | 17,85 |
| 60 | 1,7284424 | 0,446840491 | 2,66227348 | |
| 90 | 1,3654592 | 0,436441718 | 1,72899506 | 16,23 |
| 120 | 2,981926 | 0,438742331 | 1,86079077 | 16,2 |
| 150 | 2,1782022 | 0,459631902 | 1,574 | |
| 180 | 1,4646699 | 0,571932515 | 1,4485 | |
| 210 | 2,5010064 | 0,47209816 | 1,565486 | |
| 240 | 2,3824835 | 0,80709816 | 1,40931034 | |

| 08/nov | E22 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 1,531 |
| 5 | 1,381 |
| 30 | 1,527 |
| 60 | 1,498 |
| 90 | 1,595 |
| 120 | 1,691 |
| 150 | 1,633 |
| 180 | 1,487 |
| 210 | 1,43 |
| 240 | 1,537 |

Estratégia 1:3

E23

| 11/11 E23 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,7 | 0,32 | 28,7 |
| 5 | 6,88 | 1,36 | 28,1 |
| 30 | 6,88 | 1,28 | 28,2 |
| 60 | 6,89 | 1,4 | 28,2 |
| 90 | 6,84 | 1,12 | 28,5 |
| 120 | 6,89 | 1,29 | 28,8 |
| 150 | 6,94 | 1,29 | 28,8 |
| 180 | 6,91 | 1 | 29,3 |
| 210 | 6,82 | 0,26 | 30 |
| 240 | 6,95 | 1,26 | 29,5 |

| 11/nov | E23 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 231,955 |
| 5 | 201,31 |
| 30 | 183,99 |
| 60 | 175,9 |
| 90 | 137,01 |
| 120 | 148,715 |
| 150 | 164,07 |
| 180 | 161,89 |
| 240 | 71,165 |

| 11/nov | E23 1:3 | | | |
|---------|---------|---------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | | | 0,83031301 | 19,32 |
| 5 | | | 0,64579901 | 11,592 |
| 30 | | | 0,64579901 | 10,472 |
| 60 | | | 0,36902801 | 12,152 |
| 90 | | | 0,59967051 | 10,92 |
| 120 | | | 0,92257002 | 11,928 |
| 150 | | | | 11,256 |
| 180 | | | | 11,592 |
| 240 | | | | 10,236 |

| 11/nov | E23 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 2,476 |
| 5 | 1,623 |
| 30 | 1,484 |
| 60 | 1,58 |
| 90 | 1,583 |
| 120 | 1,333 |
| 150 | 1,213 |
| 180 | 1,219 |
| 210 | 1,212 |
| 240 | 1,445 |

E24

| 14/11 E24 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,58 | 0,58 | 29,7 |
| 5 | 6,5 | 0,63 | 29,9 |
| 30 | 5,56 | 0,58 | 29,2 |
| 60 | 5,6 | 0,6 | 29,3 |
| 90 | 6,57 | 0,29 | 29,5 |
| 120 | 6,9 | 0,27 | 29,7 |
| 150 | 6,92 | 0,23 | 30 |
| 180 | 6,93 | 0,24 | 30 |
| 210 | 6,82 | 0,26 | 30 |
| 240 | 6,82 | 0,26 | 30 |

| 14/nov | E24 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 659,255 |
| 5 | 507,005 |
| 30 | 451,185 |
| 60 | 467,55 |
| 90 | 432,105 |
| 120 | 657,255 |
| 150 | 737,79 |
| 180 | 567,265 |
| 240 | 784,885 |

| 14/nov | E24 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,058 | 0,08309816 | 1,26199341 | 15,904 |
| 5 | 0,111 | 0,336392638 | 0,96899506 | 10,024 |
| 30 | 0,088 | 0,2829 | 1,20691928 | |
| 60 | 0,1469977 | 0,295199387 | 1,67899506 | 26,376 |
| 90 | 0,09 | 0,338 | 1,80691928 | |
| 120 | 0,093 | 0,3732 | 3,24093904 | 19,712 |
| 150 | 0,092 | 0,4257 | 2,03097199 | 34,384 |
| 180 | 0,133 | 0,301196319 | 1,90593081 | |
| 240 | 0,46072 | 1,50449 | 3,5813 | 10,192 |

| 14/nov | E24 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 5,36 |
| 5 | 5,28 |
| 30 | 4,92 |
| 60 | 5,81 |
| 90 | 5,6 |
| 120 | 5,83 |
| 150 | 4,093 |
| 180 | 4,002 |
| 210 | 4,29 |
| 240 | 2,993 |

E25

| 15/11 E25 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,98 | 1,48 | 30,6 |
| 5 | 6,64 | 0,55 | 30,4 |
| 30 | 6,78 | 1,53 | 32,3 |
| 60 | 6,78 | 1,78 | 32,5 |
| 90 | 6,62 | 0,81 | 32,9 |
| 120 | 6,67 | 1,98 | 33,2 |
| 150 | 6,88 | 2,28 | 34 |
| 180 | 6,89 | 2,24 | 34 |
| 210 | 6,89 | 2,21 | 34,9 |
| 240 | 6,89 | 2,21 | 34,9 |

| 15/nov | E25 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 363,445 |
| 5 | 237,645 |
| 30 | 142,04 |
| 60 | 300,35 |
| 90 | 139,83 |
| 120 | 117,335 |
| 150 | 205,045 |
| 180 | 203,36 |
| 240 | 165,625 |

| 15/nov | E25 | | | |
|-------------|-----------|-------------|------------|--------------|
| Tempo (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 4,5146727 | 0,066803681 | 2,63 | |
| 5 | 4,5146727 | 0,0382 | 1,82399506 | 9,632 |
| 30 | 4,5146727 | 0,112 | 3,39799835 | |
| 60 | 4,5146727 | 0,1954 | 3,62092257 | 9,408 |
| 90 | 4,5146727 | 0,211092025 | 3,78899506 | |
| 120 | 4,5146727 | 0,2583 | 3,66886326 | 7,28 |
| 150 | 4,5146727 | 0,3371 | 3,75 | 6,552 |
| 180 | 4,5146727 | 0,343 | 3,76771005 | 6,496 |
| 240 | 4,5146727 | 0,3664 | 3,71293245 | |
| 300 | | 1,445158 | 5,259 | |

| 15/nov | E25 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 3,58 |
| 5 | 2,812 |
| 30 | 2,11 |
| 60 | 0,987 |
| 90 | 0,767 |
| 120 | 1,025 |
| 150 | 0,972 |
| 180 | 1,374 |
| 210 | 1,59 |
| 240 | 0,964 |

E26

| 18/11 E26 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,57 | 1,22 | 29,2 |
| 5 | 5,58 | 0,14 | 30,1 |
| 30 | 6,68 | 0,28 | 30,2 |
| 60 | 6,78 | 0,09 | 31,1 |
| 90 | 6,68 | 0,11 | 32,8 |
| 120 | 6,64 | 0,1 | 33 |
| 150 | 6,65 | 0,08 | 33,2 |
| 180 | 6,61 | 2,3 | 33,2 |
| 210 | 6,78 | 2,34 | 32,1 |
| 240 | 6,78 | 2,34 | 32,1 |

| 18/nov | E26 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 489,98 |
| 5 | 299,25 |
| 30 | 165,41 |
| 60 | 181,355 |
| 90 | 262,82 |
| 120 | 227,835 |
| 150 | 268,83 |
| 180 | 216,41 |
| 240 | 261,49 |

| 18/nov | E26 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 4,5146727 | 0,015297546 | 7,937 | 12,6 |
| 5 | 4,5146727 | 0,19 | 6,96293245 | 8,176 |
| 30 | 4,5146727 | 0,024 | 8,2199341 | |
| 60 | 4,5146727 | 0,0225 | 7,027 | 9,016 |
| 90 | 4,5146727 | 0,0357 | 6,57248764 | |
| 120 | 4,5146727 | 0,047297546 | 6,24497529 | 8,064 |
| 150 | 4,5146727 | 0,077898773 | 5,77594728 | 7,79 |
| 180 | 4,5146727 | 0,113398773 | 5,61894563 | 7,68 |
| 240 | 4,5146727 | 0,157 | 5,76359143 | |

| 18/nov | E26 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 3,422 |
| 5 | 2,793 |
| 30 | 3,298 |
| 60 | 3,264 |
| 90 | 1,705 |
| 120 | 2,502 |
| 150 | 3,283 |
| 180 | 1,909 |
| 210 | 1,73 |
| 240 | 1,4 |

E27

| 19/11 E27 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,58 | 0,55 | 33 |
| 5 | 6,86 | 3,03 | 30,8 |
| 30 | 6,86 | 3,01 | 30,2 |
| 60 | 6,89 | 3,01 | 31,2 |
| 90 | 6,88 | 2,94 | 31,3 |
| 120 | 6,8 | 1,85 | 32,9 |
| 150 | 6,81 | 2,11 | 31,9 |
| 180 | 6,83 | 2,62 | 33,4 |
| 210 | 6,84 | 2,41 | 33,7 |
| 240 | 6,84 | 2,41 | 33,7 |

| 19/nov | E27 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 248,145 |
| 5 | 320,245 |
| 30 | 123,35 |
| 60 | 154,77 |
| 90 | 194,045 |
| 120 | 170,73 |
| 150 | 93,155 |
| 180 | 171,35 |
| 240 | 354,985 |

| 19/nov | E27 | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
|---------|---------------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | | | |
| 0 | | 0,00709816 | 1,35799835 | |
| 5 | altou reagent | 0,222 | 3,69497529 | 8,232 |
| 30 | | 0,1622 | 5,06099671 | |
| 60 | | 0,153435583 | 9,37 | 5,264 |
| 90 | | 0,308 | 4,05 | |
| 120 | | 0,435490798 | 6,58 | 4,088 |
| 150 | | 0,368116564 | 5,55996705 | 2,688 |
| 180 | | 0,3758 | 6,52594728 | 2,072 |
| 240 | | 0,5002 | 8,06795717 | |

| 19/nov | E27 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | |
| 5 | 1,283 |
| 30 | 1,596 |
| 60 | 3,376 |
| 90 | 2,139 |
| 120 | 1,774 |
| 150 | 2,03 |
| 180 | 1,668 |
| 210 | 1,56 |
| 240 | 1,123 |

E28

| 21/nov | E28 | | |
|--------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,86 | 0,09 | 32 |
| 5 | 6,34 | 0,14 | 32,7 |
| 30 | 6,34 | 0,32 | 32,1 |
| 60 | 6,65 | 1,09 | 32,9 |
| 90 | 6,65 | 0,33 | 32,5 |
| 120 | 6,66 | 0,37 | 33,7 |
| 150 | 6,68 | 0,54 | 33,3 |
| 180 | 6,69 | 0,81 | 33,6 |
| 210 | 6,79 | 0,99 | 34,8 |
| 240 | 6,79 | 0,99 | 34,8 |

| 21/nov | E28 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 490,07 |
| 5 | 327,525 |
| 30 | 278,01 |
| 60 | 291,24 |
| 90 | 209,03 |
| 120 | 278,92 |
| 150 | 150 |
| 180 | 266,23 |
| 240 | 236,29 |

| 21/nov | E28 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 28 |
| 5 | 36 |
| 30 | 34 |
| 60 | 16 |
| 90 | 42 |
| 120 | 64 |
| 150 | 2 |
| 180 | 66 |
| 240 | 64 |

| 21/nov | E28 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,093 | 0,1728 | 2,393 | 42,952 |
| 5 | 0,189 | 0,059478528 | 3,90593081 | 17,64 |
| 30 | 0,127 | 0,254 | 4,285 | |
| 60 | 0,1137705 | 0,046 | 3,106 | 16,856 |
| 90 | 0,121 | 0,1163 | 4,71299835 | |
| 120 | 0,055 | 0,0842 | 6,7701631 | 17,64 |
| 150 | 0,12 | 0,05109816 | 6,603 | 4,39 |
| 180 | 0,092 | 0,07059816 | 5,78294893 | 3,96 |
| 240 | 0,54489 | 0,25688 | 7,4333 | |

| 21/nov | E28 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 5,049 |
| 5 | 3,049 |
| 30 | 3,816 |
| 60 | 1,973 |
| 90 | 1,886 |
| 120 | 3,147 |
| 150 | 1,815 |
| 180 | 1,889 |
| 210 | 2,366 |
| 240 | 1,876 |

E29

| 21/nov | E29 | | |
|--------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,62 | 0,12 | 32,4 |
| 5 | 6,65 | 0,08 | 33,4 |
| 30 | 6,74 | 0,09 | 33,4 |
| 60 | 6,54 | 0,54 | 34 |
| 90 | 6,54 | 0,56 | 34 |
| 120 | 6,67 | 0,11 | 33,6 |
| 150 | 6,6 | 0,03 | 33,6 |
| 180 | 6,64 | 0,06 | 33,4 |
| 210 | 6,65 | 0,14 | 33,5 |
| 240 | 6,65 | 0,14 | 33,5 |

| 21/nov | E29 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 310,7 |
| 5 | 294,795 |
| 30 | 214,475 |
| 60 | 369,695 |
| 90 | 205,86 |
| 120 | 196,38 |
| 150 | 146,775 |
| 180 | 194,14 |
| 240 | 168,04 |

| 21/nov | E29 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 200 |
| 5 | 212 |
| 30 | 244 |
| 60 | 224 |
| 90 | 132 |
| 120 | 142 |
| 150 | 112 |
| 180 | 110 |
| 240 | 100 |

| 21/11 II | | E29 | | |
|----------|---------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,089 | 0,109202209 | 4,898 | 12,992 |
| 5 | 0,142 | 0,098680982 | 3,719 | 8,344 |
| 30 | 0,14 | 0,02559816 | 6,04398682 | |
| 60 | 0,125 | 0,078 | 6,977 | 7,616 |
| 90 | 0,117 | 0,0426 | 6,17199341 | |
| 120 | 0,144 | 0,0425 | 6,18599671 | 8,288 |
| 150 | 0,081 | 0,05759816 | 6,91894563 | 8,3 |
| 180 | 0,573 | 0,05 | 7,549 | |
| 240 | 0,34997 | 0,10366 | 7,0254 | 8,4 |

| 21/nov | E 29 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 4,891 |
| 5 | 3,253 |
| 30 | 3,089 |
| 60 | 2,037 |
| 90 | 2,23 |
| 120 | 2,644 |
| 150 | 2,817 |
| 180 | 2,465 |
| 210 | 2,455 |
| 240 | 1,985 |

E30

| 22/11 E30 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,76 | 0,13 | 33,1 |
| 5 | 6,85 | 1,87 | 31 |
| 30 | 6,83 | 2,16 | 31 |
| 60 | 6,86 | 2,38 | 30,8 |
| 90 | 6,89 | 2,69 | 30,9 |
| 120 | 6,93 | 2,3 | 29,9 |
| 150 | 6,98 | 3,09 | 29,9 |
| 180 | 7,03 | 3,08 | 30 |
| 210 | 7,03 | 3,3 | 30 |
| 240 | 7,03 | 3,3 | 30 |

| 22/nov E30 | |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 158,315 |
| 5 | 61,53 |
| 30 | 93,285 |
| 60 | 163,09 |
| 90 | 34,575 |
| 120 | 33,32 |
| 150 | 133,615 |
| 180 | 52,86 |
| 240 | 47,03 |

| 22/nov | E30 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 72 |
| 5 | 24 |
| 30 | 26 |
| 60 | 72 |
| 90 | 0 |
| 120 | 86 |
| 150 | 110 |
| 180 | 24 |
| 240 | 60 |

| 22/nov | | E30 | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,13 | 0,089596933 | 4,02299835 | 7,84 |
| 5 | 0,48 | 0,5754 | 7,1339374 | 6,272 |
| 30 | 0,105 | 0,5204 | 7,28196046 | |
| 60 | 0,18 | 0,527 | 7,42693575 | 6,608 |
| 90 | 0,325 | 0,550290736 | 8,83937397 | |
| 120 | 0,118 | 0,558 | 8,57092257 | 6,496 |
| 150 | 0,102 | 0,7034 | 8,80098847 | 8,344 |
| 180 | 0,096 | 0,816 | 8,60691928 | 7,112 |
| 240 | 0,1539955 | 0,9039 | 9,46299835 | |

| 22/nov | E30 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 3,166 |
| 5 | 2,231 |
| 30 | 2,408 |
| 60 | 2,166 |
| 90 | 2,264 |
| 120 | 1,92 |
| 150 | 1,784 |
| 180 | 1,92 |
| 210 | 1,909 |
| 240 | 1,231 |

Estratégia 1,5:4,5 E31

| 26/11 E31 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,04 | 0,26 | 30,5 |
| 5 | 6,14 | 3,15 | 31,1 |
| 30 | 6,89 | 3,29 | 32,9 |
| 60 | 7 | 3,51 | 32,9 |
| 90 | 7,01 | 3,2 | 32,9 |
| 120 | 7,06 | 3,16 | 32,8 |
| 150 | 7,05 | 1,89 | 32,1 |
| 180 | 6,98 | 1,71 | 32,4 |
| 210 | 6,95 | 1,89 | 32,7 |
| 240 | 6,99 | 2,24 | 33 |
| 270 | 6,98 | 2,23 | 33,4 |
| 300 | 6,99 | 2,24 | 33,9 |
| 330 | 6,89 | 2,05 | 34 |
| 360 | 6,98 | 2,57 | 34,3 |

| 26/nov | E31 |
|-------------|--------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 376,65 |
| 5 | 115,63 |
| 30 | 74,42 |
| 60 | 86,55 |
| 90 | 122,01 |
| 120 | 68,19 |
| 150 | 60,16 |
| 180 | 115,63 |
| 210 | 61,91 |
| 240 | 47,055 |
| 270 | 56,045 |
| 300 | 61,505 |
| 330 | 69,39 |
| 360 | 24,67 |

| 26/nov | E31 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 270 |
| 5 | 168 |
| 30 | 156 |
| 60 | 46 |
| 90 | 338 |
| 120 | 140 |
| 150 | 136 |
| 180 | 96 |
| 210 | 84 |
| 240 | 58 |
| 270 | 78 |
| 300 | 86 |
| 330 | 108 |
| 360 | 142 |

| 26/nov | E31 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|-------|
| T (min) | NO3-N | NO2-N | NH4-N | NTK |
| 0 | 0,1659819 | 0,039699387 | 6,93995058 | 7,728 |
| 5 | 3,73386 | 1 | 2,71894563 | 7,616 |
| 30 | 5,1988713 | 0,8134 | 2,15691928 | |
| 60 | 6,8148984 | 0,933374233 | 3,11095552 | 8,12 |
| 90 | 6,2909707 | 1 | 3,47899506 | 8,288 |
| 120 | 8,499 | 0,927392638 | 1,78896211 | |
| 150 | 5,1808126 | 0,760092025 | 3,54093904 | |
| 180 | 4,0679458 | 1 | 2,525 | |
| 210 | 6,178781 | 0,82607362 | 2,31095552 | 5,264 |
| 240 | 1,4459819 | 1 | 1,84093904 | |
| 270 | 2,6939052 | 1 | 1,84678748 | |
| 300 | 1,461 | 1 | 2,40856672 | |
| 330 | 0,714 | 1 | 1,98097199 | |
| 360 | 1,125 | 1 | 3,50197694 | 5,712 |

| 26/nov | E31 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 5,675 |
| 5 | 4,057 |
| 30 | 4,656 |
| 60 | 4,343 |
| 90 | 3,908 |
| 120 | 3,975 |
| 150 | 3,817 |
| 180 | 3,603 |
| 210 | 3,616 |
| 240 | 3,693 |
| 270 | 3,223 |
| 300 | 2,922 |
| 330 | 2,9 |
| 360 | 2,899 |

E32

| 27/11 E32 | | | | 27/nov E32 | | 27/nov E32 | |
|-----------|------|------|------|-------------|---------|------------|--------|
| T(min) | pH | OD | t | Tempo (min) | DQO | T(min) | SS |
| 0 | 5,76 | 0,19 | 32,9 | 0 | 843,635 | 0 | 166 |
| 5 | 6,12 | 1,72 | 32,9 | 5 | 381,17 | 5 | 142 |
| 30 | 6,72 | 2 | 33,2 | 30 | 148,99 | 30 | 176 |
| 60 | 6,8 | 0,52 | 35,3 | 60 | 36,495 | 60 | 205,71 |
| 90 | 6,92 | 0,91 | 35,6 | 90 | 95,615 | 90 | 223,33 |
| 120 | 6,94 | 0,97 | 35,6 | 120 | 87,215 | 120 | 150 |
| 150 | 6,95 | 1,07 | 35,7 | 150 | 59,935 | 150 | 120 |
| 180 | 6,98 | 0,31 | 35,7 | 180 | 113,72 | 180 | 26 |
| 210 | 6,97 | 0,9 | 35,7 | 210 | 45,17 | 210 | 56 |
| 240 | 6,97 | 0,79 | 35,4 | 240 | 61,02 | 240 | 114 |
| 270 | 6,95 | 0,9 | 35,4 | 270 | 62,115 | 270 | 2 |
| 300 | 6,97 | 0,91 | 35,4 | 300 | 57,71 | 300 | 4 |
| 330 | 7,09 | 1,09 | 35,6 | 330 | 48,325 | 330 | 4 |
| 360 | 7,1 | 1,88 | 35,7 | 360 | 55,515 | 360 | 4 |

| 27/nov | E32 | | | 27/nov | E32 |
|---------|---------|-------------|------------|--------|-------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Tempo | P |
| 0 | | 0,257 | 5,02289127 | 0 | 5,951 |
| 5 | | 0,193865031 | 2,85897858 | 5 | 4,101 |
| 30 | | 0,075398773 | 3,6 | 30 | 3,987 |
| 60 | | 0,086656442 | 2,64398682 | 60 | 3,609 |
| 90 | | 0,0388 | 1,53097199 | 90 | 3,751 |
| 120 | | 0,082269939 | 1,89406919 | 120 | 2,904 |
| 150 | | 0,130398773 | 3,0669687 | 150 | 3,289 |
| 180 | | 0,083 | 1,53492586 | 180 | 3,408 |
| 210 | | 0,1031 | 1,45691928 | 210 | 2,943 |
| 240 | | 0,102791411 | 1,37899506 | 240 | 2,835 |
| 270 | | 0,105276074 | 2,24398682 | 270 | 2,654 |
| 300 | | 0,105981595 | 2,79085667 | 300 | 2,586 |
| 330 | | 0,269478528 | 2,86499176 | 330 | 0,847 |
| 360 | | 0,262392638 | 0,75074135 | 360 | 0,53 |

E33

| 28/nov | E33 | | |
|--------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 4,96 | 2,5 | 31 |
| 5 | 5,75 | 3,2 | 31,8 |
| 30 | 6,46 | 0,07 | 32,4 |
| 60 | 6,56 | 0,07 | 32,5 |
| 90 | 6,68 | 0,05 | 32,4 |
| 120 | 6,98 | 0,04 | 33,1 |
| 150 | 7,03 | 0,04 | 33,3 |
| 180 | 7,04 | 0,04 | 33,6 |
| 210 | 6,91 | 0,05 | 33,8 |
| 240 | 6,91 | 0,19 | 34,9 |
| 270 | 6,98 | 2,89 | 34,9 |
| 300 | 6,99 | 3,03 | 34,5 |
| 330 | 7 | 3,05 | 35 |
| 360 | 7,04 | 3,29 | 34,8 |

| 27/nov | E33 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 755,525 |
| 5 | 259,63 |
| 30 | 176,045 |
| 60 | 61 |
| 90 | 92,605 |
| 120 | 80,805 |
| 150 | 17,285 |
| 180 | 63,87 |
| 210 | 53,01 |
| 240 | 67,915 |
| 270 | 73,65 |
| 300 | 67,435 |
| 330 | 152,04 |
| 360 | 91,845 |

| 28/nov | E33 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 40 |
| 5 | 28 |
| 30 | 42 |
| 60 | 36 |
| 90 | 24 |
| 120 | |
| 150 | 2 |
| 180 | |
| 210 | |
| 240 | 4 |
| 270 | 8 |
| 300 | 4 |
| 330 | 8 |
| 360 | 8 |

| 28/nov | E33 | | | |
|--------|---------|-------------|------------|--------------|
| T(min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | | 0,3229 | 6,515 | 33,88 |
| 5 | | 0,1463 | 2,97397035 | 7,84 |
| 30 | | 0,127300552 | 3,5529654 | |
| 60 | | 0,1131 | 2,7092257 | 5,656 |
| 90 | | 0,085552147 | 1,65 | 5,04 |
| 120 | | 0,0766 | 2,20197694 | 5,04 |
| 150 | | 0,096082393 | 2,179 | |
| 180 | | 0,08208589 | 1,333 | |
| 210 | | 0,08202454 | 1,833 | |
| 240 | | 0,078895706 | 0,9184514 | |
| 270 | | 0,104171779 | 1,40271829 | |
| 300 | | 0,096196319 | 1,27347611 | |
| 330 | | 0,078466258 | 0,78813839 | |
| 360 | | 0,069202454 | 0,73723229 | 4,592 |

| 28/nov | E33 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 7,084 |
| 5 | 4,023 |
| 30 | 4,084 |
| 60 | 5,606 |
| 90 | 6,15 |
| 120 | 3,939 |
| 150 | 3,193 |
| 180 | 3,528 |
| 210 | 2,549 |
| 240 | 3,602 |
| 270 | 2,853 |
| 300 | 3,645 |
| 330 | 3,35 |
| 360 | 2,806 |

E34

| 29/11 E34 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,46 | 1,05 | 31,6 |
| 5 | 6,4 | 1,35 | 31,6 |
| 30 | 6,7 | 1,21 | 31,7 |
| 60 | 6,72 | 1,41 | 31,6 |
| 90 | 6,73 | 1,4 | 31,7 |
| 120 | 7,12 | 1,6 | 32 |
| 150 | 7,05 | 0,32 | 32,6 |
| 180 | 7,05 | 0,05 | 32 |
| 210 | 6,95 | 0,04 | 34 |
| 240 | 6,7 | 0,04 | 34 |
| 270 | 7 | 0,03 | 34,6 |
| 300 | 6,78 | 0,03 | 35 |
| 330 | 6,89 | 0,03 | 35,4 |

| 29/nov E34 | |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 786,46 |
| 5 | 420,27 |
| 30 | 231,705 |
| 60 | 166,91 |
| 90 | 256,945 |
| 120 | 141,975 |
| 150 | 104,45 |
| 180 | 96,97 |
| 210 | 170,67 |
| 240 | 117,575 |
| 270 | 68,28 |
| 300 | 97,01 |
| 330 | 61,445 |
| 360 | 83,755 |

| 29/nov E34 | |
|------------|--------|
| T(min) | SS |
| 0 | 148 |
| 5 | 144 |
| 30 | 188,57 |
| 60 | 132 |
| 90 | 100 |
| 120 | 104 |
| 150 | 36 |
| 180 | 74 |
| 210 | 60 |
| 240 | 54 |
| 270 | 80 |
| 300 | 60 |
| 330 | 62 |
| 360 | 74 |

| 29/nov | E34 | | | Nitrog Total |
|--------|---------|-------------|------------|--------------|
| T(min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | |
| 0 | 0,126 | 0,327398773 | 5,591 | 7,728 |
| 5 | | 0,3277 | 1,78698517 | 7,616 |
| 30 | 0,091 | 10,39 | 1,26795717 | |
| 60 | 0,173 | 0,0607 | 3,2529654 | 8,12 |
| 90 | 0,177 | 0,068369693 | 1,945 | |
| 120 | 0,068 | 0,0221 | 1,184 | 8,288 |
| 150 | 1,664 | | 2,83294893 | |
| 180 | 0,072 | 0,0198 | 0,4199341 | |
| 210 | 0,088 | 0,0327 | 3,29892916 | |
| 240 | 0,063 | 0,0509 | 1,61392092 | 5,264 |
| 270 | 0,109 | 0,0616 | 1,28698517 | 5,712 |
| 300 | 0,077 | 0,4548 | 1,17899506 | |
| 330 | | 0,3539 | 1,84497529 | |
| 360 | | 0,0287 | 4,31894563 | |

| 29/nov | E34 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 7,996 |
| 5 | 4,564 |
| 30 | 4,235 |
| 60 | 3,444 |
| 90 | 3,346 |
| 120 | 2,955 |
| 150 | 3,586 |
| 180 | 3,586 |
| 210 | 2,421 |
| 240 | 3,308 |
| 270 | 3,307 |
| 300 | 3,35 |
| 330 | 3,92 |
| 360 | 3,565 |

E35

| 02/12 E35 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 5,33 | 2,39 | 31,3 |
| 5 | 4,83 | 2,84 | 31,2 |
| 30 | 5,39 | 0,59 | 31,3 |
| 60 | 6,1 | 0,29 | 31 |
| 90 | 6,39 | 0,07 | 32,1 |
| 120 | 6,55 | 0,04 | 30,9 |
| 150 | 6,63 | 0,04 | 30,9 |
| 180 | 6,76 | 0,03 | 30,1 |
| 210 | 6,8 | 0,03 | 30,1 |
| 240 | 6,85 | 0,03 | 30,1 |
| 270 | 6,88 | 0,03 | 31,3 |
| 300 | 6,97 | 0,02 | 31,4 |
| 330 | 7,01 | 0,03 | 32,1 |
| 360 | 7,02 | 0,03 | 32,9 |

| 02/dez | E35 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 491,755 |
| 5 | 535,845 |
| 30 | 425,995 |
| 60 | 588,45 |
| 90 | 456,02 |
| 120 | 385,54 |
| 150 | 464,025 |
| 180 | 473,845 |
| 210 | 439,465 |
| 240 | 419,235 |
| 270 | 429,225 |
| 300 | 444,575 |
| 330 | 361,63 |
| 360 | 455,015 |

| 02/dez | E35 |
|--------|---------|
| T(min) | SS |
| 0 | 160 |
| 5 | 388,23 |
| 30 | 190,32 |
| 60 | 228,57 |
| 90 | 200 |
| 120 | 175 |
| 150 | 157,5 |
| 180 | 153,57 |
| 210 | 82 |
| 240 | 257,14 |
| 270 | 153,33 |
| 300 | 128,125 |
| 330 | 148,275 |
| 360 | 125,32 |

| 02/dez | E35 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,126 | 0,327398773 | 5,591 | 7,728 |
| 5 | 17,211 | 0,243398773 | 5,21299835 | 9,744 |
| 30 | 11,615801 | 0,2986 | 4,11762768 | |
| 60 | 4,5146727 | 0,3083 | 6,192 | |
| 90 | 4,5146727 | 0,3335 | 6,274 | 12,6 |
| 120 | 14,178984 | 0,3126 | 4,48494234 | 4,76 |
| 150 | 11,925 | 0,387177914 | 3,91899506 | |
| 180 | 14,873815 | 0,41809816 | 5,00691928 | 3,248 |
| 210 | 14,873815 | 0,433496933 | 4,5029654 | |
| 240 | 12,549887 | 0,391380368 | 3,26799835 | 12,096 |
| 270 | 9,83386 | 0,062576687 | 2,46399506 | 10,472 |
| 300 | 9,83386 | 0,451398773 | 3,43797364 | |
| 330 | 0,0869977 | 0,046551534 | 4,41350906 | |
| 360 | 0,171 | 0,0269 | 2,15815486 | |

| 02/dez | E35 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 7,414 |
| 5 | 5,009 |
| 30 | 6,847 |
| 60 | 6,602 |
| 90 | 3,775 |
| 120 | 4,846 |
| 150 | 5,034 |
| 180 | 5,963 |
| 210 | 6,056 |
| 240 | 6,407 |
| 270 | 3,47 |
| 300 | 5,744 |
| 330 | 3,968 |
| 360 | 3,207 |

E36

| 03/12 E36 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,07 | 0,07 | 31 |
| 5 | 7,47 | 1,87 | 31,3 |
| 30 | 7,56 | 0,04 | 30,5 |
| 60 | 7,62 | 0,03 | 30,5 |
| 90 | 7,65 | 0,03 | 30,6 |
| 120 | 7,62 | 0,02 | 30,7 |
| 150 | 7,55 | 0,02 | 30,9 |
| 180 | 7,43 | 0,03 | 31 |
| 210 | 7,45 | 0,18 | 31,2 |
| 240 | 7,46 | 0,17 | 31,6 |
| 270 | 7,45 | 0,25 | 32 |
| 300 | 7,44 | 0,41 | 32,3 |
| 330 | 7,45 | 0,34 | 32,4 |
| 360 | 7,44 | 0,42 | 33,6 |

| 03/dez | E36 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 493,04 |
| 5 | 330,975 |
| 30 | 369,365 |
| 60 | 387,515 |
| 90 | 238,555 |
| 120 | 579,74 |
| 150 | 881,64 |
| 180 | 222,825 |
| 210 | 202,595 |
| 240 | 203,285 |
| 270 | 187,495 |
| 300 | 161,165 |
| 330 | 193,91 |
| 360 | 233,85 |

| 03/dez | E36 |
|--------|--------|
| T(min) | SS |
| 0 | 272,22 |
| 5 | 138 |
| 30 | 475 |
| 60 | 600 |
| 90 | 333,33 |
| 120 | 400 |
| 150 | 720 |
| 180 | 150 |
| 210 | 185 |
| 240 | 385 |
| 270 | 75 |
| 300 | 132 |
| 330 | 36 |
| 360 | 155 |

| 03/dez | E36 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 1,2268623 | 0,238588957 | 10,3819605 | 30,464 |
| 5 | 1,0988713 | 0,318711656 | 10,1334432 | 34,944 |
| 30 | 0,4629797 | 0,061705521 | 10,2998353 | |
| 60 | 0,4769752 | 0,170490798 | 10,1729819 | 33,936 |
| 90 | 2,9799097 | 0,13859816 | 10,1449753 | 22,512 |
| 120 | | 0,1062 | 9,90996705 | |
| 150 | 0,3408578 | 0,3105 | 9,63344316 | |
| 180 | 0,1548533 | 0,2145 | 9,26441516 | 24,416 |
| 210 | 0,2029345 | 0,309294479 | | |
| 240 | 0,4349887 | 0,350582822 | | 23,296 |
| 270 | 0,7367946 | 0,287699387 | | 22,512 |
| 300 | 0,7918736 | 0,3285 | | |
| 330 | 1,3927765 | 0,272883436 | | |
| 360 | 0,7909707 | 0,280276074 | | 12,2 |

| 03/dez | E36 |
|--------|--------|
| Tempo | P |
| 0 | 16 |
| 5 | 16 |
| 30 | 16 |
| 60 | 15,732 |
| 90 | 15,9 |
| 120 | 16 |
| 150 | 13,971 |
| 180 | 16 |
| 210 | 15,072 |
| 240 | 13,859 |
| 270 | 13,227 |
| 300 | 13,282 |
| 330 | 12,805 |
| 360 | 15,307 |

E37

| 04/12 E37 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,37 | 0,05 | 29,8 |
| 5 | 6,77 | 0,05 | 29,8 |
| 30 | 6,95 | 0,04 | 29,4 |
| 60 | 7,04 | 0,03 | 29,4 |
| 90 | 7,14 | 0,03 | 29,4 |
| 120 | 7,13 | 0,03 | 29,4 |
| 150 | 7,04 | 0,03 | 30,9 |
| 180 | 7,09 | 0,03 | 32,3 |
| 210 | 7,09 | 0,02 | 32,3 |
| 240 | 7 | 0,02 | 32,3 |
| 270 | 7,08 | 0,02 | 31 |
| 300 | 7,09 | 0,02 | 31 |
| 330 | 7,1 | 0,02 | 31,3 |
| 360 | 7,08 | 0,02 | 31,3 |

| 04/dez E38 | |
|------------|----------|
| Temp (min) | DQO |
| 0 | 1,48846 |
| 5 | 8,612938 |
| 30 | 15,71771 |
| 60 | 35,92555 |
| 90 | 55,6066 |
| 120 | 60,12374 |
| 150 | 76,83494 |
| 180 | 101,2607 |
| 210 | 129,8583 |
| 240 | 123,2987 |
| 270 | 139,6245 |
| 300 | 168,2787 |
| 330 | 330 |
| 360 | 360 |

| 04/dez E37 | |
|------------|--------|
| T(min) | SS |
| 0 | 296,66 |
| 5 | 664,7 |
| 30 | 633,33 |
| 60 | 552 |
| 90 | 456 |
| 120 | 416 |
| 150 | 590 |
| 180 | 363,33 |
| 210 | 288 |
| 240 | 345 |
| 270 | 372 |
| 300 | 102 |
| 330 | 206 |
| 360 | |

| 04/dez | E37 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 1,245 | 0,3455 | 10,0089786 | 25,704 |
| 5 | 0,186 | 0,1125 | 10,0766063 | 43,4 |
| 30 | 0,417 | 0,115599693 | 10,2874794 | |
| 60 | 0,4859819 | 0,173920245 | 9,58484349 | |
| 90 | 0,288 | 0,242392638 | 9,4785832 | 35,336 |
| 120 | 0,9329797 | 0,7671 | 9,18863262 | 34,16 |
| 150 | 0,4259594 | 0,6777 | 9,68863262 | |
| 180 | 0,156 | 0,4404 | 9,58599671 | 30,912 |
| 210 | 0,0988713 | 0,1368 | 0,1383855 | |
| 240 | 0,0669977 | 0,2449 | 17,8978583 | |
| 270 | 0,048 | 0,1681 | 9,50247117 | |
| 300 | 0,047 | 0,1583 | 48,0658979 | 32,48 |
| 330 | 0,053772 | 0,1489 | 0,41515651 | |
| 360 | 0,052 | 0,3687 | 0,1383855 | 24,024 |

| 04/dez | E37 | |
|--------|-------|--|
| Tempo | P | |
| 0 | 3,206 | |
| 5 | 5,137 | |
| 30 | 4,299 | |
| 60 | 4,23 | |
| 90 | 4,405 | |
| 120 | 4,302 | |
| 150 | 4,402 | |
| 180 | 5,402 | |
| 210 | 4,756 | |
| 240 | 4,718 | |
| 270 | 4,001 | |
| 300 | 3,861 | |
| 330 | 2,689 | |
| 360 | 2,506 | |

E38

| 05/12 E38 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,05 | 0,42 | 31,6 |
| 5 | 7,15 | 0,06 | 31,5 |
| 30 | 7,15 | 0,53 | 31,5 |
| 60 | 7,15 | 0,45 | 31,9 |
| 90 | 7,23 | 0,06 | 32,8 |
| 120 | 7,23 | 0,05 | 33 |
| 150 | 7,11 | 0,03 | 31,5 |
| 180 | 7,1 | 0,02 | 31,5 |
| 210 | 7,11 | 0,03 | 32 |
| 240 | 7,1 | 0,02 | 35 |
| 270 | 7,1 | 0,02 | 35,1 |
| 300 | 7,15 | 0,02 | 35,5 |
| 330 | 7,2 | 0,02 | 36 |
| 360 | 7,21 | 0,02 | 36,2 |

| 05/dez E38 | |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 826,36 |
| 5 | 535,115 |
| 30 | 395,905 |
| 60 | 479,56 |
| 90 | 417,305 |
| 120 | 337,61 |
| 150 | 608,185 |
| 180 | 465,73 |
| 210 | 384,825 |
| 240 | 588,52 |
| 270 | 450,675 |
| 300 | 232,23 |
| 330 | 436,91 |
| 360 | 0 |

| 05/dez E38 | |
|------------|--------|
| T(min) | SS |
| 0 | 454,54 |
| 5 | 286,66 |
| 30 | 335,29 |
| 60 | 380 |
| 90 | 284,21 |
| 120 | 210 |
| 150 | 246,66 |
| 180 | 296,66 |
| 210 | 230 |
| 240 | 144 |
| 270 | 84 |
| 300 | 114 |
| 330 | 92 |
| 360 | 440 |

| 05/dez | E38 | | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,256 | 0,936 | 2,72158155 | 85,4 |
| 5 | 0,312 | 0,029877301 | 38,8401977 | |
| 30 | 0,275 | 0,166779141 | 0,87644152 | |
| 60 | 0,1369977 | 0,0045 | 1,66062603 | |
| 90 | 0,365 | 0,12259816 | 0,41515651 | 39,648 |
| 120 | 0,12 | 0,275889571 | 0,41515651 | 48,944 |
| 150 | 0,293 | 0,0165 | 0,32289951 | |
| 180 | 0,255 | 0,108 | 0,41515651 | 41,328 |
| 210 | 0,227 | 0,0634 | 0,59967051 | 37,464 |
| 240 | 0,2249887 | 0,038773006 | 0,36902801 | |
| 270 | 0,2519865 | 0,072392638 | 4,284 | 44,352 |
| 300 | | | | |
| 330 | 1,1828 | 0,3217 | 50,792 | |
| 360 | 1,0233 | 0,28688 | | 34,2 |

| 05/dez E38 | |
|------------|--------|
| T(min) | SS |
| 0 | 454,54 |
| 5 | 286,66 |
| 30 | 335,29 |
| 60 | 380 |
| 90 | 284,21 |
| 120 | 210 |
| 150 | 246,66 |
| 180 | 296,66 |
| 210 | 230 |
| 240 | 144 |
| 270 | 84 |
| 300 | 114 |
| 330 | 92 |
| 360 | 440 |

E39

| 09/12 E 39 | | | |
|------------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,04 | 3,04 | 28,9 |
| 5 | 7,14 | 1,21 | 27,4 |
| 30 | 7,15 | 0,42 | 27,2 |
| 60 | 7,19 | 0,03 | 27,2 |
| 90 | 7,23 | 0,02 | 28,1 |
| 120 | 7,23 | 0,02 | 28,8 |
| 150 | 7,28 | 0,02 | 28,9 |
| 180 | 7,29 | 0,02 | 29,2 |
| 240 | 7,29 | 0,02 | 29,4 |

| 09/dez | E39 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 423,09 |
| 5 | 233,02 |
| 30 | 250,955 |
| 60 | 269,655 |
| 90 | 262,845 |
| 120 | 128,285 |
| 150 | 115,385 |
| 180 | 108,415 |
| 240 | 162,975 |

| 09/dez | E39 |
|--------|--------|
| T(min) | SS |
| 0 | 608,33 |
| 5 | 590,33 |
| 30 | 345,45 |
| 60 | 373,91 |
| 90 | 395 |
| 120 | 427,27 |
| 150 | 404,34 |
| 180 | 381,81 |
| 240 | 692,85 |

| 09/dez | E39 | 01:03 | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,5622799 | 0,020699387 | 7,42668863 | 40,992 |
| 5 | 0,149 | 0,0117 | 1,47611203 | 28,784 |
| 30 | 0,187 | 0,0661 | 0,2306425 | |
| 60 | 0,731 | 0,057 | 4,84349259 | 25,536 |
| 90 | 0,754 | 0,0331 | 8,34925865 | |
| 120 | 0,313 | 0,0624 | 4,42833608 | 21,168 |
| 150 | 0,147 | 0,0382 | 0,276771 | |
| 180 | 0,405 | 0,06 | 0,50741351 | |
| 210 | 1,16065 | 0,056100798 | 10,4250412 | |
| 240 | 0,429 | 0,0758 | 8,53377265 | 12,656 |

| 09/dez | E39 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 6,345 |
| 5 | 5,749 |
| 30 | 1,492 |
| 60 | 2,59 |
| 90 | 3,101 |
| 120 | 1,634 |
| 150 | 3,134 |
| 180 | 3,244 |
| 210 | 2,395 |
| 240 | 0,969 |

E40

| 10/12 E40 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 6,7 | 0,3 | 27,3 |
| 5 | 6,72 | 0,05 | 29 |
| 30 | 7,05 | 0,8 | 29,3 |
| 60 | 7,2 | 0,83 | 29,3 |
| 90 | 7,2 | 0,05 | 29,3 |
| 120 | 7,2 | 0,08 | 29,5 |
| 150 | 7,27 | 0,18 | 29,5 |
| 180 | 7,4 | 0,1 | 30,3 |
| 240 | 7,4 | 0,4 | 30,3 |

| 10/dez | E40 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 333,525 |
| 5 | 125,855 |
| 30 | 113,67 |
| 60 | 165,57 |
| 90 | 142,1 |
| 120 | 86,34 |
| 150 | 145,775 |
| 180 | 129,165 |
| 240 | 178,385 |

| 10/dez | E40 |
|--------|------|
| T(min) | SS |
| 0 | 15 |
| 5 | 215 |
| 30 | 80 |
| 60 | 880 |
| 90 | 50 |
| 120 | 14 |
| 150 | 3,33 |
| 180 | 4 |
| 240 | 10 |

| 10/dez | 01:03 | E40 | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,383 | 0,0524 | 0,1383855 | 18,088 |
| 5 | 0,327 | 0,0788 | 0,32289951 | |
| 30 | 0,184 | 0,0748 | 0,55354201 | 17,472 |
| 60 | 0,252 | 0,1269 | 0,50741351 | |
| 90 | 0,1280451 | 0,0542 | 0,276771 | 23,352 |
| 120 | 0,164 | 0,099134969 | 0,69192751 | |
| 150 | 0,201 | 0,1346 | 0,55354201 | 20,44 |
| 180 | 0,19 | 0,1103 | 0,59967051 | |
| 210 | 0,17 | 0,1036 | 0,50741351 | |
| 240 | 0,13 | 0,17 | 0,25 | 21,2 |

| 10/dez | E40 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 16 |
| 5 | 8,958 |
| 30 | 6,946 |
| 60 | 3,411 |
| 90 | 2,821 |
| 120 | 2,834 |
| 150 | 1,033 |
| 180 | 1,192 |
| 210 | 1,224 |
| 240 | 0,864 |

E41

| 11/12 E41 | | | |
|-----------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,05 | 0,06 | 30 |
| 5 | 7,57 | 0,03 | 29,3 |
| 30 | 7,5 | 2,61 | 29,4 |
| 60 | 7,45 | 3,43 | 29,5 |
| 90 | 7,49 | 3,33 | 29,6 |
| 120 | 7,45 | 1,89 | 29,6 |
| 150 | 7,4 | 1,9 | 29,3 |
| 180 | 7,22 | 1,7 | 31 |
| 210 | 7,81 | 2,41 | 29,7 |
| 240 | 7,73 | 2,29 | 31,2 |
| 270 | 7,51 | 2,3 | 29,9 |
| 300 | 7,52 | 2,48 | 30 |
| 330 | 7,63 | 2,47 | 31 |
| 360 | 7,64 | 2,46 | 31 |

| 11/dez | E41 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 343,845 |
| 5 | 117,145 |
| 30 | 78,935 |
| 60 | 36,64 |
| 90 | 90,355 |
| 120 | 47,865 |
| 150 | 42,56 |
| 180 | 33,8 |
| 210 | 29,155 |
| 240 | 68,17 |
| 270 | 34,91 |
| 300 | 25,31 |
| 330 | 48,47 |
| 360 | 17,9 |

| 11/dez | E41 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 80 |
| 5 | 58 |
| 30 | 82 |
| 60 | 60 |
| 90 | 122 |
| 120 | 98 |
| 150 | 194 |
| 180 | 256 |
| 210 | 130 |
| 240 | 170 |
| 270 | 164 |
| 300 | 162 |
| 330 | 130 |
| 360 | 112 |

| 11/dez | 1,5:4,5 | E41 | | |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | Amonia | Nitrog Total |
| 0 | 0,56 | 0,002619632 | 0,83031301 | 26,992 |
| 5 | 0,144 | 0,404171779 | 0,69192751 | 20,272 |
| 30 | 0,366 | 0,609171779 | 0,41515651 | |
| 60 | 0,881 | 0,48208589 | 0,50741351 | 11,536 |
| 90 | 0,444 | 0,632699387 | 0,46128501 | 16,072 |
| 120 | 0,4688488 | 0,736527607 | 0,46128501 | |
| 150 | 0,227 | 0,628797546 | 0,32289951 | |
| 180 | 0,347 | 0,589386503 | 0,276771 | 12,32 |
| 210 | 0,496 | 0,642638037 | 0,78418451 | |
| 240 | 0,529 | 0,439898773 | 1,72145096 | 13,2 |
| 270 | 0,494 | 0,53759816 | 1,90700996 | |
| 300 | 1,033 | 0,604398773 | 1,52224053 | |
| 330 | 0,795 | 0,600184049 | 1,4861527 | |
| 360 | 1,142 | 0,697699387 | 0,64579901 | 8,5 |

| 11/dez | E41 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 8,777 |
| 5 | 7,24 |
| 30 | 6,674 |
| 60 | 5,601 |
| 90 | 6,28 |
| 120 | 6,391 |
| 150 | 5,489 |
| 180 | 5,138 |
| 210 | 5,125 |
| 240 | 5,353 |
| 270 | 5,156 |
| 300 | 4,784 |
| 330 | 4,336 |
| 360 | 4,258 |

E42

| 12/12 E42 | | | |
|-----------|-------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,18 | 1,08 | 30,6 |
| 5 | 7,29 | 3,15 | 29 |
| 30 | 7,465 | 2,1 | 31 |
| 60 | 7,14 | 3,14 | 31,1 |
| 90 | 7,2 | 3,26 | 31,2 |
| 120 | 7,3 | 3,04 | 31,3 |
| 150 | 7,4 | 2,98 | 30,9 |
| 180 | 7,42 | 2,84 | 32,3 |
| 210 | 7,35 | 2,94 | 32,1 |
| 240 | 7,33 | 3,01 | 32,2 |
| 270 | 7,34 | 3,02 | 32,3 |
| 300 | 7,33 | 3,03 | 33 |
| 330 | 7,31 | 2,99 | 34 |
| 360 | 7,31 | 2,99 | 34 |

| 12/dez | E42 |
|-------------|---------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 384,69 |
| 5 | 84,105 |
| 30 | 36,705 |
| 60 | 35,325 |
| 90 | 84,83 |
| 120 | 31,36 |
| 150 | 29,37 |
| 180 | 35,425 |
| 210 | 53,345 |
| 240 | 54,545 |
| 270 | 62,235 |
| 300 | 145,815 |
| 330 | 87,37 |
| 360 | 154,05 |

| 12/dez | E42 |
|--------|-------|
| T(min) | SS |
| 0 | 110 |
| 5 | 130,4 |
| 30 | 164 |
| 60 | 62 |
| 90 | 128 |
| 120 | 76 |
| 150 | 70 |
| 180 | 70 |
| 210 | 60 |
| 240 | 46 |
| 270 | 16 |
| 300 | 28 |
| 330 | 36 |
| 360 | 30 |

| 12/dez | E42 | 1,5:4,5 | Amonia | Nitrog Total |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | | |
| 0 | 2,964754 | 0,892199387 | 2,72158155 | 10,472 |
| 5 | 4,4968382 | 0,981779141 | 1,56836903 | 7,896 |
| 30 | 3,4347589 | 1 | 1,98352554 | |
| 60 | 3,1738149 | 0,5829 | 2,02965404 | 7,5 |
| 90 | 4,5146727 | 1 | 5,25864909 | 8,176 |
| 120 | 3,6207675 | 1 | 1,66062603 | |
| 150 | 4,5146727 | 1 | 2,02965404 | |
| 180 | 4,5146727 | 1 | 2,27018122 | 5,488 |
| 210 | 4,5146727 | 1 | 4,38385502 | |
| 240 | 4,5146727 | 1 | 3,32125206 | 6,496 |
| 270 | 4,5146727 | 0,817484663 | 0,92257002 | 6,832 |
| 300 | 4,5146727 | 1 | 1,01482702 | |
| 330 | 4,5146727 | 1 | 0,92257002 | |
| 360 | 4,5146727 | 1 | 2,21416804 | |

| 12/dez | E42 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 6,971 |
| 5 | 5,15 |
| 30 | 4,703 |
| 60 | 4,449 |
| 90 | 4,22 |
| 120 | 4,665 |
| 150 | 3,234 |
| 180 | 4,537 |
| 210 | 4,554 |
| 240 | 4,885 |
| 270 | 4,495 |
| 300 | 4,47 |
| 330 | 4,512 |
| 360 | 3,848 |

E43

| 13/12 | E43 | | |
|--------|------|------|------|
| T(min) | pH | OD | t |
| 0 | 7,49 | 0,15 | 31,5 |
| 5 | 7,48 | 1,62 | 31,6 |
| 30 | 7,41 | 1,22 | 32,3 |
| 60 | 7,32 | 2,51 | 32,5 |
| 90 | 7,21 | 2,44 | 32,7 |
| 120 | 7,28 | 2,6 | 32,9 |
| 150 | 7,28 | 2,62 | 32,7 |
| 180 | 7,28 | 0,77 | 33,1 |
| 210 | 7,25 | 0,8 | 33,3 |
| 240 | 7,3 | 1,49 | 34 |

| 13/dez | E43 |
|-------------|--------|
| Tempo (min) | DQO |
| 0 | 384,69 |
| 5 | 84,105 |
| 30 | 36,705 |
| 60 | 35,325 |
| 90 | 84,83 |
| 120 | 31,36 |
| 150 | 29,37 |
| 180 | 35,425 |
| 210 | 53,345 |
| 240 | 54,545 |

| 13/dez | E43 |
|--------|-----|
| T(min) | SS |
| 0 | 64 |
| 5 | 112 |
| 30 | 48 |
| 60 | 172 |
| 90 | 112 |
| 120 | 18 |
| 150 | 13 |
| 180 | 104 |
| 210 | 188 |
| 240 | 152 |

| 13/dez | E43 | 02:02 | Amonia | Nitrog Total |
|---------|-----------|-------------|------------|--------------|
| T (min) | Nitrato | Nitrico | | |
| 0 | 2,282 | 0,8168 | 5,16639209 | 15,93 |
| 5 | 4,5146727 | 0,9497 | 3,89785832 | 11,312 |
| 30 | 2,6246045 | 1 | 2,85996705 | |
| 60 | 3,3724605 | 0,8672 | 3,04448105 | 14,336 |
| 90 | 4,5146727 | 0,765276074 | 2,72158155 | |
| 120 | 4,5146727 | 1 | 2,26029654 | 13,328 |
| 150 | 4,1523677 | 1 | 1,98352554 | |
| 180 | 3,1103802 | 1 | 1,19934102 | 12,152 |
| 210 | 4,5146727 | 1 | 1,01482702 | |
| 240 | 4,5146727 | 1 | 0,0461285 | 11,56 |

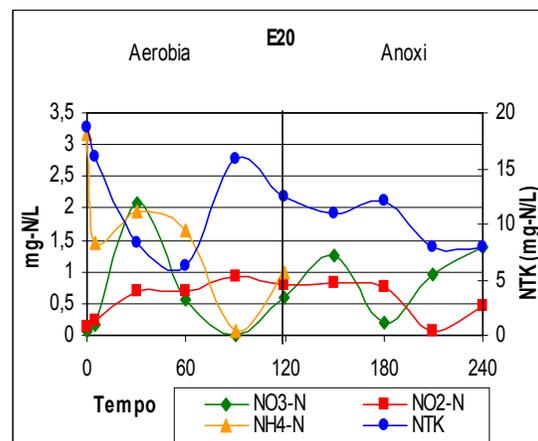
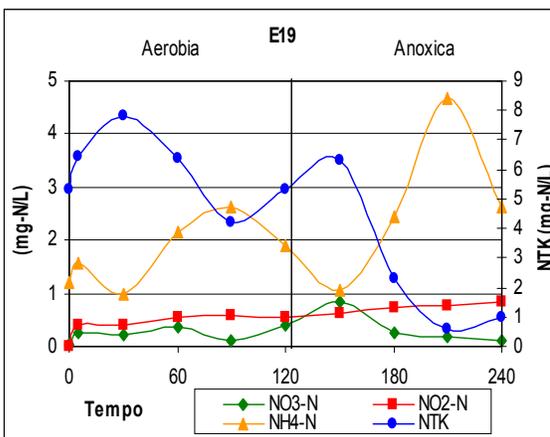
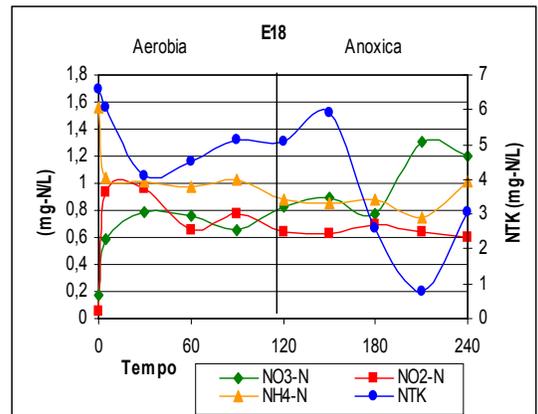
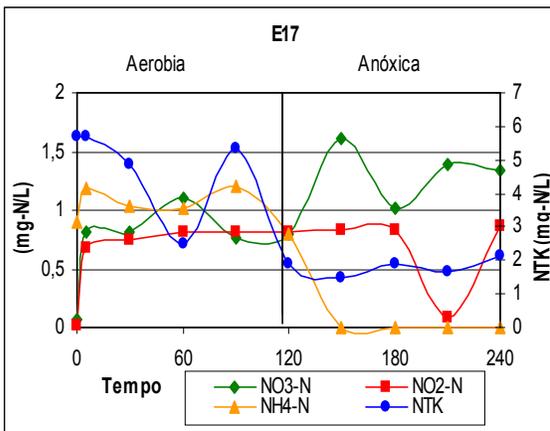
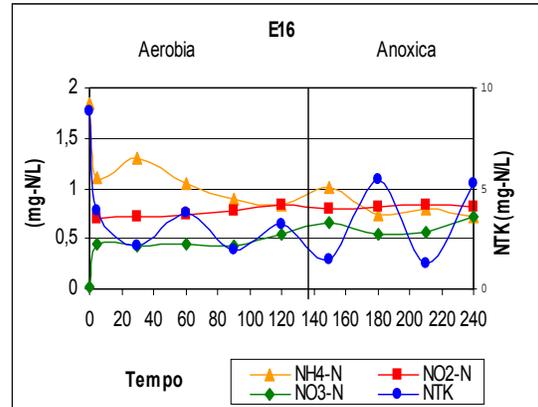
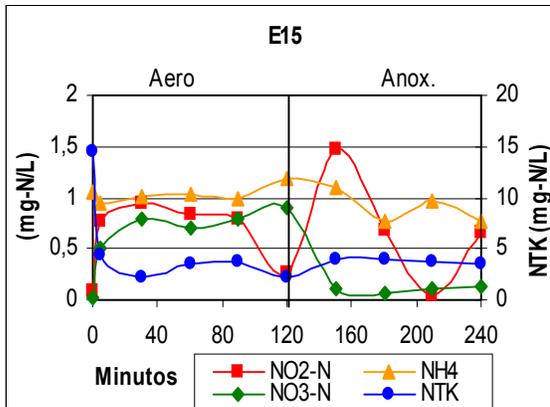
| 13/dez | E43 |
|--------|-------|
| Tempo | P |
| 0 | 9,347 |
| 5 | 7,638 |
| 30 | 6,574 |
| 60 | 4,033 |
| 90 | 4,891 |
| 120 | 8,073 |
| 150 | 5,822 |
| 180 | 5,489 |
| 210 | 2,132 |
| 240 | 2,585 |

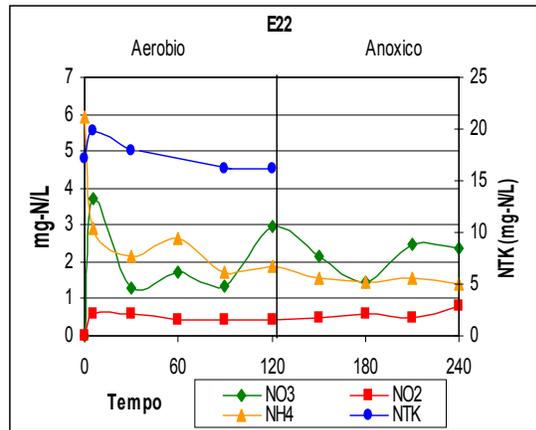
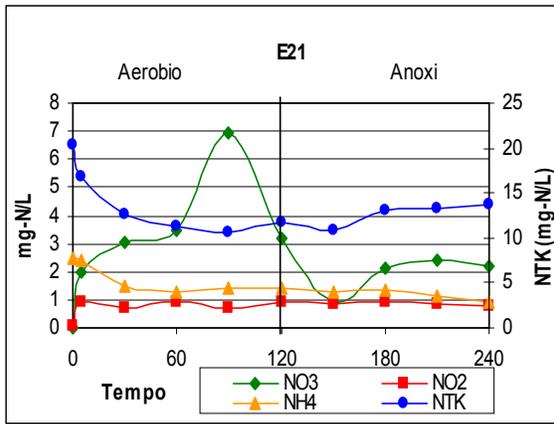
APÊNDICE F –Produção de lodo - Y

| DQO ent | DQO sai | DQOc mg/l | PNs/DQOmg/g | PN s mg/g |
|---------|---------|-----------|-------------|-------------|
| 357,5 | 266,75 | 90,75 | 0,75 | 0,152888889 |
| 398,67 | 233,28 | 165,39 | 0,38 | 0,186166667 |
| 304,76 | 194 | 111 | 0,67 | 0,158777778 |
| 298 | 131,15 | 167 | 0,44 | 0,138611111 |
| 171,61 | 101,57 | 74 | 1,98 | 0,164666667 |
| 211,3 | 151,4 | 59,9 | 0,94 | 0,169055556 |
| 105 | 69,14 | 35,8 | 2,06 | 0,171888889 |
| 148,82 | 66,68 | 82,14 | 0,91 | 0,107 |
| 111,95 | 135,95 | 0 | 0 | 0,14 |
| 199,42 | 51,46 | 147,96 | 0,77 | 0,079055556 |
| 97,97 | 74,37 | 23,6 | 4,2 | 0,084888889 |
| 110,57 | 38,52 | 72,05 | 0,88 | 0,246111111 |
| 194,52 | 116,88 | 77,64 | 0,68 | 0,247611111 |
| 437,3 | 147,87 | 289,43 | 0,16 | 0,154 |
| 167,39 | 111,97 | 155,42 | 14,3 | 0,172777778 |
| 85,33 | 73,65 | 11,68 | 14,07 | 0,282222222 |
| 231,95 | 228,16 | 3,79 | 0,24 | 0,918055556 |
| 203,45 | 147,66 | 55,79 | 1,31 | 0,829111111 |
| 659,25 | 286,69 | 372,56 | 0,22 | 0,411388889 |
| 363,44 | 132,67 | 230,77 | 1,33 | 0,431611111 |
| 489,98 | 141,94 | 348,04 | 0,74 | 0,673833333 |
| 248,14 | 103,59 | 144,55 | 0,92 | 0,291055556 |
| 490,07 | 65 | 425,07 | 0,425 | 0,351333333 |
| 310,7 | 97,82 | 212,88 | 0,702 | 0,511888889 |
| 158,31 | 29,04 | 129,27 | 0,514 | 0,296555556 |
| 376,65 | 24,67 | 351,98 | 0,226 | 0,228277778 |
| 755,52 | 91,84 | 663,68 | 0,152 | 0,347944444 |
| 635,89 | 12,15 | 623,74 | 0,189 | 1,0425 |
| 491,75 | 455,01 | 36,74 | 1,48 | 0,918333333 |
| 493,04 | 233,85 | 259,19 | 0,329 | 0,473944444 |
| 826,36 | 436,91 | 389,45 | 0,444 | 0,496333333 |
| 423,09 | 164,19 | 258,9 | 0,69 | 0,446 |
| 333,52 | 141,98 | 191,54 | 0,5 | 0,204277778 |
| 343,84 | 17,9 | 325,94 | 0,27 | 0,229111111 |
| 384,69 | 154,05 | 230,64 | 0,8 | 0,378666667 |
| 384,69 | 54,54 | 330,15 | 0,27 | 0,358944444 |

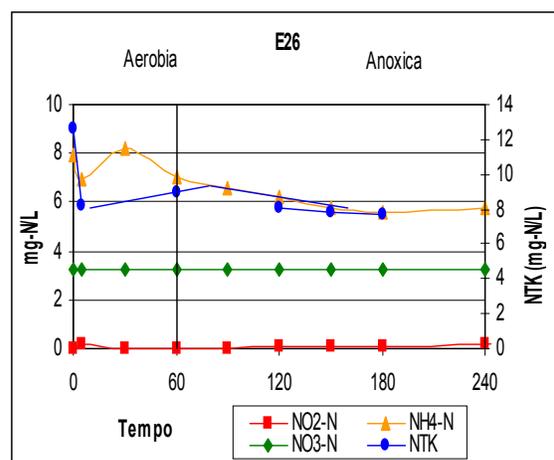
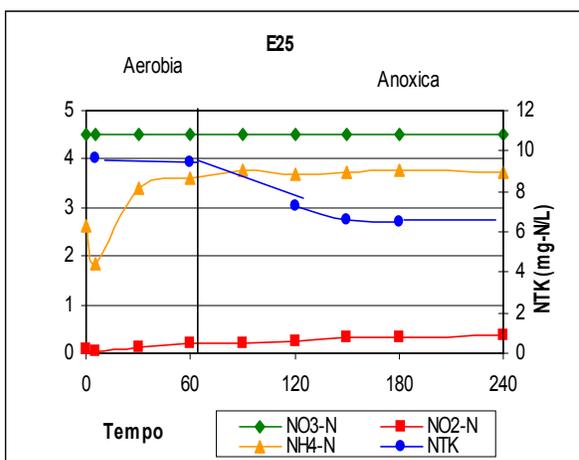
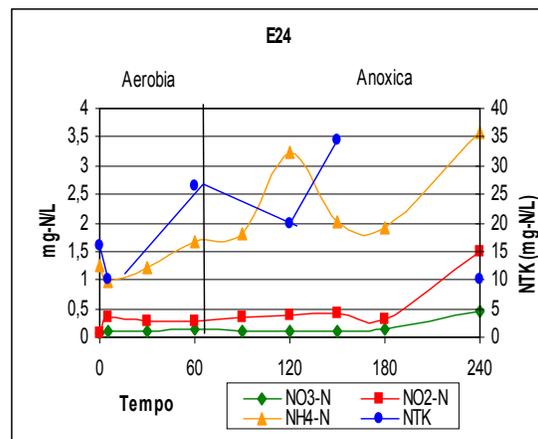
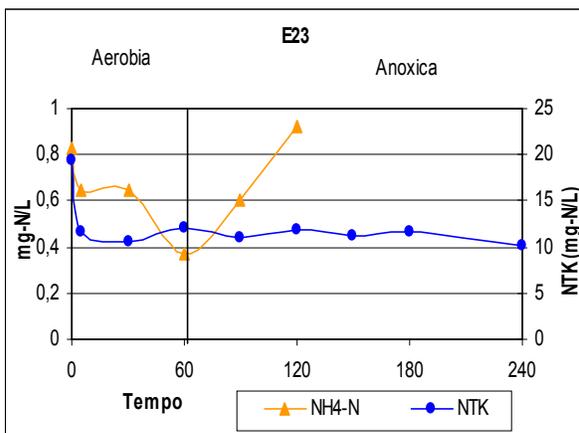
APÊNDICE G – NITROGÊNIO

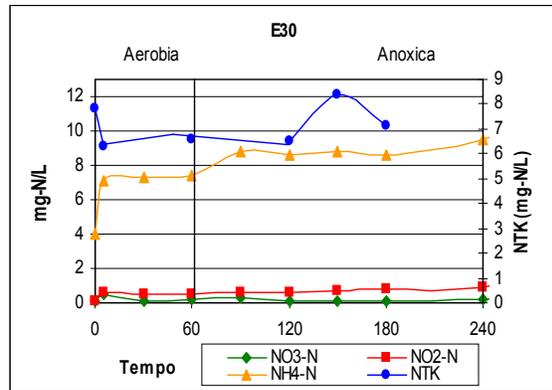
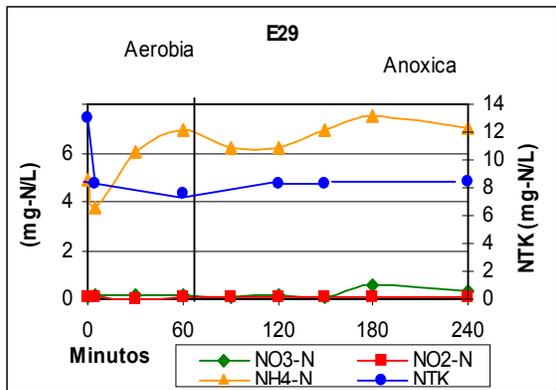
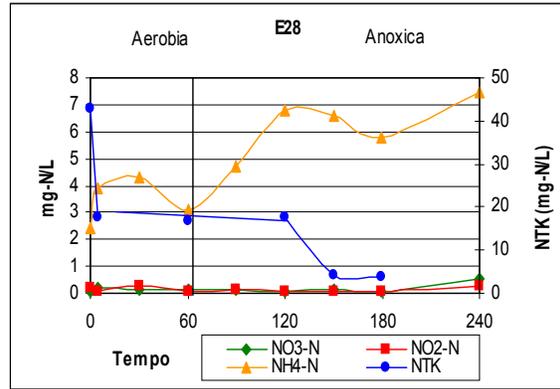
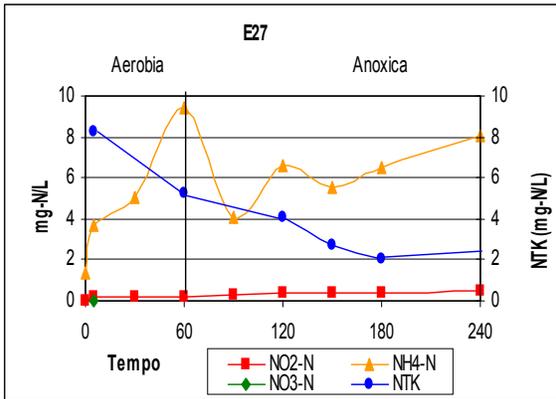
Estratégia 2:2 serie de nitrogênio



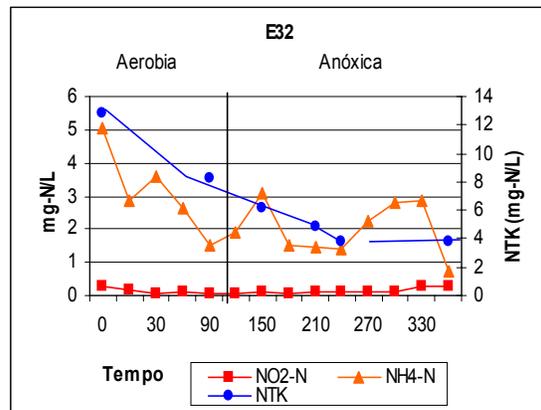
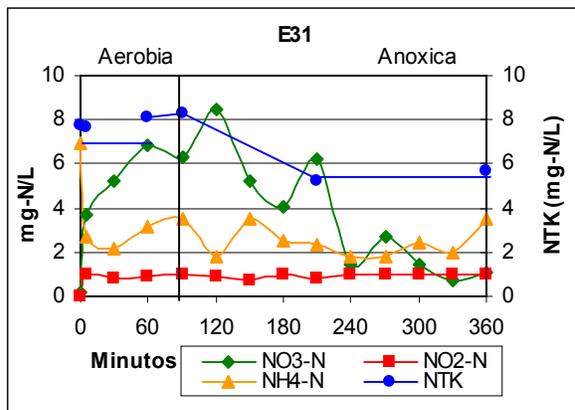


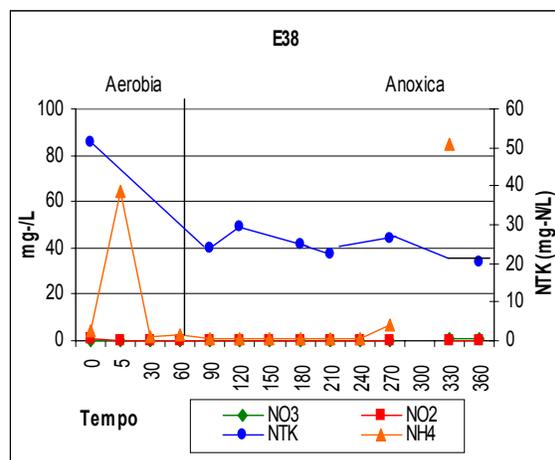
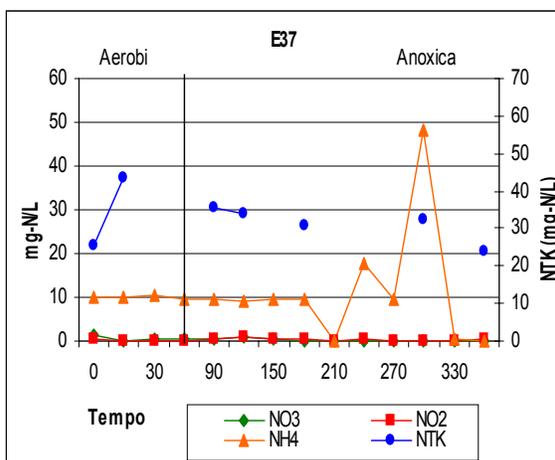
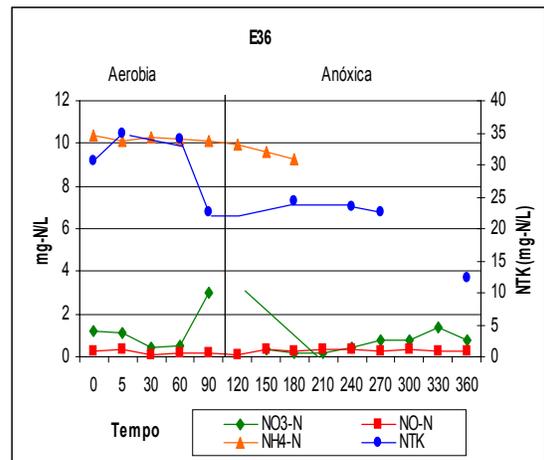
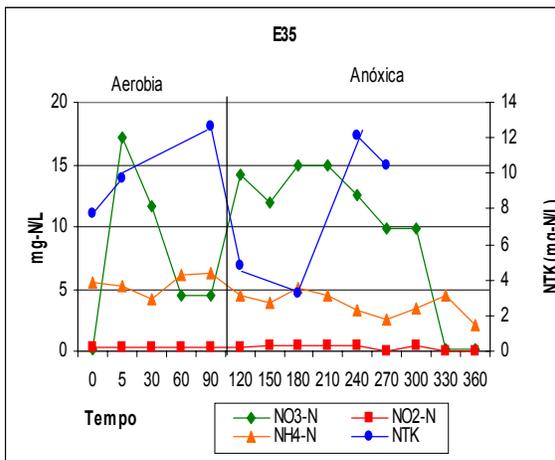
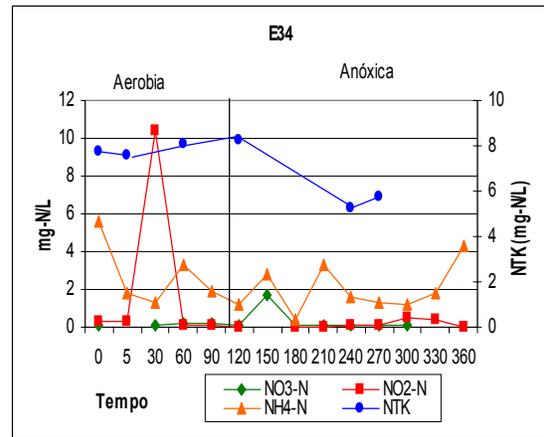
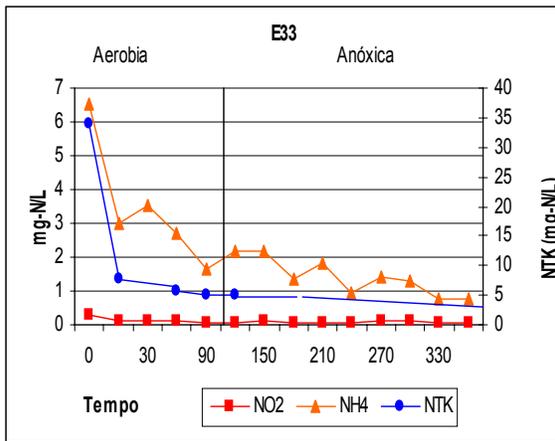
Estratégia 1:3



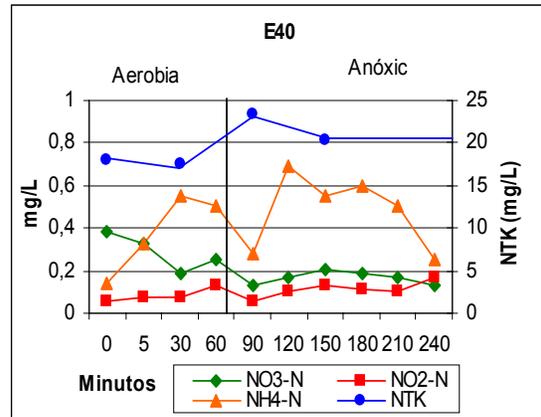
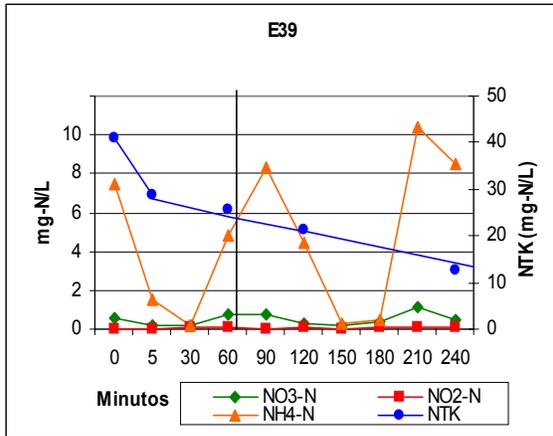


Estratégia 1,5:4,5

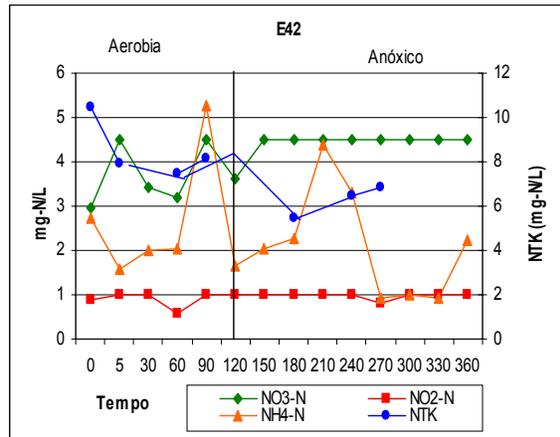
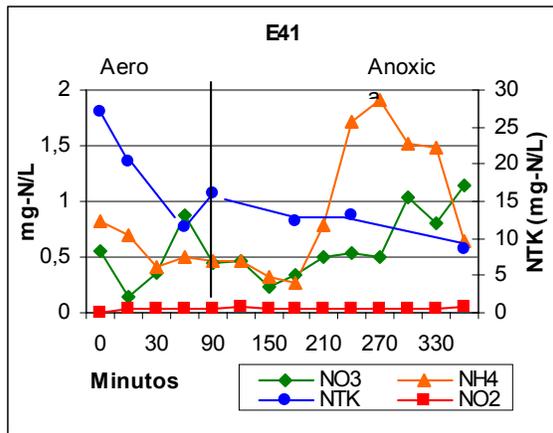




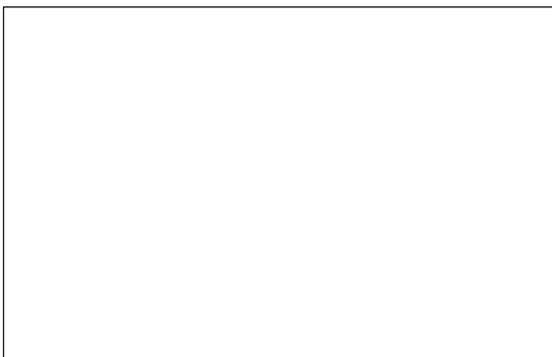
Esgoto Domestico estratégia 1:3



Estratégia 1,5:4,5



Estratégia 2:2



Apêndice H - Material Suporte -PET

ANEXOS

ANEXO I – Procedimento para o tratamento superficial dos materiais suporte.

Para o tratamento superficial das partículas de PET, foi utilizado uma solução sulfocrômica 7,5% sob agitação magnética durante 50 minutos, à temperatura ambiente. Em seguida as partículas eram lavadas com água destilada.

Para o tratamento superficial do material suporte PVC foi utilizado ácido nítrico 95% e para o material suporte OSBG®, uma solução sulfocrômica 7,5%, ambos seguindo o mesmo procedimento acima.

ANEXO II – Metodologia para determinação de PROTEÍNAS – Método de Lowry et al., 1951.

1. Princípio

O método baseia-se na formação de um complexo azul entre as ligações peptídicas e as curvas de sais sobre a redução do Folin aos agrupamentos fenóis dos constituintes das proteínas (tirosina).

2. Reagentes

- Reagente A

2 g Na_2CO_3

+ 0,02 g de tartarato duplo de sódio e potássio em 100 de NaOH 0,1N.

- Reagente B

0,5 g de CuSO_4

+ 2 gotas de H_2SO_4 concentrado em 100 ml de água destilada.

- Solução AB

50 ml do reagente A + 1 ml do reagente B (Preparar somente antes da dosagem)

- Reagente de Folin 1N, conservar ao abrigo da Luz

- Solução padrão de soro de albumina bovina (BSA): 100mg/l conservar à 4°C.

10mg BSA em 100 ml de água destilada, adicionar cuidadosamente água no balão volumétrico para evitar a formação de bolhas. Conservar sob refrigeração.

3. Curva Padrão

Preparar uma série de soluções de BSA de 10 a 100 mg/L, a partir de uma solução de BSA de 100 mg/L.

| BSA (mg/L) | Volume de BSA (ml) | Volume de NaOH 1N (ml) |
|------------|--------------------|------------------------|
| 0 | 0 | 1,0 |
| 10 | 0,1 | 0,9 |
| 30 | 0,3 | 0,7 |
| 50 | 0,5 | 0,5 |
| 80 | 0,8 | 0,2 |
| 100 | 1,0 | 0 |

4. Protocolo

Em um tubo de ensaio colocar:

- 1 ml da solução de proteínas a dosar ou da solução padrão (no caso de preparação da curva padrão);
- 3 ml da solução AB;
- agitar ao vortex e esperar 10 minutos ao abrigo da luz;
- adicionar 0,3 ml do reativo de Folin 1 N;
- agitar imediatamente ao vortex (a reação não dura mais que alguns segundos);
- deixar 30 minutos ao abrigo da luz;

- leia a densidade ótica de 760 nm e trace a curva padrão (a leitura deve ser feita em menos de 30 minutos).

5. Extração de proteínas do biofilme com NaOH 1 N a 80° C

- 5 ml de amostra solução padrão de BSA ou de amostra;
- 5 ml de NaOH 1 N;
- Agitar e cobrir com papel alumínio;
- Deixar em banho-maria a 80°C durante 30 minutos;
- Agitar com ultra-som por 10 minutos;
- Deixe esfriar e retire 1 ml de amostra a ser dosada.;
- Repita os passos do protocolo a partir do segundo item.

OBSERVAÇÃO:

- Foram utilizadas 30 partículas suporte para a obtenção da concentração de proteínas aderidas neste estudo.

ANEXO III – Metodologia para dosagem de POLISSACARÍDEOS - Método de Dubois et al., 1956 (Modificado para o material suporte PET)

1. Princípio

Este método baseia-se na formação de derivados furfurálicos pelo aquecimento de oses neutras em meio sulfúrico concentrado, os quais juntos com o fenol formam um composto de cor amarela, que pode ser medido por espectrofotometria a 490 nm.

2. Reagentes

- Ácido sulfúrico (95,5%) e densidade específica 1,84;
- Solução de fenol a 50 g/L;
- Solução de fosfato de potássio a 10 mM, pH=7,0

pesar 0,36 g de dihidrogênio fosfato (KH_2PO_4), diluir em 500 mL e ajustar o pH a 7.0 com NaOH 1 N. Completar o volume para 1000 mL com água deionizada.

3. Curva Padrão

Preparar uma série de amostras – padrão de glicose, variando de 10 a 100 mg/L, a partir de uma solução de glicose a 100mg/L. Essas amostras são preparadas usando a solução tampão de fosfato de potássio 10 mM, pH = 7.0, conforme a tabela:

| Glicose (mg/L) | Vol. Solução de glicose (ml) | Vol. Solução tampão (ml) |
|----------------|------------------------------|--------------------------|
| 0 | 0 | 1,0 |
| 10 | 0,1 | 0,9 |
| 30 | 0,3 | 0,7 |
| 50 | 0,5 | 0,5 |
| 80 | 0,8 | 0,2 |
| 100 | 1,0 | 0 |

4. Protocolo

Em um tubo de ensaio colocar:

- 1 ml de amostra e 1 ml da solução de fenol, agitar vigorosamente;
- 5 ml de ácido sulfúrico (H_2SO_4) concentrado (colocar com cuidado, inclinando o tubo), misturar bem;
- deixar em repouso e no escuro durante 10 minutos;
- agitar ao vortex e colocar os tubos em banho- maria a 25 -30°C durante 10 a 20 minutos;
- efetuar a leitura a 490 nm e traçar a curva padrão.

OBSERVAÇÃO:

- Para a obtenção dos polissacarídeos aderidos, a concentração do H_2SO_4 utilizada foi de 80%, devido ao material suporte (PET) sofrer alterações em sua estrutura.
- Foram utilizadas 10 partículas suporte para a obtenção da concentração de polissacarídeos aderidos neste estudo.