

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**DESEMPENHO DE REATORES HIDRÁULICOS DE FLOCULAÇÃO
EM REGIME DE ESCOAMENTO LAMINAR
NO TRECHO DE TRANSIÇÃO**

RENATA OTTINA RAMOS

Campinas, 2000
SP - Brasil



UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

**DESEMPENHO DE REATORES HIDRÁULICOS DE FLOCULAÇÃO
EM REGIME DE ESCOAMENTO LAMINAR
NO TRECHO DE TRANSIÇÃO**

B C

Autora: RENATA OTTINA RAMOS

Orientador: PROF. DR. CARLOS GOMES DA NAVE MENDES

Dissertação apresentada à
Faculdade de Engenharia Civil
da UNICAMP, como parte dos
requisitos para obtenção do
título de Mestre, área de
concentração: Saneamento.

Campinas, 2000
SP – Brasil

Atesto que esta é a versão definitiva da dissertação.	
	07/03/04
Prof. Dr.	CARLOS GOMES DA NAVE MENDES
Matrícula:	34808-8

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA
BIBLIOTECA DA ÁREA DE ENGENHARIA - BAE - UNICAMP

R147d Ramos, Renata Ottina
Desempenho de reatores hidráulicos de floculação em regime de escoamento laminar no trecho de transição / Renata Ottina Ramos.--Campinas, SP: [s.n.], 2000.

Orientador: Carlos Gomes da Nave Mendes
Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil.

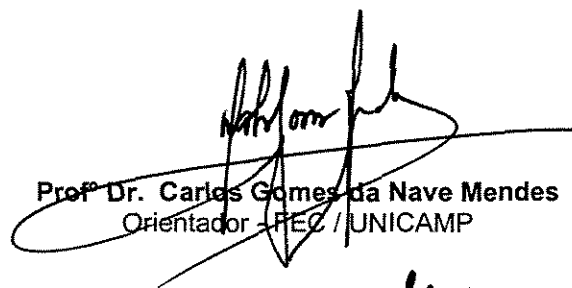
1. Água - Purificação. 2. Floculação. 3. Fluxo Laminar. 4. Abastecimento de água. I. Mendes, Carlos Gomes da Nave. II. Universidade Estadual de Campinas. Faculdade de Engenharia Civil. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL

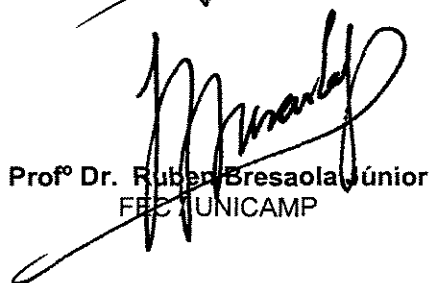
**DESEMPENHO DE REATORES HIDRÁULICOS DE FLOCULAÇÃO
EM REGIME DE ESCOAMENTO LAMINAR
NO TRECHO DE TRANSIÇÃO**

Eng^a Renata Ottina Ramos

Dissertação de Mestrado apresentada à banca examinadora constituída por:



Prof^o Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes
Orientador - FEC / UNICAMP



Prof^o Dr. Ruben Bresaola Júnior
FEC / UNICAMP



Prof^o Dr. Luiz Di Bernardo
EESC / USP

Campinas, 15 Setembro de 2000

Nem tão longe que eu não possa ver,
nem tão perto que eu possa tocar...

(*A montanha* – HUBERTO GESSINGER)

Dedicatória

Dedico este trabalho à minha família, grande responsável pela minha formação moral e à minha mãe, incentivadora do meu aprimoramento técnico.

Agradecimentos

Meus sinceros agradecimentos a todos aqueles que, direta ou indiretamente, contribuíram para a realização deste trabalho, em especial:

Ao prof. Dr. Carlos Gomes da Nave Mendes, pela brilhante e valiosa orientação, confiança depositada e colaboração na concretização deste trabalho.

Ao eng. José Jorge Guimarães pelo incentivo e aos amigos Alexandre Araújo, Fernando Lourencetti e Márcio Gaban, pela colaboração prestada.

Aos professores da Faculdade de Engenharia Civil/UNICAMP, em especial prof. Dr. Ruben Bresaola Júnior., prof. Dr. Bruno Coraucci Filho, prof. Dr. José Roberto Guimarães e também ao prof. Dr. José Euclides Stipp Paterniani da Faculdade de Engenharia Agrícola/UNICAMP.

Ao prof. Dr. Edson Abdul Nour, responsável pelo laboratório de saneamento da FEC/UNICAMP por seu apoio e sugestões e também aos técnicos e estagiários do laboratório de hidrologia (Acácio, Fábio, Marcelo e Roney) pela valiosa ajuda.

Aos colegas: Alberto Francato, Alexandre Pansani, Fernando Coelho, Júlio Soriano, Naylson Maciel, Marcelo Polli e Pedro Fantinatti, pelo companheirismo.

Ao eng. Aldo B. Pierre, diretor geral do DAAE de Araraquara, por ter tornado viável a realização desta pesquisa; aos funcionários da divisão de produção (Enéias, Sérgio, Sônia, Vagner), em especial aos operadores do tratamento (Jairo, Jeriel, Luciana, Luís Carlos, Luís Zampieri e Márcia) e a todos que de alguma forma também contribuíram.

Aos órgãos CNPq e CAPES, pelos recursos financeiros.

À Denise Sakuma, Fabiana Guarigliá, Rosângela J. Silva e Paulo Silva, pela inesquecível presença nos bons e maus momentos.

À uma pessoa ímpar: Elias Nicolas.

LISTA DE FIGURAS

	Página
FIGURA 1.1 Relação entre grau de tratamento e uso-benefício da água.....	3
FIGURA 3.1 Distribuição de tamanhos das partículas na água.....	9
FIGURA 3.2 Duas partículas de argila (a. caolinita ; b. ilita).....	12
FIGURA 3.3 Representação esquemática de uma partícula de argila.....	12
FIGURA 3.4 Representação esquemática da água adsorvida ao redor de uma partícula de argila.....	13
FIGURA 3.5 Configuração esquemática da Dupla Camada Elétrica.....	14
FIGURA 3.6 Interação entre duas partículas coloidais semelhantes.....	18
FIGURA 3.7 Modelos estruturais básicos: representação esquemática da orientação de partículas.....	19
FIGURA 3.8 Reações esquemáticas de coagulação para remoção de turbidez.....	21
FIGURA 3.9 Curvas de variação de turbidez residual em função da concentração de vários tipos de coagulantes	23
FIGURA 3.10 Representação esquemática do mecanismo de adsorção e formação de pontes na desestabilização de colóides por polímeros.....	26
FIGURA 3.11 Floculador hidráulico de fluxo ascendente em leito de pedregulho.....	32
FIGURA 3.12 Floculador de fluxo ascendente com leito de pedregulhos e sedimentador de alta taxa em ETA pré-fabricada (Brasil).....	33

FIGURA 3.13	Floculador com leito flutuante estratificado em cunha.....	35
FIGURA 3.14	Resultados do teste de variação de concentração do traçador em função do tempo para floculador com leito flutuante estratificado em cunha.....	36
FIGURA 3.15	Turbidez da água bruta, floculada e decantada na instalação piloto provida de floculador com leito estratificado.....	37
FIGURA 3.16	Floculador com leito de seixos.....	39
FIGURA 3.17	Resultados comparativos da floculação com seixos na estação de Iguaçu, Curitiba.....	39
FIGURA 3.18	Esquema de um sistema de floculação-filtração por contato.....	40
FIGURA 3.19	Esquematização das linhas de fluxo em função do regime de escoamento.....	46
FIGURA 3.20	Esquematização da camada limite.....	47
FIGURA 3.21	Formação do perfil parabólico de velocidades.....	48
FIGURA 3.22	Representação esquemática do trecho de transição em duto circular.....	49
FIGURA 3.23	a) Distribuição parabólica de velocidades; b) parabolóide de revolução, mostrando a distribuição de velocidades através da seção transversal.....	50
FIGURA 4.1	Planta esquemática da Estação de Tratamento de Água – Sistema Fonte e localização da instalação piloto (sem escala).....	52
FIGURA 4.2	Esquema das linhas de fluxo de um perfil parabólico estabelecido pelo escoamento laminar nas tubulações circulares do feixe.....	53
FIGURA 4.3	Representação esquemática dos quatro reatores piloto de floculação hidráulica utilizados na investigação experimental.....	56
FIGURA 4.4	Representação esquemática da seção transversal dos feixes de tubulações de diâmetro igual a 20 mm utilizadas para preenchimento do reator R ₁ (a), e fotografias de um deles (b).....	59
FIGURA 4.5	Representação esquemática da seção transversal dos feixes de tubulações de diâmetro igual a 32 mm utilizadas para preenchimento do reator R ₂ (b) e fotografias de um deles (a).....	59

FIGURA 4.6	Fotografias do corpo e detalhes externos dos reatores de floculação.....	62
FIGURA 4.7	Fotografia da tubulação de tomada de amostras, destacando o vertedor (sifão) de saída de água floculada e no detalhe a caixa sifonada instalada no topo dos reatores mostrando a tomada para o piezômetro superior.....	63
FIGURA 4.8	Esquema da montagem dos principais componentes dos reatores..	64
FIGURA 4.9	Fotografias do sistema de controle de vazões e alimentação de água coagulada aos reatores de floculação.....	66
FIGURA 4.10	Fluxograma da etapa de coleta e análise das amostras / parte experimental.....	73
FIGURA 5.1	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 24,9 (uT) após 20,5 horas de operação na Carreira1.....	80
FIGURA 5.2	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 48,9 (uT) após 33 horas de operação na Carreira2.....	81
FIGURA 5.3	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 27,0 (uT) após 100 horas de operação na Carreira3.....	81
FIGURA 5.4a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 19,6 (uT) após 32 horas de operação na Carreira4.....	83
FIGURA 5.4b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 19,6 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira4.....	84
FIGURA 5.5a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 19,6 (uT) após 32 horas de operação na Carreira5.....	85
FIGURA 5.5b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 19,6 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira5.....	85

FIGURA 5.6a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 120 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 155 (uT) após 32 horas de operação na Carreira6.....	86
FIGURA 5.6b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 120 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 155 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira6.....	87
FIGURA 5.7a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 120 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 25,1 (uT) após 32 horas de operação na Carreira7.....	89
FIGURA 5.7b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 120 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 25,1 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira7.....	90
FIGURA 5.8a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 120 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 31,7 (uT) após 32 horas de operação na Carreira8.....	91
FIGURA 5.8b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 120 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 31,7 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira8.....	91
FIGURA 5.9a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 150 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 23,4 (uT) após 32 horas de operação na Carreira9.....	92
FIGURA 5.9b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 150 m³/m².d ; turbidez da água bruta= 23,4 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira9.....	93
FIGURA 5.10a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 150 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 44 (uT) após 32 horas de operação na Carreira10.....	95
FIGURA 5.10b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 150 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 44 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira10.....	96

FIGURA 5.11a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 150 m³/m².d ; turbidez da água bruta = 17,7 (uT) após 32 horas de operação na Carreira11.....	97
FIGURA 5.11 b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 150 m³/m².d ; turbidez da água bruta= 17 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira1 para a Carreira11.....	97
FIGURA 5.12a	Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa= 90 m³/m².d ; turbidez da água bruta= 17,7 (uT) após 32 horas de operação na Carreira1 na Carreira12.....	98
FIGURA 5.12 b	Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação para taxa= 90 m³/m².d ; turbidez da água bruta= 17,7 (uT) após 32 horas de operação para a Carreira12.....	99

LISTA DE TABELAS

	Página
TABELA 3.1 Características principais de alguns tipos de argila.....	11
TABELA 3.2 Principais características necessárias para alguns processos de remoção dos flocos.....	28
TABELA 3.3 Comparação entre flocladores hidráulicos e mecanizados de eixos vertical e horizontal.....	31
TABELA 4.1 Características construtivas e operacionais dos reatores de floclação hidráulica preenchidos por feixes de tubulações: R ₁ e R ₂	57
TABELA 4.2 Características operacionais e das camadas dos reatores preenchidos por pedregulho: R ₃ e R ₄	58
TABELA 4.3 Características do meio granular de preenchimento dos reatores R ₃ e R ₄	60
TABELA 4.4 Carga hidráulica teórica “h” (cm) necessária para que um orifício de diâmetro “d” manifeste a vazão de descarga considerada.....	68
TABELA 5. 1 Amostras coletadas e parâmetros monitorados nos ensaios.....	77
TABELA 5. 2 Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 180m³/m².d ; turbidez da água bruta = 24,9 uT e 20,5 horas de operação.....	78
TABELA 5. 3 Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 120m³/m².d ; turbidez da água bruta = 48,9 uT e 32 horas de operação.....	78

TABELA 5.4	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 60m³/m².d ; turbidez da água bruta = 27,0 uT e 100 horas de operação.....	79
TABELA 5.5	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 180m³/m².d ; turbidez da água bruta = 19,6 uT e 32 horas de operação.....	82
TABELA 5.6	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 180m³/m².d ; turbidez da água bruta = 54,7 uT e 32 horas de operação.....	84
TABELA 5.7	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 180m³/m².d ; turbidez da água bruta = 155 uT e 32 horas de operação.....	86
TABELA 5.8	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 120m³/m².d ; turbidez da água bruta = 25,1 uT e 32 horas de operação.....	88
TABELA 5.9	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 120m³/m².d ; turbidez da água bruta = 31,7 uT e 32 horas de operação.....	90
TABELA 5.10	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 120m³/m².d ; turbidez da água bruta = 23,4 uT e 32 horas de operação.....	92
TABELA 5.11	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 150m³/m².d ; turbidez da água bruta = 44,0 uT e 32 horas de operação.....	95
TABELA 5.12	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 150m³/m².d ; turbidez da água bruta = 17,0 uT e 32 horas de operação.....	96
TABELA 5.13	Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = 90m³/m².d ; turbidez da água bruta = 17,7 uT e 32 horas de operação.....	98
TABELA 5.14	Resumo dos principais resultados obtidos nos ensaios de floculação.....	100

LISTA DE SÍMBOLOS e ABREVIATURAS

C

CETESB : Companhia de Tecnologia e Saneamento Ambiental

cm : centímetro

D

D : diâmetro da tubulação

DAAE : Departamento Autônomo de Água e Esgoto

D_{ex} : diâmetro externo

D_{in} : diâmetro interno

d : diâmetro da partícula

E

ETA : Estação de Tratamento de Água

F

FEC : Faculdade de Engenharia Civil

FTU : Unidade Formazina de Turbidez

G

G : gradiente de velocidade médio [T^{-1}]

g : aceleração da gravidade [MT^{-2}]

H

h : hora

J
J : perda de carga unitária

K
k : constante de equilíbrio

L
L : litro
Lt : comprimento relativo de transição

M
m : metro
min : minuto
mm : milímetro
m μ : milimicrômetro

P
PN : potencial de Nernst
PZ : potencial Zeta
pH : potencial hidrogeniônico, $\text{pH} = -\log [\text{H}^+]$

Q
Q : vazão [L^3T^{-1}]

R
Re : número de Reynolds
R₁ : reator preenchido por feixes compostos por segmentos de 20mm
R₂ : reator preenchido por feixes compostos por segmentos de 32mm
R₃ : reator preenchido por camadas de pedregulho ($6,4 < \varnothing < 38,1$)
R₄ : reator preenchido por camadas de pedregulho ($4,8 < \varnothing < 31,7$)

S
SP : São Paulo
s : segundo

T

- T : período de floculação [T]
T_s : tempo de sedimentação
T₀ : coleta do efluente feita com o fluxo afluente aos reatores
T₁ : coleta do efluente após 5 minutos de sedimentação
T₂ : coleta do efluente após 10 minutos de sedimentação
T₃ : coleta do efluente após 15 minutos de sedimentação
T₄ : coleta do efluente após 20 minutos de sedimentação
T₅ : coleta do efluente após 25 minutos de sedimentação

U

- un : unidade
uT : unidade de Turbidez

V

- V : velocidade média de aproximação
V_e : velocidade de média do escoamento
V_s : velocidade de sedimentação [MT⁻¹]

- δ : espessura da camada laminar
∅ : diâmetro médio dos grãos de pedregulho [M]
λ : dimensão característica do conduto
μ : viscosidade absoluta do fluido [MTL⁻²]
ρ_a : massa específica do fluido
ρ_s : massa específica da partícula
ν : viscosidade cinemática do fluido [L²T⁻¹]
" : polegada

Resumo

Ramos, Renata Ottina. *Desempenho de reatores hidráulicos de floculação em regime de escoamento laminar no trecho de transição*. Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Civil, Campinas, 2000, 181p. Dissertação.

O presente apresenta uma solução alternativa de tratamento de águas de abastecimento, a partir do emprego da floculação em meio poroso, também denominada por floculação estática ou laminar, em função da configuração dos reatores hidráulicos de floculação e do fluxo que os atravessa. Desta forma, objetiva-se reduzir o tempo de floculação com perspectiva de redução do custo de implantação e operação de ETAs convencionais.

Para tanto, propôs-se a investigação de reatores preenchidos com feixes de tubulações de PVC rígido soldável, alternativos aos convencionais, cujo desempenho, foi comparativamente analisado frente a reatores preenchidos com pedregulho. Foram realizados ensaios com taxa de aplicação superficial de 60, 90, 120, 150 e 180 $\text{m}^3/\text{m}^2\text{dia}$ a fim de determinar as condições operacionais, tendo em vista o período de floculação, a evolução da perda de carga e condições de acúmulo de lodo no seu interior, utilizando-se água natural, coagulada com cloreto férrico.

Palavras-chave: ÁGUA-PURIFICAÇÃO; FLOCULAÇÃO; FLUXO LAMINAR; ABASTECIMENTO DE ÁGUA.

Sumário

	Página
1 INTRODUÇÃO	1
2 OBJETIVOS	5
3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
3.1 DISPERSÕES AQUOSAS.....	8
3.2 PARTÍCULAS COLOIDAIS.....	10
3.2.1 Cargas superficiais das partículas / Dupla camada elétrica.....	12
3.2.2 Fatores de estabilidade e instabilidade.....	16
3.3 COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO.....	19
3.3.1 Coagulação.....	20
3.3.2 Floculação.....	27
3.3.3 Cinética da floculação.....	28
3.3.4 Floculação hidráulica.....	30
3.4 FLOCULAÇÃO EM MEIO GRANULAR.....	32
3.5 ESCOAMENTO D'ÁGUA ATRAVÉS DE MEIOS POROSOS.....	42
3.6 ESCOAMENTO EM TUBULAÇÕES CIRCULARES.....	44
3.6.1 Classificação dos regimes.....	44
3.6.2 escoamento em regime laminar.....	46
4.MATERIAIS E MÉTODOS	51

4.1	DESCRIÇÃO GERAL DA INSTALAÇÃO PILOTO.....	54
4.1.1	Composição Interna dos Reatores de Flocculação.....	55
4.1.2	Corpo e Conexões dos Reatores de Flocculação.....	60
4.2	METODOLOGIA.....	65
4.2.1	Controle das vazões e Taxas Aplicadas aos Reatores de Flocculação.....	65
4.2.2	Coletas de Amostras e Medição da Perda de Carga nos Reatores....	68
4.2.3	Duração das Carreiras de Flocculação.....	70
4.2.4	Descargas de Fundo e Limpeza dos Reatores.....	71
4.2.5	Parâmetros Monitorados, Freqüência e Instrumentação Utilizada....	71
5.	RESULTADOS E DISCUSSÕES.....	75
6.	CONCLUSÕES.....	101
7.	RECOMENDAÇÕES.....	103
8	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	105
ANEXO 1	Fórmulas e Constantes Utilizadas.....	111
ANEXO 2	Propriedades e Especificações do Cloreto Férrico.....	115
ANEXO 3	Planilhas de acompanhamento dos ensaios.....	117
ANEXO 4	Dados da planilha dos operadores da ETA-Fonte.....	143
	ABSTRACT.....	181

1 INTRODUÇÃO

Como todas as reações nos seres vivos necessitam de um veículo que as facilite e que sirva de elemento termo regulador capaz de controlar a variação da temperatura em virtude do grande desprendimento de calor resultante da oxidação da matéria orgânica, surge como elemento fundamental à vida, a água, que satisfaz completamente a estas exigências (LEME, 1982). O organismo humano pode privar-se de alimento por alguns dias; privando-o de água, porém, poderá sucumbir dentro de horas¹.

Só o oxigênio atmosférico pode ser tão essencial à vida quanto a água. Dentre todas as substâncias necessárias aos organismos animais e vegetais, são essas as mais relevantes (AZEVEDO NETTO, 1973). A água é necessária para beber, cozinhar e muitos outros usos. Nas zonas rurais, todas as necessidades podem ser satisfeitas mediante a escavação ou perfuração de poços, por nascentes ou ainda pelo armazenamento da água de chuva que se precipita nos telhados, e é guardada em pequenas cisternas. Nas zonas urbanas, como nas cidades ou vilas, essas fontes de abastecimento não são suficientes para satisfazer à população e, além disso, os poços e as nascentes ficam contaminados pelos despejos (HARDENBERG, 1988).

¹ A água é o constituinte inorgânico mais abundante na matéria viva: no homem, mais de 60% do seu peso é constituído por água (VON SPERLING, 1995).

A qualidade da água depende de sua origem e história. Em geral, as águas naturais revelam qualidades nitidamente características dos mananciais². Contudo, muitos fatores produzem variações de qualidade em águas provenientes do mesmo tipo de manancial, conforme as oportunidades de receber substâncias solúveis, ou de transportá-las em suspensão. As condições climáticas, geográficas e geológicas desempenham importante papel na determinação da qualidade da água (BRANCO, 1964)

São várias as impurezas que manifestam-se nas águas naturais, algumas delas inócuas, poucas desejáveis e, outras, extremamente perigosas. Entre as impurezas nocivas encontram-se vírus, bactérias, parasitas, substâncias tóxicas e, até mesmo elementos radioativos.

Dos povos antigos, foram os romanos que possuíram o sistema de abastecimento mais completo, porque, após terem-se utilizado da água do rio Tibre, foram obrigados, à medida que aumentava a poluição do rio, a ampliar seu sistema de abastecimento, construindo aquedutos através dos quais traziam água de pontos distantes da cidade. Estes aquedutos eram dotados de pequenos tanques nos quais a areia e o cascalho, mais pesados, se depositavam por sedimentação; deles, a água era conduzida para cisternas e fontes públicas, como também para algumas residências particulares (LEME, 1984).

Aprimorando uma tecnologia em constante desenvolvimento, o homem através dos tempos concebeu, projetou e construiu um complexo sistema de engenharia que é o sistema urbano de abastecimento de água, com o qual capta, condiciona, transporta, armazena (acumula) e distribui este líquido precioso para suas comunidades (LEME, 1982).

² De maneira geral, segundo VON SPERLING (1995), pode-se dizer que a qualidade de uma determinada água é função do uso e da ocupação do solo na bacia hidrográfica.

Devido ao aumento do consumo pelas comunidades, o homem também aprendeu a melhorar a qualidade da água e quando a de origem superficial era turva, alguns povos, como os egípcios e japoneses, procuravam clarificá-la, utilizando-se de filtros domésticos de louça, de barro ou arenito. Procuravam clarear a água barrenta sifonando-a de um vaso para outro pela ação da capilaridade de um material poroso (LEME, 1984).

VON SPERLING (1995) esclarece que em contraposição à qualidade da água presente num determinado manancial, tem-se a qualidade desejável para esta água, função do seu uso previsto (ver FIGURA 1.1). Muitas aplicações são restritas a uma estreita faixa de qualidade da água, como o abastecimento d'água público e industrial.



FIGURA. 1.1 Relação entre grau de tratamento e uso-benefício da água

FONTE: adaptado de ISAAC, 1997

As tecnologias disponíveis para o tratamento de águas para abastecimento público são numerosas³, porém, em virtude da existência de substâncias orgânicas e minerais de origem natural e antrópica, manifestadas na forma de soluções e suspensões coloidais, grande parte dos processos e fluxogramas adotados para a concepção e operação das ETAs, incluem as etapas de coagulação, seguida da floculação, sedimentação e filtração. Neste trabalho, propõe-se a investigação de

³ As tecnologias de tratamento têm tido evolução apreciável, a ponto de poder dizer-se teoricamente que águas de qualquer característica podem ser tratadas, no entanto, economicamente nem sempre isso é possível.

reatores utilizados para a floculação, alternativos aos convencionais, de baixo custo e facilidade operacional, que em função do seu desempenho poderão garantir a redução de custos de implantação e operação de ETAs convencionais ou mesmo implantação de fluxograma simplificado, tipo filtração direta.

2 OBJETIVOS

O presente trabalho teve como objetivos principais:

- 2.1 investigar o desempenho dos reatores propostos como técnica alternativa para promover a floculação hidráulica;
- 2.2 investigar os principais parâmetros operacionais e de projeto para o tipo de instalação proposta; e,
- 2.2 comparar o desempenho entre reatores preenchidos com feixes de tubulação e pedregulho em fluxo ascendente.

3 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Os serviços de abastecimento de água são descritos por ISAAC (1997) como sendo o conjunto de obras e equipamentos hidráulicos necessários ao fornecimento de água em quantidade suficiente, qualidade satisfatória e sob pressão adequada nos diversos pontos de consumo, os quais são constituídos por unidades de captação, adução, tratamento, reservação e distribuição que surgem e crescem com a comunidade.

Em uma Estação de Tratamento de Água (ETA), as unidades de tratamento visam a eliminação de certas impurezas e/ou a correção de algumas características que tornem a água inadequada para o consumo humano, uma vez que água quimicamente pura, simplesmente caracterizada pela fórmula molecular H_2O não existe na natureza, alerta VON SPERLING (1995). A água, por ser um “excelente”solvente e também devido à sua capacidade de transportar partículas, possui uma diversidade de impurezas, que vão imprimir suas características *físicas, químicas e biológicas*.

Os vários tipos de componentes que alteram o grau de pureza são incorporados à água ao percorrer o Ciclo Hidrológico, ou por receber contribuição de atividades humanas. Essas impurezas podem ser classificadas quanto à forma de apresentação (em suspensão, em estado coloidal e em dissolução) e seus principais efeitos (ISAAC, 1997).

As impurezas contidas nas águas conferem às mesmas propriedades características, as quais são determinadas por meio de: exame físico, análise química e exame bacteriológico e DI BERNARDO (1992)¹ *apud* SAMPAIO (1995) lembra que as características da água bruta não devem ser consideradas separadamente.

As características químicas da água são especialmente importantes, porque podem ser produzidas por compostos ou elementos químicos, que interfiram ou mesmo inviabilizem o uso de determinadas tecnologias para o seu tratamento (DI BERNARDO, 1993). Da mesma forma que as características físicas da água podem ser determinantes na escolha da tecnologia mais adequada para o tratamento.

3.1 DISPERSÕES AQUOSAS

São sistemas em que uma ou mais substâncias estão disseminadas, sob forma de pequenas partículas em outra substância, no caso, a água. São formadas por: dispersos (soluto) e dispersante (solvente).

A classificação das dispersões é feita com base no tamanho médio (diâmetro) das partículas dispersas. Podem ser:

a) solução

- tamanho médio das partículas em solução são menores que 1 m μ (milimicron = 10⁻⁶ mm);
- visibilidade: sistema homogêneo;
- filtração: as partículas em solução não são retidas por filtros (papéis de filtro usados em análises laboratoriais).

¹ DI BERNARDO, L. *Coagulação-floculação*. São Carlos: Escola de Engenharia de São Carlos, USP, 1992.

3.2 PARTÍCULAS COLOIDAIS

Um sistema coloidal é definido como um sistema no qual as partículas encontram-se em estado finamente dividido e dispersas em um meio contínuo. As partículas coloidais se caracterizam por ter uma grande superfície específica, ou seja, uma grande relação entre sua área superficial e sua massa (MENDES, 1989) e por isso tem seu comportamento determinado por forças de superfície, conclui NOGUEIRA, 1988.

MENDES (1989), esclarece que as partículas coloidais não são limitadas a um grupo particular de substâncias, mas são definidas por seu tamanho cuja faixa de variação encontra-se entre 10^{-6} e 10^{-3} mm, tornando-se de difícil distinção quanto à soluções e suspensões em seus limites inferior e superior, respectivamente, como visto na FIGURA 3.1.

De acordo com DI BERNARDO (1993), um sistema irreversível é um sistema coloidal cineticamente estável, no qual a coagulação é desprezível; por outro lado, um sistema coloidal cineticamente instável é um sistema reversível, no qual a coagulação é significativa.

Segundo MENDES (1989), os sistemas coloidais podem ser classificados por sua afinidade com a fase dispersante em liofílicos e liofóbicos. Quando a fase dispersante é a água, denominam-se *hidrofilicos*, quando mostram forte atração por moléculas de água (polares) que passam a constituir uma película “lubrificante” que dificulta a formação de flocos, tais como proteínas, sabões, detergentes sintéticos e substâncias húmicas; *hidrofóbicos* quando mostram fraca atração por moléculas de água, tais como argilas, ouro e outros metais, constituindo-se na grande maioria das substâncias presentes nas águas dos mananciais comuns e apresentando-se carregados eletronegativamente.

Em tratamento de água, relata DI BERNARDO (1993), é comum referir-se aos sistemas coloidais como hidrófilos ou emulsóides quando apresentam afinidade com a água e, hidrófobos ou suspensóides quando repelem a água. Nesses sistemas, as propriedades das superfícies das partículas são muito importantes, principalmente nas águas naturais, que podem conter vários tipos de argilas, alguns a seguir, encontram-se listados na TABELA 3.1.

TABELA 3.1 - Características principais de alguns tipos de argila
 FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993 e NOGUEIRA, 1988

TIPO DE ARGILA	SUPERFÍCIE ESPECÍFICA (m ² /g)	MASSA ESPECÍFICA (g/m ³)
Montmorilonita	50 - 840	2,35 - 2,70
Caulinita	10 - 20	2,60 - 2,68
Ilita	65 - 100	2,60 - 3,00

As argilas são constituídas principalmente por argilominerais² explica NOGUEIRA (1988), além de uma variedade de outros materiais como matéria orgânica, minerais não argílicos, sendo o mais comum o quartzo (embora também possam aparecer feldspatos, mica, pirita, calcita entre outros). Os argilominerais, são constituintes básicos das argilas e contém silicatos hidratados de alumínio e ferro além de alguns elementos alcalinos e alcalinos terrosos, segundo DI BERNARDO (1993). Ainda segundo este autor, morfologicamente as partículas de argila apresentam-se em forma de plaquetas compostas de lâminas muito finas³, como mostra a FIGURA 3.2.

² O mineral constituinte da partícula determina a sua forma, afirmam BUENO & VILAR (1984).

³ Outra forma de partícula mineral é a fibrilar, na qual uma dimensão predomina sobre as outras duas, lembra SERAPHIM (1995); embora essa forma particular ocorra em certos minerais argílicos (haloissitas), o autor salienta que a forma laminar é mais freqüente.

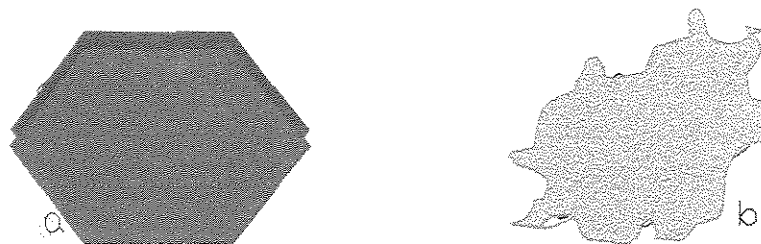


FIGURA 3.2 - Duas partículas de argila (a- caolinita ; b- illita)
 FONTE: adaptado de BUENO e VILAR, 1984

3.2.1 Cargas superficiais das partículas: Dupla Camada Elétrica

Imaginando partículas de solo argiloso, carregadas negativamente e dispersas em meio aquoso, estas encontrar-se-ão envolvidas por cátions, atraídos pelas cargas contrárias das partículas, de diferentes elementos químicos (H^+ , Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Mg^{++} , Al^{+++} , Fe^{+++}), os quais poderão estar livres ou adsorvidos na superfície das partículas, conforme ilustra a FIGURA 3.3. Desta forma, cada partícula individual de argila fica envolvida por uma película de água e respectivos íons nela aderidos (água adsorvida), esclarece SERAPHIM (1995).

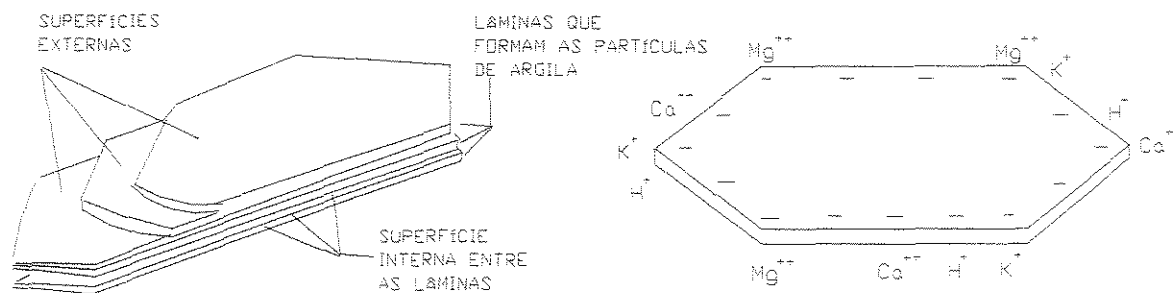


FIGURA 3.3 - Representação esquemática de uma partícula de argila
 FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993

As moléculas de água e a "atmosfera" iônica ao redor das partículas de argila estarão sujeitas às forças eletrostáticas de atração e repulsão, as quais decaem com a distância da superfície da partícula. Em virtude dessas forças, as camadas de água ao redor das partículas manifestam mobilidade decrescente conforme aproxima-se da superfície das partículas. Dessa forma, as primeiras camadas de água, praticamente tornam-se imóveis em relação à partícula, caminhando junto com a mesma e definindo o chamado "plano de cisalhamento", onde pode ser medido o potencial zeta da partícula.

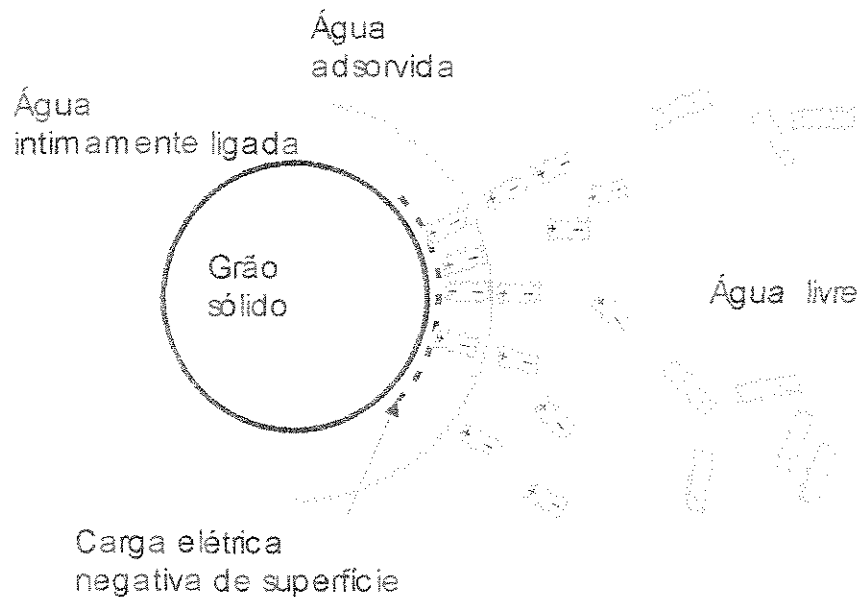


FIGURA 3.4 - Representação esquemática da água adsorvida ao redor de uma partícula de argila
 FONTE: adaptado de VARGAS, 1977

Na Figura 3.4 pode-se observar que as forças atrativas entre a água e a partícula de argila são devidas ao fato de que as moléculas de água funcionarem como dipolos elétricos os quais prendem-se diretamente às cargas negativas da argila, ou através de cátions adsorvidos, esclarece VARGAS (1977). Este autor ainda complementa afirmando que a espessura dessa camada de água varia com a natureza desses cátions e, portanto, com a salinidade da água.

Como visto, partículas coloidais são envolvidas por cargas positivas⁴ (íons dissolvidos no meio) que vão formar uma camada que se costuma chamar *Camada Compacta* e que à medida que se afasta da partícula, a densidade dessas cargas positivas vai diminuindo até que se iguala à das cargas negativas. Essa outra camada envolvente da partícula coloidal recebe o nome de *Camada Difusa* (conforme mostra a FIGURA 3.5). Tem-se, portanto, uma concentração elevada de íons positivos próximos à superfície do núcleo do colóide, também denominada *Camada de Stern*, a partir da qual se forma a Camada Difusa, na qual a concentração de íons é menor.

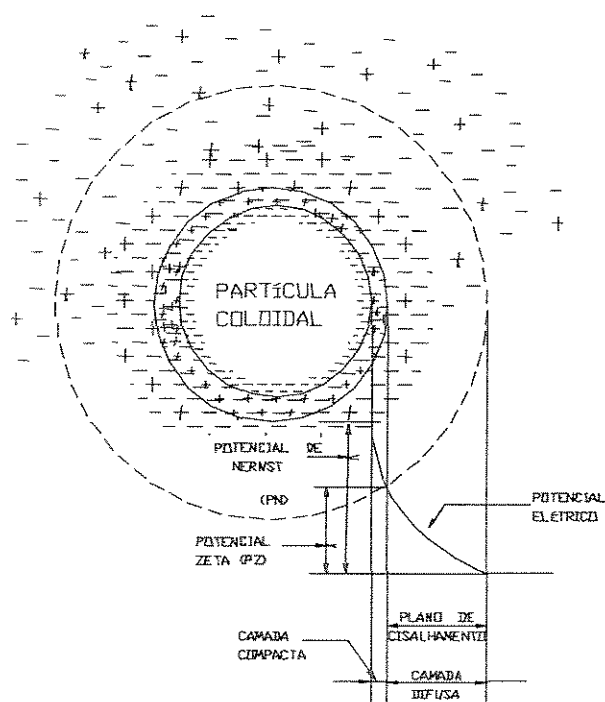


FIGURA 3.5 - Configuração esquemática da Dupla Camada Elétrica
FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993

O potencial elétrico criado pela presença do colóide na água diminui com a distância, a partir da superfície do mesmo (onde é máximo), denominado *Potencial de Nernst*.

⁴ Isso gera potenciais de atração e de repulsão, que de acordo com BUENO & VILAR (1984), tendem a variar com a distância, com a concentração de íons e com a temperatura.

Desde que, cargas semelhantes se repelem, as partículas possuidoras de cargas similares vão manter-se afastadas uma das outras, não sendo possível sua agregação em partículas maiores. Esta propriedade é a principal responsável pela estabilidade dos colóides.

Se uma dispersão contendo partículas coloidais for submetida a um campo elétrico, estas mover-se-ão em direção a um dos eletrodos: este fenômeno, chamado de eletroforese⁵, indica a existência de cargas elétricas nas partículas coloidais. O sinal desta carga e sua magnitude é, dentre outros fatores, função da natureza do material coloidal (VARGAS, 1997 e DI BERNARDO, 1993).

O conceito desse potencial, *Potencial Zeta*, está associado à aplicação de uma diferença de potencial em uma amostra de água contendo colóides negativos, de tal forma que uma certa porção do meio, em torno da partícula, caminha junto com esta ao eletrodo positivo, caracterizando o *Plano de Cisalhamento*, relata DI BERNARDO (1993).

A diferença de potencial entre o Plano de Cisalhamento e o meio envolvente é denominado Potencial Zeta (P.Z.) e para se conseguir uma boa formação de flocos, é necessário efetuar sua diminuição, ou mesmo anulá-lo, além de promover encontros das partículas entre si.

Assim, as principais metas para se obter a coagulação/floculação consistem em:

- reduzir o potencial Zeta a valores bastante baixos para que a repulsão entre as partículas não represente oposição ao encontro das mesmas (quando $PZ = 0$, diz-se que se atingiu o “ponto isoelétrico”);

⁵ O “zetâmetro” é um equipamento que permite medir a velocidade de migração de partículas coloidais (velocidade de eletroforese), quando sujeitas a uma diferença de potencial.

- fornecer energia ao meio para que a agitação acarrete maior número de choques por unidade de tempo e de volume, sem, contudo provocar ruptura dos flocos previamente formados; e,
- produzir no meio, compostos floculentos (aglomerados de partículas).

As cargas primárias presentes na superfície das partículas coloidais devem ser contrabalanceadas por íons de carga contrária existentes na fase dispersante (cátions fornecidos pela água) e atraídos eletrostaticamente. Estes íons - ânions e cátions - envolvidos nesta eletroneutralidade são os chamados íons permutáveis e estão arranjados em torno das partículas coloidais, constituindo a região chamada *Camada Dupla Elétrica*.

Entretanto, ao mesmo tempo, estes íons possuem a tendência de se difundirem para a fase dispersante (água), onde sua concentração é menor. Esta situação é análoga a da atmosfera terrestre, onde a concentração dos íons de carga contrária próxima à superfície da partícula é elevada, e é decrescente com o aumento da distância da superfície da partícula; esta “atmosfera” de íons de carga contrária é chamada de *Camada Difusa* (MENDES, 1989).

A magnitude do potencial Zeta pode ser interpretada como uma estimativa da estabilidade da partícula coloidal: valores elevados indicam sistema coloidais de grande estabilidade e vice-versa.

3.2.2 Fatores de Estabilidade e Instabilidade

As suspensões coloidais estão sujeitas a serem estabilizadas ou desestabilizadas. Entre os fatores de estabilização (repulsão) destacam-se a carga elétrica das partículas e a hidratação das mesmas. A hidratação consiste na

propriedade de algumas partículas atraírem um grande número de moléculas de água (solvente) para sua superfície e manifesta-se com maior importância nos colóides hidrofílicos como dito anteriormente, dificultando a ação de possíveis agentes desestabilizadores ou coagulantes.

SERAPHIM (1995) lembra que, quanto menor o tamanho da partícula, maior será a área superficial específica e também maior será a tendência de aumentar o volume de água e cátions adsorvidos na sua superfície, causando maior vulnerabilidade quando em presença de água.

Quando duas partículas coloidais similares se aproximam, haverá uma superposição de suas “atmosfera” de íons de carga contrária (camada difusa) e suas superfícies iniciam uma interação repulsiva devida à força eletrostática entre as mesmas, resultando no afastamento das partículas, descreve MENDES (1989). A quantidade de trabalho necessário para a aproximação de duas partículas coloidais, partindo-se de uma distância infinita é chamada de potencial de repulsão, e é tanto maior quanto mais próximas estiverem as partículas. Por outro lado, a ação das forças atrativas de *Van der Waals* combinada com o potencial de repulsão fornece a energia de interação resultante sobre as partículas coloidais, como mostra a FIGURA 3.6.

Os fatores de atração (desestabilização) são proporcionados pelo *movimento Browniano*, que é provocado pelos choques das partículas coloidais com as moléculas de água e cuja energia cinética é proporcional à temperatura do fluido e pelas *forças de Van der Waals*. DI BERNARDO (1993) relata que tais forças (que foram primeiramente descritas por LONDON) são atribuídas às flutuações de cargas nos átomos e resultam de interações entre dipolos permanentemente induzidos nos átomos inter-atuantes dos colóides e da água; para dois átomos a força atrativa de Van der Waals é inversamente proporcional à sétima potência da distância entre os mesmos porém, para duas partículas constituídas de grande número de átomos, as forças atuantes sobre cada par de átomo são aditivas, resultando em uma energia de atração inversamente proporcional ao quadrado da distância entre as superfícies das mesmas.

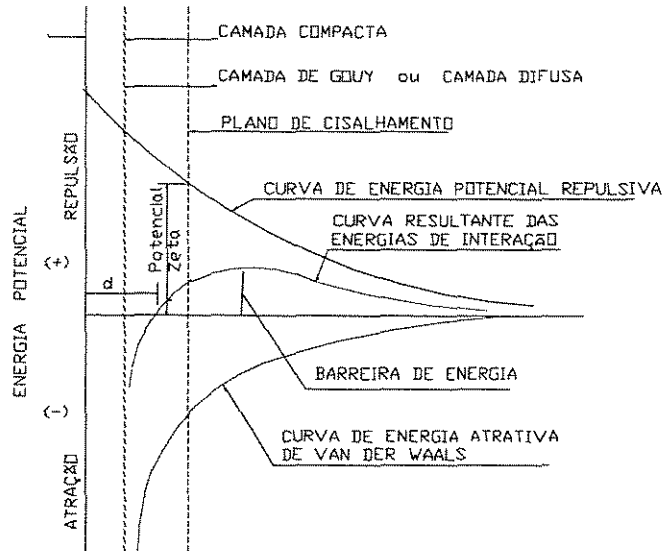


FIGURA 3.6 - Interação entre duas partículas coloidais semelhantes
 FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993

Segundo DI BERNARDO (1993), a interação entre as forças de repulsão pela camada dupla (de origem elétrica) e de atração de Van der Waals entre partículas coloidais difundidas na água, que se movem continuamente (devido ao Movimento Browniano) contribui para a estabilidade do sistema. Desta forma, o trabalho necessário para a aproximação de duas partículas coloidais semelhantes, partindo-se de uma distância infinita, conhecido como *Energia Potencial de Repulsão* e é tanto maior, quanto menor a distância entre as mesmas.

Por outro lado há ainda a ação das forças atrativas de Van der Waals, também mostradas na FIGURA 3.6, assim como a resultante das duas energias. Sendo assim, quando a força iônica é pequena, a energia resultante é de repulsão, e atingirá um valor máximo, conhecido como *Barreira de Energia*, a uma distância, a partir da superfície da partícula coloidal, próxima àquela em que se tem o Plano de Cisalhamento (FIGURA 3.6). Por isso, o potencial Zeta pode fornecer indicações do grau de estabilidade de um sistema coloidal. Com o aumento da concentração (força) iônica a "atmosfera" em torno

de cada partícula será compactada, provocando um decréscimo mais acentuado do potencial de repulsão eletrostático com a distância da partícula e, assim, a energia resultante pode ser reduzida a ponto de eliminar a Barreira de Energia.

SERAPHIM (1995) explica que quando as forças de atração predominam, as partículas se aglutinam formando estruturas floculentas (ver Fig.3.7):

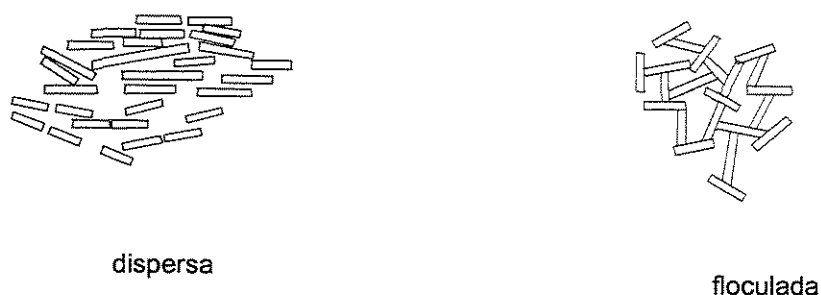


FIGURA 3.7 - Modelos estruturais básicos: representação esquemática da orientação de partículas
FONTE: adaptado de LEONARDS, 1962

3.3 COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO

Como dito no item 3.2.1, as partículas coloidais presentes em um meio aquoso em geral desenvolvem cargas elétricas na interface com a água e dessa forma, forças elétricas repulsivas atuam sobre os colóides produzindo uma barreira que previne a agregação, barreira esta que deve ser eliminada para permitir que as partículas se aglomerem. Os processos de coagulação e floculação compreendem quatro etapas: 1ª) adição do coagulante na água com formação de espécies hidrolisadas; 2ª) dispersão das espécies hidrolisadas do coagulante no fluido; 3ª) agitação para promover o contato entre as partículas presentes na água e as espécies hidrolisadas; e, 4ª) agitação para

permitir o contato entre as partículas desestabilizadas, de modo a formar flocos de tamanho e densidade adequados, que possam ser removidos por sedimentação e/ou filtração (DI BERNARDO *et al*, 1995).

3.3.1 Coagulação

No tratamento de água, a força iônica do meio, devida a presença da carga presente em partículas coloidais, substâncias húmicas e microrganismos em geral, é alterada por reagentes químicos para possibilitar a aproximação. Sais de alumínio e ferro, como por exemplo o sulfato de alumínio, cloreto férrico e sulfato ferroso são cogulantes inorgânicos empregados.

A coagulação para DI BERNARDO (1992) *apud* SAMPAIO (1995), consiste na ação conjunta de dois fenômenos : formação das espécies do coagulante e transporte para permitir contato entre as mesmas e as partículas suspensas ou em estado coloidal (e outras substâncias) presentes na água bruta. Contudo, a formação das espécies do coagulante é um processo químico, que depende principalmente do valor do pH⁶ resultante, o transporte é essencialmente um fenômeno físico, realizado pela difusão e movimento do fluido e controlado por características físicas e químicas do meio: a coagulação depende, portanto, das características da água bruta.

Comumente são considerados quatro mecanismos de coagulação, a saber: compressão da camada dupla elétrica; adsorção e neutralização de cargas; varredura; e, adsorção e formação de pontes.

⁶ O valor do pH, ou seja, a concentração de íons H⁺ em muito influencia as diferentes características físicas assim como as reações químicas e bioquímicas. O conhecimento do pH da água é uma das análises mais importantes (NOUR, 1996).

O predomínio de determinado mecanismo depende das espécies hidrolisadas do coagulante que, por sua vez, são função de fatores como o valor resultante do pH de coagulação, características químicas do meio aquoso e dosagem do coagulante (MENDES, 1989). De acordo com DI BERNARDO *et al* (1987), os mecanismos de coagulação mais importantes quando da utilização de sais de alumínio ou de ferro, são os de adsorção e neutralização de cargas e o de varredura, representados esquematicamente na FIGURA 3.8.

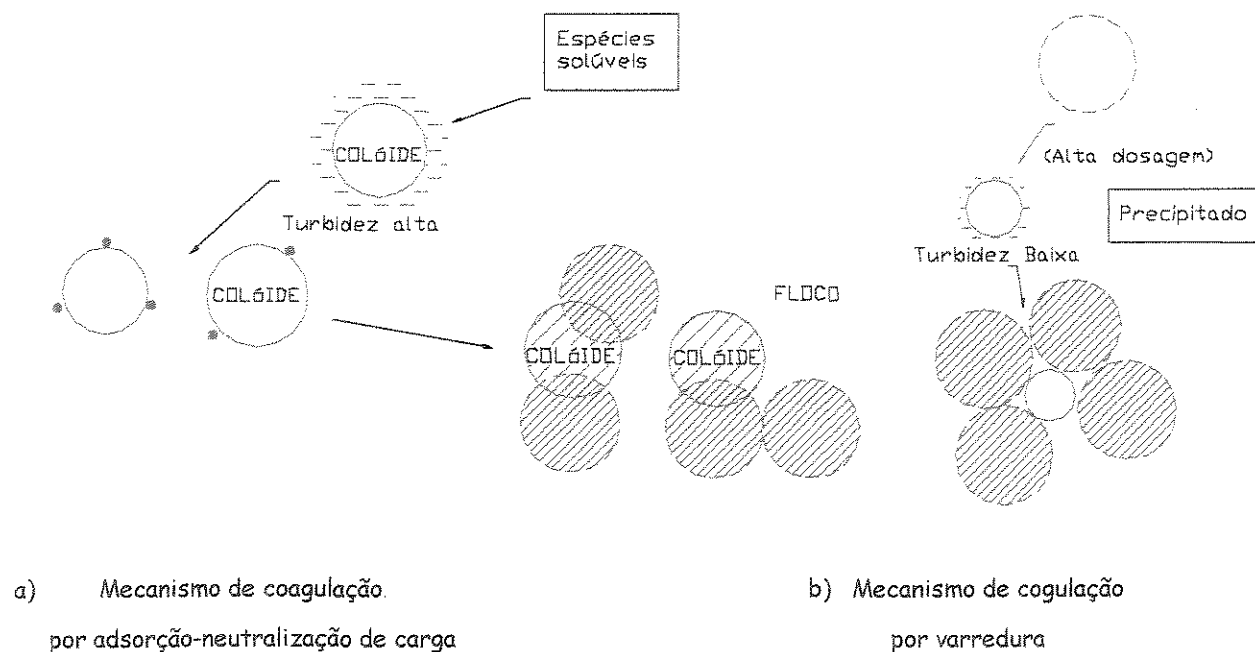


FIGURA 3.8 - Esquemas dos mecanismos de coagulação para remoção de turbidez:
a) mecanismo de neutralização de carga e b) mecanismo de coagulação por varredura
FONTE: adaptado de DENNETT, 1996

a) Compressão da camada dupla elétrica

Um sistema coloidal pode ser desestabilizado pela adição de íons de cargas contrárias à das partículas coloidais. Sais simples, como o cloreto de sódio, são considerados “eletrólitos indiferentes” e não têm características de hidrólise ou de adsorção, como ocorre com os sais de alumínio e de ferro.

Sabe-se que, a desestabilização de um colóide por um eletrólito indiferente ocorre devido a interações eletrostáticas: íons de mesma carga são repelidos e de carga contrária, atraídos pelos colóides; quanto maior a carga do íon positivo, menor a quantidade requerida para a coagulação. No caso do sódio (Na^+), cálcio (Ca^{++}) e alumínio (Al^{+++}), as concentrações molares desses metais para causar a desestabilização de um colóide negativo variam, aproximadamente na proporção de $1:10^{-2}:10^{-3}$.

A introdução de um eletrólito indiferente num sistema coloidal irá causar um aumento na densidade das cargas na camada difusa e diminuir a “atmosfera” de influência das partículas, ocorrendo a coagulação por *Compressão da Camada Dupla Elétrica*. Concentrações elevadas de íons positivos e negativos (força iônica grande) na água acarretam um acréscimo do número de íons nas Camadas Compacta e Difusa que, para manterem-se eletricamente neutras, necessariamente, terão seu volume reduzido (diminuição da espessura), de modo tal que as forças de Van der Waals passem a ser dominantes, eliminando a estabilização eletrostática (MENDES, 1989).

MENDES (1989), destaca dois interessantes aspectos a respeito da compressão da dupla camada:

- a quantidade de eletrólitos necessários para conseguir-se a coagulação pela compressão da camada dupla é praticamente independente da concentração de colóides na suspensão; e,

- não é possível causar a reversão da carga dos colóides pela compressão da camada dupla (restabilização) para qualquer quantidade de eletrólitos adicionada.

Na FIGURA 3.9a, tem-se os resultados da coagulação realizada com Na^+ , Ca^{2+} e Al^{3+} , obtidos em ensaios de coagulação - floculação e sedimentação:

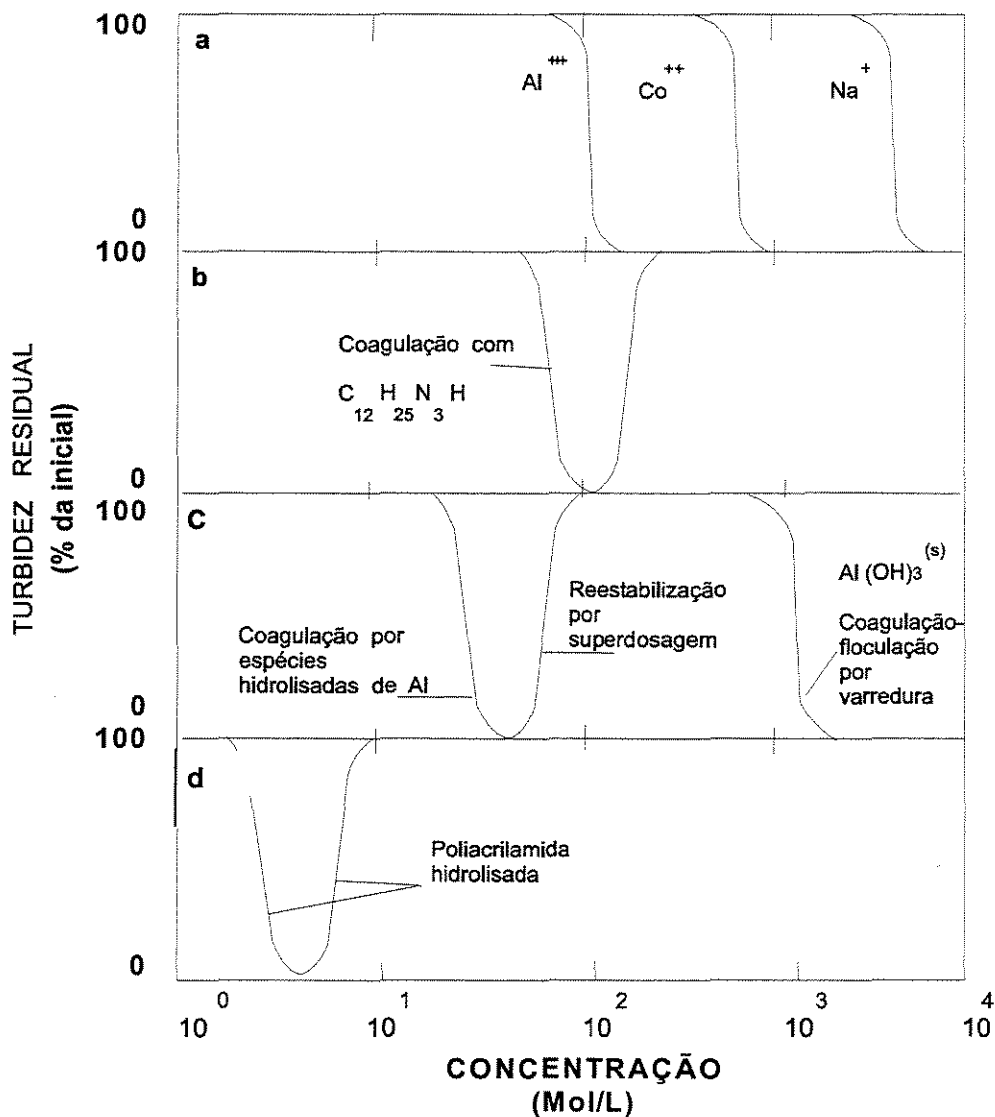


FIGURA 3.9 - Curvas de variação de turbidez residual em função da concentração molar de vários tipos de coagulantes
 FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993

b) Adsorção e Neutralização de Cargas

Existem algumas espécies químicas capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais. Se estas espécies forem carregadas com cargas contrárias às presentes na superfície dos colóides, haverá a desestabilização dos mesmos.

A redução da carga superficial por adsorção é diferente do mecanismo de compressão da dupla camada: a atração entre a superfície do colóide e a espécie adsorvida resulta, provavelmente, de interações químicas, tais como, pontes de hidrogênio, pontes covalentes e reações de troca iônica. Sua manifestação é de intensidade superior aos efeitos eletrostáticos, o que permite explicar a ocorrência de reestabilização de partículas coloidais pela reversão da carga superficial, quando o coagulante é adicionado em excesso (ver FIGURA 3.9b e c).

Segundo MENDES (1989), são três as principais diferenças entre os mecanismos de compressão da camada dupla e de adsorção-neutralização:

- as espécies adsorvíveis são capazes de desestabilizar os colóides em dosagens muito inferiores às necessárias para a compressão da dupla camada por íons não adsorvíveis;
- a relação existente entre a concentração dos colóides e a quantidade necessária de espécies desestabilizadas por adsorção segue uma relação estequiométrica; e,
- é possível a reversão da carga superficial das partículas coloidais através de uma dosagem excessiva de espécies adsorvíveis.

c) Varredura

Dependendo da quantidade de coagulante (sal) adicionada, do pH e da concentração de algumas espécies de íons presentes na solução poderá ocorrer a formação de precipitados. As partículas coloidais presentes comportam-se como

núcleos de condensação para estes precipitados e, desta forma, são removidos por sedimentação (ver FIGURA 3.9c).

DI BERNARDO (1993) esclarece que o mecanismo da varredura é intensamente utilizado nas estações de tratamento em que se tem a floculação e sedimentação antecedendo a filtração, pois os flocos resultantes são de maior tamanho e apresentam velocidades de sedimentação relativamente altas se comparados aos flocos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização.

d) Adsorção e Formação de Pontes

Existe uma grande variedade de compostos naturais e sintéticos caracterizados por serem formados de grandes cadeias moleculares que desfrutam da propriedade de apresentar regiões ionizáveis (ou não) ao longo de sua estrutura, capazes de agirem como eficientes coagulantes. Tais compostos chamados de polieletrólitos podem ser classificados como: aniônicos, catiônicos, e não-iônicos, dependendo da característica do sítio ionizável, que manifestem quando em solução. A coagulação-floculação com estes compostos apresenta características distintas das verificadas quando é usado um eletrólito de pequena cadeia, podendo-se admitir como que uma ocorrência simultânea de ambos mecanismos já mencionados: adsorção e neutralização de cargas e varredura.

A FIGURA 3.10 apresenta alguns esquemas ilustrativos da ocorrência desse tipo de mecanismo de coagulação e da forma de iteração entre as moléculas dos polímeros e as partículas coloidais. As ligações entre ambos podem resultar de forças de atração eletrostática, caso os polímeros e as partículas sejam carregadas com carga contrária, ou troca iônica, pontes de hidrogênio⁷ e forças de Van der Waals, caso possuam cargas de mesmo sinal.

⁷ Esta ação de pontes entre partículas resulta na formação de flocos de boas características de sedimentação.

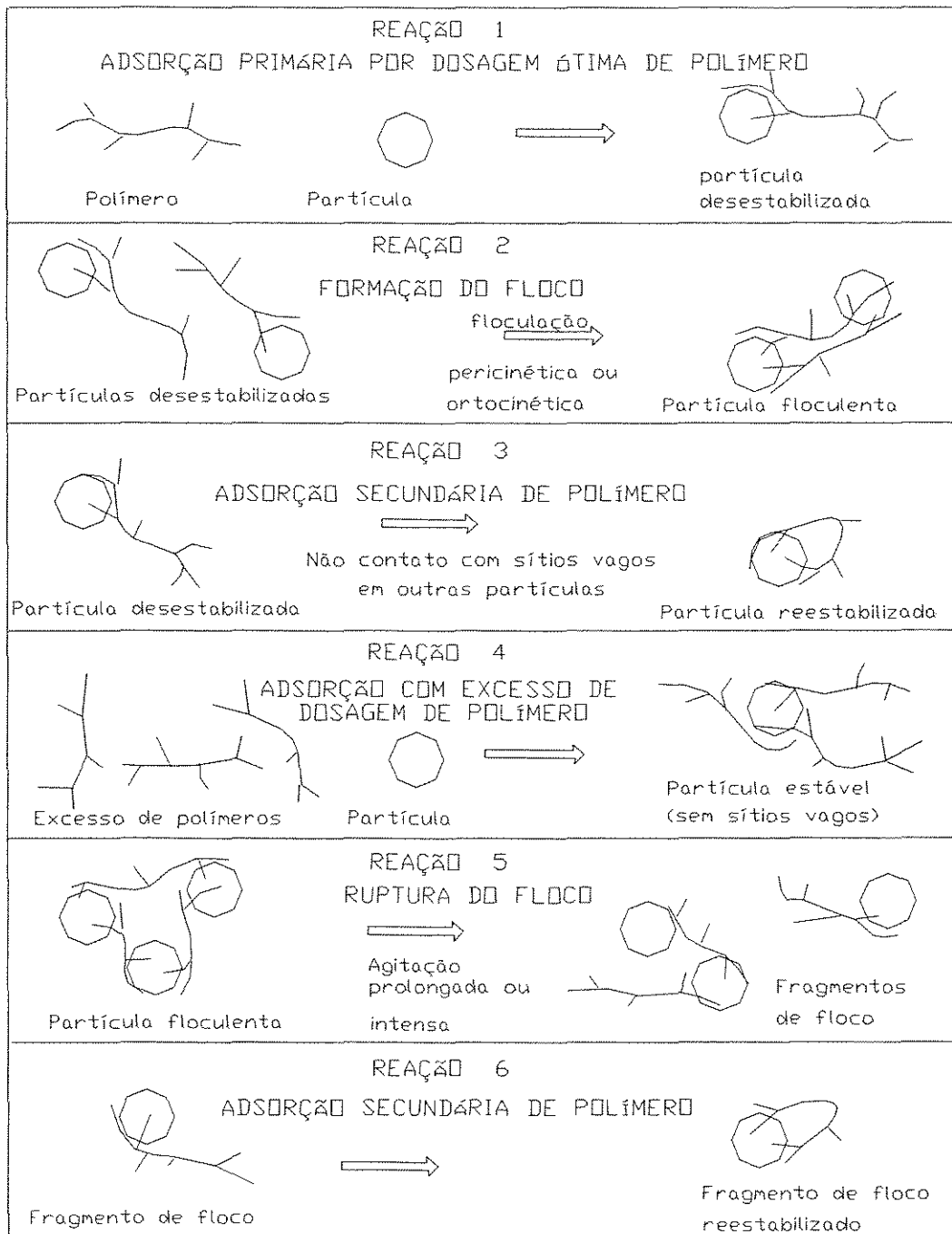


FIGURA 3.10 - Representação esquemática do mecanismo de adsorção e formação de pontes na desestabilização de colóides por polímeros.

FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993

3.3.2 Floculação

A floculação é um conjunto de fenômenos físicos, obtida pelo processo de agitação contínua e suave, durante o qual, partículas suspensas na água se encontram e agregam-se de forma que elas possam ser removidas da água em processos subsequentes do tratamento, particularmente por sedimentação ou, nas estações de filtração direta, nos próprios interstícios do meio filtrante. A floculação sucede a mistura rápida e coagulação, podendo ser realizada em unidades mecânicas ou hidráulicas para promover a floculação.

Segundo DI BERNARDO (1992), a floculação é essencialmente um fenômeno físico, e depende da temperatura da água e das condições de intensidade e período de agitação impostos à água em tratamento.

O mecanismo de transporte predominante no processo, segundo LIBÂNIO *et al* (1996), será função das dimensões das partículas desestabilizadas (coágulos) e do estágio de desenvolvimento e crescimento dos flocos; o transporte pode ocorrer devido ao movimento Browniano (floculação pericinetica), às diferenças de velocidade das linhas de corrente do fluido em escoamento (floculação ortocinetica) e às distintas velocidades de sedimentação dos flocos.

O gradiente de velocidade e o tempo de detenção, aliados aos fatores intervenientes no processo de coagulação, constituem-se nos principais fatores interventores da eficiência da floculação, uma vez que tais parâmetros governarão a densidade e o tamanho dos flocos formados.

A TABELA 3.2 resume as principais propriedades que devem possuir os flocos para alguns processos de remoção. De acordo com JANSSENS & BUEKENS (1993), as condições prévias de floculação para filtração direta são comparáveis às necessárias para flotação por ar dissolvido.

TABELA 3.2 - Principais características necessárias para alguns processos de remoção dos flocos
 FONTE: adaptado de JANSSENS & BUEKENS, 1993

Características dos Flocos	Sedimentação	Flotação	Filtração
Diâmetro médio	ooo	o	o
Distribuição de diâmetros	oo	oo	o
Massa específica	oo	o	oo
Compacidade	ooo	oo	ooo
Resistência ao cisalhamento	oo	ooo	ooo
Forma (esférica)	oo	oooo	o
Propriedades superficiais	o	oooo	oooo
Sedimentabilidade	oooo	o	o
Filtrabilidade	o	oooo	oooo

LEGENDA:

oooo imprescindível

ooo importante

oo significativa

o irrelevante

3.3.3 Cinética da floculação

Grande parte das suspensões contêm partículas muito grandes para manifestarem a difusão Browniana (lembrem HANNAH *et al*, 1967⁸ *apud* PÁDUA, 1994), e por isto, o residual da força repulsiva entre partículas na água depois da coagulação pode ser vencido em uma ETA, pela aplicação de agitação na massa líquida para incentivar a colisão de partículas (formação de coágulos); este processo é induzido por qualquer agitador mecânico ou pela energia dissipada em curvas e atrito com as paredes das câmaras de floculação, manifestada pela perda de carga hidráulica (McCONNACHIE, 1993).

Apesar da interação química entre o coagulante adicionado, a água e a superfície dos sólidos coloidais suspensos geralmente ocorrer em poucos segundos; a etapa de agregação das partículas desestabilizadas para formar os flocos pode demorar horas (ARGAMAN, 1971).

⁸ HANNAH, S.A. *et al*. Measurement of floc strength by particle counting. Journal AWWA, v59, n 7, p843-858, 1967.

Os mecanismos de transporte de partículas no sistema aquoso são essencialmente físicos (movimento Browniano, movimento do fluido e sedimentação diferenciada), e a cada choque, ocorre o desaparecimento de duas partículas primárias. Desta forma, quanto menor o número de partículas que saem do reator, maior sua eficiência na construção de flocos. Pela Lei de Stokes, para partículas esféricas, de comportamento discreto sob regime de escoamento laminar, a velocidade de sedimentação pode ser determinada pela equação 3.1:

$$V_s = \frac{d^2 \cdot (\rho_s - \rho_a) \cdot g}{18\mu} \quad (3.1)$$

onde: V_s = velocidade de sedimentação (m/s);

d = diâmetro da partícula (m);

g = aceleração da gravidade (m/s^2);

ρ_s = massa específica da partícula (kg/m^3);

ρ_a = massa específica do fluido (kg/m^3);

μ = viscosidade absoluta do fluido (N/sm^2).

Apesar das diferenças entre o comportamento de partículas discretas e esféricas e partículas floculentas pode-se admitir que, aumentando o diâmetro ou a massa específica dos flocos, é possível removê-los mais facilmente por sedimentação. Entretanto, alguns fatores influem na formação e portanto, nas características dos flocos, como:

- a) características da água bruta (cor, turbidez, pH, temperatura);
- b) coagulante utilizado (concentração e idade da solução) e auxiliares empregados (utilização de polímeros); e,
- c) gradiente de velocidade e o período de agitação (tempo, intensidade e tipo de equipamento de agitação).

De acordo com as características dos flocos formados (por exemplo, tamanho e resistência ao cisalhamento), existe uma intensidade de agitação crítica, acima da qual observa-se a ruptura dos mesmos, de forma que o desempenho da unidade de floculação depende do balanço de dois fenômenos que se opõem: a agregação e a ruptura dos flocos.

3.3.4 Floculação hidráulica

Em muitos países os floculadores mecânicos são mais utilizados do que floculadores hidráulicos devido à flexibilidade quanto a possibilidade de ajuste da velocidade de rotação das pás ou turbinas imposta pelo motor. Essa característica pode ser muito importante quando a ETA está sujeita a variações de vazão, temperatura ou qualidade da água bruta (WAGNER, 1983).

Floculadores hidráulicos tem menor flexibilidade porque suas características físicas e, conseqüentemente, parâmetros de floculação são função da vazão afluyente e não podem ser ajustados livremente.

Contudo, uma característica atrativa de muitos floculadores hidráulicos é que o fluxo se aproxima das condições de reatores tubulares em razão da existência de múltiplos compartimentos, canais e chicanas, ou meio necessário e suficiente para promover a mistura lenta. Como resultado, há poucos caminhos preferenciais quando comparados com floculadores mecânicos, apesar destes últimos serem projetados com vários compartimentos em série e terem suas saídas e entradas diametralmente opostas para minimizar problemas desta natureza (SCHULZ, 1994).

A seguir, na TABELA 3.3 é apresentada uma comparação entre as principais características de floculadores usualmente empregados em ETA's:

TABELA 3.3 - Comparação entre floculadores hidráulicos e mecanizados de eixos vertical e horizontal
Fonte: adaptado de LIBÂNIO *et al*, 1996

CARACTERÍSTICA DA UNIDADE DE FLOCULAÇÃO	FLOCULADORES HIDRÁULICOS	FLOCULADORES MECANIZADOS	
		EIXO VERTICAL	EIXO HORIZONTAL
Custo	baixo	médio a alto	médio a alto
Flexibilidade operacional	média a baixa	boa	boa
Tipo de construção	fácil	média	média a difícil
Condições de fluxo	próximo ao fluxo de pistão	curtos-circuitos	curtos-circuitos
Manutenção	baixa	média	média

Em países em desenvolvimento, floculadores hidráulicos estão sendo utilizados porque podem ser implantados com baixo custo e utilizando materiais e mão-de-obra locais: são de simples manutenção e operação e não requerem partes sobressalentes.

WAGNER (1983) ressalta que muitos engenheiros responsáveis pelo projeto de ETAs na América Latina ainda acreditam no aproveitamento da topografia do terreno para que a água passe por instalações, que então utilizam o potencial hidráulico para promover a mistura rápida e floculação, tendo como resultado a redução de bombas, motores e outros equipamentos elétricos ou partes móveis.

RICHTER (1985) relata a utilização de um dispositivo de floculação com telas pela Sanepar, no projeto de ampliação da estação de tratamento do rio Iguazu (ETA-Iguazu), em Curitiba (1979): para o autor, a simples passagem da água por uma tela poderá ter uma série de aplicações nas estações de tratamento.

Segundo RICHTER (1985), as telas instaladas intercaladamente em trechos retos de canais de floculação hidráulica opõem uma resistência localizada ao fluxo, tendendo a uniformizá-lo, reduzindo a incidência de curto-circuitos e, assim, atuando como elemento de compartimentação, havendo desta forma, uma possibilidade real de redução do tempo de residência necessário à floculação.

3.4 FLOCULAÇÃO EM MEIO MEIOS GRANULARES

A partir da década de setenta, com a realização de pesquisas sobre a da filtração direta descendente, foram propostos modelos para a floculação que ocorre no meio filtrante se o afluente for água coagulada (DI BERNARDO, 1993). A floculação em meio poroso consiste em passar-se a água, logo após ter recebido os coagulantes, através de um meio granular⁹ contido em um tanque (fluxo vertical, ver FIGURA 3.11) ou canal (fluxo horizontal) (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

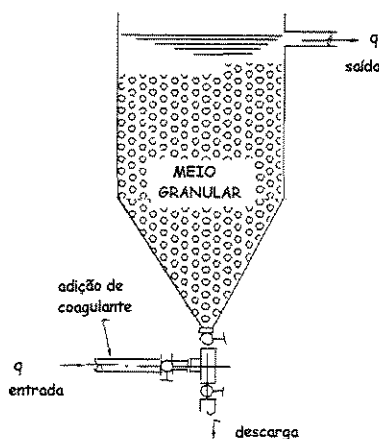


FIGURA 3.11 - Floculador hidráulico de fluxo ascendente em leito de pedregulho
 FONTE: adaptado de DI BERNARDO, 1993.

⁹ O meio granular deve ser inerte, limpo, insolúvel e resistente à ações mecânicas, e devem ser feitas também considerações a respeito da viabilidade econômica.

Essa tecnologia, sem dúvida, manifesta uma série de vantagens em comparação com outros tipos de flocladores hidráulicos e mecanizados, podendo-se destacar:

- possibilidade de redução do consumo de coagulantes e pré-alcalinizantes da água bruta;
- redução de custos de implantação devido à redução do período de detenção hidráulico necessário para o processo;
- possibilidade de eliminação da etapa de decantação devido a ocorrência de retenção de flocos no próprio leito poroso do floclador; e,
- redução nos custos operacionais e de manutenção, devido a inexistência de consumo de energia elétrica e equipamentos eletro-mecânicos.

Para SCHULZ (1994), o floclador com leito de pedregulho esquematizado na FIGURA 3.12 é um tipo eficiente de floclador hidráulico, que segundo o autor tem sido utilizado com sucesso em ETAs com pequena à média capacidade de tratamento.

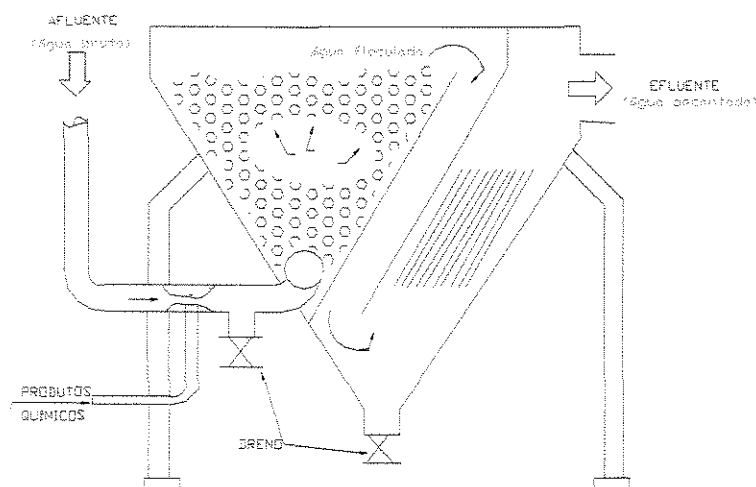


FIGURA 3.12 - Floclador de fluxo ascendente com leito de pedregulho e decantador de alta taxa em ETA pré-fabricada (Brasil)
FONTE: adaptado de SCHULZ, 1994

Segundo o pesquisador, o uso de sistemas de floculação em leito de pedregulho, manifesta as seguintes vantagens:

- As condições para a formação de flocos são próximas das ideais (gradiente ótimo, inexistência de zonas mortas ou curto-circuitos nas unidades) devido ao caminho tortuoso e grande oportunidade de contatos entre partículas e flocos pré-formados, retidos nos vazios estabelecidos pelo meio;
- Possibilidade de variação gradual e contínua nos valores de gradiente de velocidade impostos ao processo pela mudança na seção transversal do reator e/ou pela alteração do tamanho dos grãos constituintes do meio; e,
- O período necessário para a floculação pode ser consideravelmente reduzido devido à inexistência de zonas mortas e possibilidade de curto-circuitos.

Com o objetivo de melhorar o desempenho e aplicabilidade desse tipo de sistema de floculação às instalações de grande porte, quando a retirada de funcionamento dos reatores para operações de lavagem seriam indesejáveis, SCHULZ (1994) desenvolveu e operou um sistema provido de material granular flutuante, constituído de um único estágio (fluxo descendente) ou duplo estágio (fluxo descendente em série com outro reator de fluxo ascendente), de forma que as operações de limpeza fossem facilitadas, dando maior flexibilidade operacional à instalação sem prejuízo à eficiência do processo.

Sua instalação pode ser visualizada na FIGURA 3.13, onde no primeiro estágio de fluxo descendente (após vários testes com diferentes configurações), foi proposta a seguinte configuração, considerada como ideal:

- material do meio granular: esferas cerâmicas com poros preenchidos com ar (tipo argila expandida);

- secção transversal crescente na forma de cunha com parede inclinada a 30° com a vertical;
- três camadas com espessura idêntica (0,45m) compostas por esferas cerâmicas, estratificadas com a seguinte configuração: no topo esferas com diâmetro igual a $\frac{3}{8}$ " (9,5mm), uma camada intermediária de esferas com $\frac{1}{2}$ " (12,7mm) e uma terceira e na base uma camada de esferas com diâmetro igual a $\frac{3}{4}$ " (19mm).
- espessura total do leito: 1,38m; e,
- período de floculação: 2,7min (leito limpo) e 1,5min (após 100h de operação)

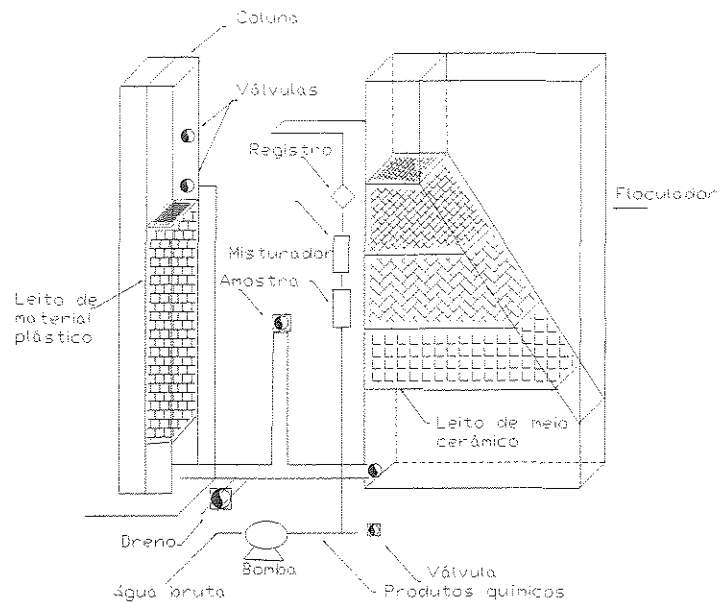


FIGURA 3.13 - Flocoador com leito flutuante estratificado em cunha
 FONTE: adaptado de SCHULZ (1994)

Na FIGURA 3.13 pode-se visualizar a coluna do leito de material plástico (segundo estágio) do reator de fluxo ascendente constituído de secção transversal constante e meio granular em material plástico, com espessura de 1,22m.

SCHULZ (1994) também conduziu testes com traçador, e as curvas da FIGURA 3.14 representam o resultado do teste feito no sistema descrito, provando a grande influência da retenção de flocos sobre o tempo de detenção hidráulico do reator e o típico comportamento deste como reator do tipo tubular (plug-flow).

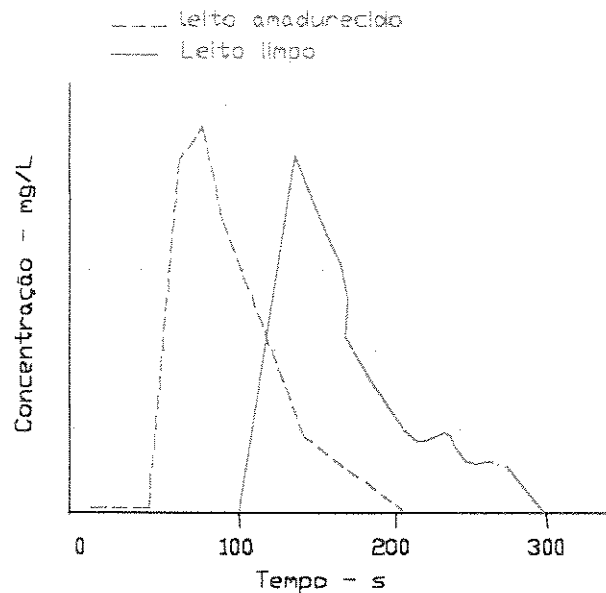


FIGURA 3.14 - Resultados do teste de variação de concentração do traçador em função do tempo para floculador com leito flutuante estratificado em cunha
FONTE: adaptado de SCHULZ (1994)

Os resultados do trabalho de SCHULZ (1994) demonstraram a grande potencialidade do uso de tais sistemas como unidades de floculação acelerada, concluindo que:

- é possível a obtenção de água floculada com boas características de sedimentabilidade dos flocos (turbidez do sobrenadante ≤ 3 NTU após 20 minutos de sedimentação) para taxas de 5 a 12 gpm/sq.ft (aproximadamente, 200 a 500 m^3/m^2 .dia), com o uso de reatores de duplo estágio;

- as perdas de carga desenvolvidas e somadas em ambos reatores são baixas ($\leq 300\text{mm}$), mesmo após várias dezenas de horas de operação para as taxas estudadas;
- o período de floculação total necessário para a obtenção de bons resultados na floculação é muito inferior ao necessário nas instalações convencionais. Excelentes resultados foram obtidos com períodos entre 2 e 4 minutos;
- a necessidade do 2º estágio e mesmo da aplicação de polímero como auxiliar de floculação depende da água bruta em tratamento e do tipo de coagulante primário utilizado.

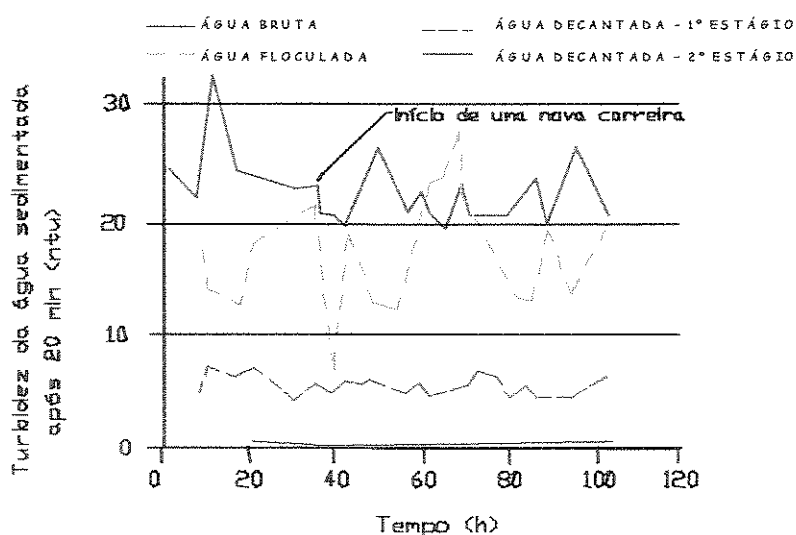


FIGURA 3.15 - Turbidez da água bruta, floculada e decantada na instalação piloto provida de floculador com leito estratificado.

FORTE: adaptado de SCHULZ (1994)

Na filtração direta ascendente há muito é notória a ocorrência da floculação em meio granular, tendo sido comprovado que a camada de pedregulho contribui

consideravelmente para o sucesso dessa tecnologia, especialmente pela possibilidade da execução de descargas de fundo durante a carreira de filtração, uma vez que grande parte das impurezas são retidas naquele meio granular, formando uma espécie de manto de lodo (DI BERNARDO, 1993).

Na América Latina, tem sido realizado esforços para acompanhar o desenvolvimento tecnológico dos países industrializados, adaptando essas modernas tecnologias às condições sócio-econômicas e ao nível industrial local (RICHTER & AZEVEDO NETTO, 1991).

WAGNER (1983), após visitar sistemas de tratamento de água existentes no Brasil, particularmente, no estado do Paraná, relatou a grande influência das soluções tecnológicas e projetos adotados no Brasil sobre os custos de construção de ETA's. Pelos dados apresentados, ETA's de pequeno a médio porte (até 500L/s) manifestam redução de custos da ordem de 85%, para os casos citados no Brasil quando comparados com EUA. As justificativas dadas pelo autor para tal diferença no custo das instalações recaem sobre o projeto. No Brasil privilegia-se o uso mínimo de válvulas, motores e equipamentos, proporcionando-se a máxima utilização do escoamento da água por gravidade e a simplificação na operação sem prejuízos na qualidade da água produzida.

Três inovações brasileiras são mencionadas por WAGNER (1983), e entre elas está um "floculador de seixos", com fluxo ascendente através de uma camada com 0.9 - 1.2m de espessura com diâmetro dos seixos variando de 8 a 25mm (como pode ser observado na FIGURA 3.16). A variação do gradiente de velocidade para promoção do processo de floculação é obtida pela alteração do tamanho dos seixos ou seção transversal do reator. Ainda segundo este autor, é um sistema de alta eficiência, cujo período de floculação é consideravelmente reduzido: 3-5min são equivalentes a 15min em ensaios de jarros (condições de laboratório) e 25min em tanques de floculação não compartimentados (ver FIGURA 3.17).

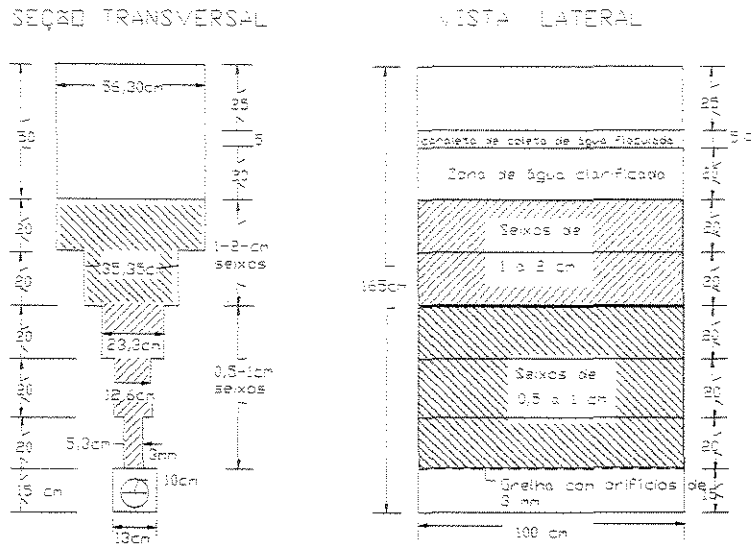


FIGURA 3.16 - Flocculador com leito de seixos
 FONTE: adaptado de WAGNER, 1983

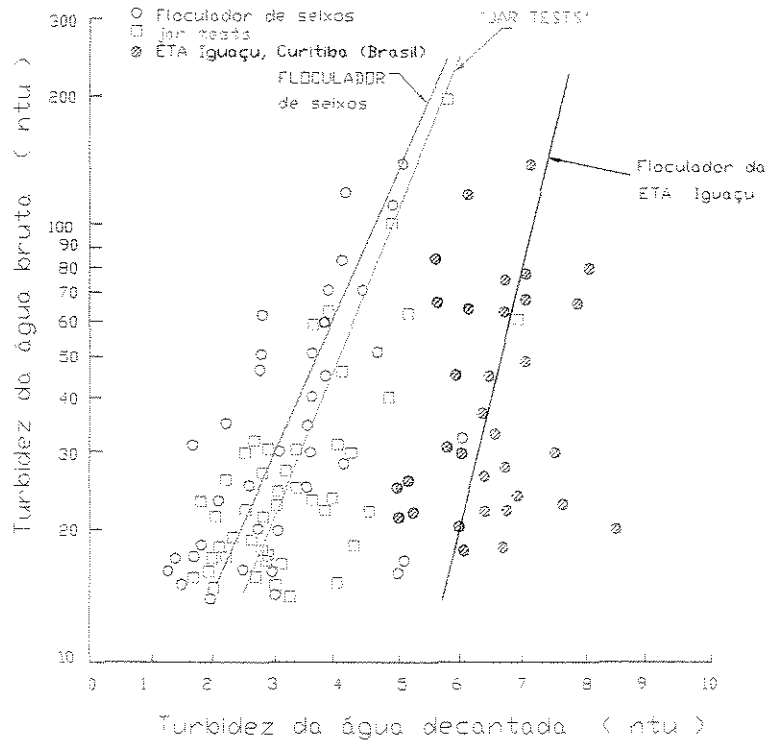


FIGURA 3.17- Resultados comparativos da floculação com seixos na estação de Iguaçu, Curitiba
 FONTE: adaptado de WAGNER, 1983

QUAYE(1991) desenvolveu uma instalação (mostrada de forma esquemática na FIGURA 3.18) para o tratamento de água com altos valores de cor verdadeira, baixa turbidez, ferro, alumínio e manganês. Infelizmente, os valores dos parâmetros citados da qualidade da água bruta afluyente à instalação não foram fornecidos, porém o autor destaca o bom desempenho da instalação, produzindo água tratada com valores de turbidez inferiores a 0,21 FTU. A instalação foi operada para remoção de alumínio e ferro em valores de pH variando entre 5 e 6 (no floculador clarificador por contato) e remoção de manganês na faixa de pH entre 9 e 9,5 (no filtro de camada dupla de fluxo ascendente). A inovação apresentada pelo pesquisador consistiu na adaptação de um sistema de clarificação por decantação em alta taxa para funcionamento como floculador por contato, provido de manto de lodo, cujo efluente clarificado era admitido em filtro rápido provido de camada dupla (antracito e areia), operado em taxas variando de 12,7 a 19,1 m/h.

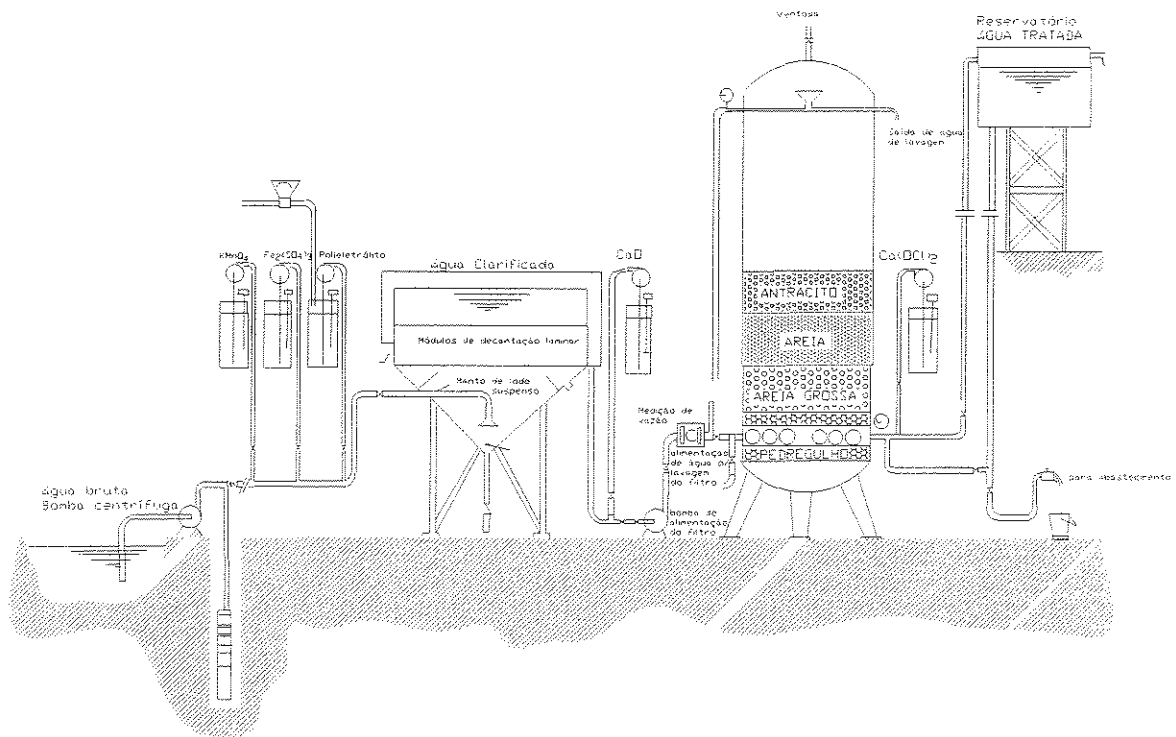


FIGURA 3.18 - Esquema de um sistema de flocação-filtração por contato
 FONTE: adaptado de QUAYE, 1991

A principal vantagem potencial da filtração direta é a redução do custo de implantação das instalações de tratamento como resultado da eliminação de tanques de sedimentação¹⁰ e eliminação ou significativa redução dos tanques de floculação. Outros benefícios incluem a redução da dosagem de produtos químicos, resultando em decréscimo na produção de lodo e menor manutenção (NGO & VIGNESWARAN, 1995).

MACKOUL (1993), ressalta que a floculação/filtração por contato é um processo de tratamento que foi desenvolvido para o tratar águas de abastecimento com níveis de cor e turbidez baixos a moderados.

Apesar de suas vantagens, existem problemas operacionais que, dependendo do tipo de água bruta afluyente à instalação e produtos químicos adicionados na etapa de coagulação, podem levar ao colapso do funcionamento da unidade, provocado pelo acúmulo de impurezas e necessidade de limpezas freqüentes. Tais problemas podem ser resolvidos ou minimizados pela adoção de técnicas de coagulação adequadas¹¹, uso de meio poroso de granulometria compatível com a água bruta afluyente e utilização de dispositivos que facilitem a operação de descargas de fundo intermediárias e lavagem em contra-corrente com o uso de ar.

Acredita-se que o desempenho favorável dos reatores de floculação em meio poroso deva-se a ocorrência de fluxo laminar gerado nos vazios entre o meio granular, aliado à progressiva retenção de coágulos ou flocos em formação que proporcionam melhores oportunidades de choques entre as partículas ou substâncias em processo de floculação (compostos floculentos, aglomerados de partículas). O inconveniente de freqüentes necessidades de limpezas deve-se ao reduzido volume de vazios

¹⁰ As unidades de sedimentação representam aproximadamente $\frac{1}{3}$ do custo total de implantação de uma ETA (FADEL & BAUMANN, 1990).

¹¹ A escolha do coagulante a ser utilizado em uma ETA é função não somente dos aspectos puramente econômicos, mas também do seu comportamento químico em meio aquoso e das características da água bruta (FERREIRA & LAGE, 1996).

proporcionado pelo meio granular e conseqüente aumento excessivo da perda de carga imposta ao escoamento.

Tais inconvenientes poderiam ser atenuados, ou mesmo eliminados, substituindo-se o meio poroso constituído de pedregulhos por material com porosidade mais elevada que permitisse a geração de manto de lodo (flocos), geração de escoamento laminar e facilidade de liberação do lodo retido para recuperação da carga hidráulica disponível.

3.5 ESCOAMENTO D'ÁGUA ATRAVÉS DE MEIOS POROSOS

Para um fluido incompressível, como a água¹², a percolação d'água nos meios porosos dá-se por efeito do potencial gravitacional, explica VARGAS (1977). A energia potencial total que faz mover o fluido através do meio poroso é constituída pela soma dos potenciais de gravidade, de pressão, eletrostático, térmico e das forças de natureza físico-química¹³ que atuam diretamente sobre a partícula.

No caso de meios granulares, como dito anteriormente, água se movimenta livremente nos vazios entre partículas, porém, a presença de ar nos vazios se constitui em obstáculo para a livre circulação da água, afirma SERAPHIM (1995). Essa percolação da água através dos vazios formados entre os grãos de uma estrutura porosa pode ser analisada sob a forma da água seguindo um caminho formado por canais interligados, funcionando como pequenos tubos capilares¹⁴ (SERAPHIM,1995).

¹² sem intervir variações de temperatura, nem variações de concentração iônica e não considerando os campos de força moleculares (que aparecem, por exemplo, na ascensão capilar) VARGAS, 1977.

¹³ LOW, P.F. *Movement and Equilibrium of Water in Soil Systems as Affected by Soil Water Forces*. Highw.Res.Board.Spedc.Rept. 40, Washington, 1958.

¹⁴ A ocorrência do alto grau de saturação em solo situado acima do nível d'água do lençol freático é explicada pelo fenômeno da capilaridade, que ocorre normalmente nos solos (SERAPHIM,1995).

VARGAS (1977), assim como BUENO & VILAR (1984) define a permeabilidade como sendo uma propriedade que expressa a maior ou menor facilidade que as moléculas de água encontram para fluir por entre as partículas sólidas. Além do tamanho dos grãos, outros fatores interferem na permeabilidade, e dentre eles estão:

- a) esfericidade e arredondamento dos grãos;
- b) índice de vazios;
- c) condição do regime de fluxo;
- d) propriedades do fluido;
- e) estrutura e estratificação do meio granular; e,
- f) grau de saturação.

No caso dos solos em geral, VARGAS (1977) e CAVICCHIA (1989) concordam em dizer que mesmo que se admitisse que os canalículos constituintes dos poros do meio granular pudessem ser assimilados a tubos, sendo eles tão apertados, irregulares e sinuosos, seria difícil uma análise do escoamento individual de cada canal de fluxo.

Os canais formados pelos seus vazios além de serem finos e tortuosos, de seção transversal muito variável e de grande complexidade em suas interconexões e subdivisões, também apresentam rugosidade heterogênea ao longo de seu comprimento, de forma que uma análise do fluxo através dos poros individuais não seria possível. Pode-se, contudo, utilizar para o cálculo da perda de carga em meios granulares a equação de ERGUN (equação 3.2) para regimes de escoamento de transição ou mesmo turbulento:

$$\frac{H_f}{L_f} = \frac{150 \cdot \mu \cdot (1 - \varepsilon)^2 \cdot V_a}{g \cdot \rho_a \cdot \varepsilon^3} \left[\frac{S_{ep}}{6} \right] + 1.75 \frac{(1 - \varepsilon) \cdot V_a^2}{\varepsilon^3 \cdot g} \left[\frac{S_{ep}}{6} \right] \quad (3.2)$$

em que: H_f = perda de carga (m)

L_f = espessura do meio filtrante (m)

μ = viscosidade absoluta da água (N.s/m²)

g = aceleração da gravidade (m/s²)

V_a = velocidade ascensional (m/s)

S_{ep} = superfície específica (m²/m³)

ρ_a = massa específica da água (kg/m³)

ε = porosidade do meio filtrante

3.6 ESCOAMENTO EM TUBULAÇÕES CIRCULARES

Sob o ponto de vista teórico, examinando-se as condições de entrada das tubulações, verifica-se que o regime normal de escoamento somente é atingido após um certo percurso inicial. Ao fim desse trecho de transição é que se pode encontrar uma distribuição de velocidades capaz de caracterizar um regime de escoamento (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1991).

3.6.1 Classificação dos regimes de escoamento

Sejam:

V = velocidade média do escoamento; (m/s)

L = dimensão característica do conduto (perímetro ou diâmetro, etc); (m)

ρ = massa específica do fluido; (kg/m³)

μ = viscosidade dinâmica; (N.s/m²)

ν = viscosidade cinemática; (m²/s)

No estudo da Análise Dimensional, define-se o "Número de Reynolds" como sendo o parâmetro adimensional expresso na equação 3.3 em função da viscosidade dinâmica (μ):

$$R_e = \frac{\rho V L}{\mu} \quad (3.3)$$

Em tubo (conduto forçado de seção circular) a dimensão característica L é o diâmetro do tubo ($L = D$), assim, o Número de Reynolds pode ser expresso pela equação 3.4:

$$R_e = \frac{D V}{\nu} \quad (3.4)$$

Experimentos em hidráulica mostraram que em tubulações:

a) se $R_e \leq 2000$

o regime é laminar, isto é, as partículas percorrem trajetórias paralelas (FIGURA 3.19a) e o escoamento tem sempre condições de amortecer quaisquer perturbações externas, lembra COIADO (1995), de modo que uma vez cessada a perturbação o filete volta a ter a sua individualidade.

b) se $2000 < R_e < 4000$

o escoamento é instável ou de transição.

c) se $R_e \geq 4000$

o regime é turbulento¹⁵, isto é, as trajetórias das partículas são irregulares (FIGURA 3.19b)

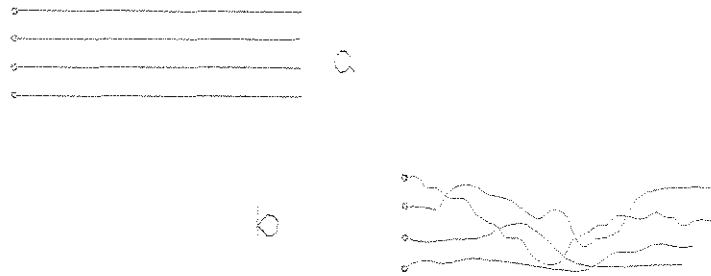


FIGURA 3.19 - Esquematização das linhas de fluxo em função do regime de escoamento
(a- regime laminar; b- regime turbulento)
FONTE: adaptado de BASTOS, 1983

Fica evidente que quando o fluxo é laminar cada partícula desloca-se ao longo de um caminho definido e que não intercepta ou cruza o caminho de outra partícula. Já no fluxo turbulento, os caminhos das partículas são irregulares e imprevisíveis, cruzando-se aleatoriamente (CAVICCHIA, 1989).

3.6.2 Escoamento em Regime Laminar

AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1991) explicam que quando um fluido escoar sobre uma superfície sólida, observa-se a existência de uma camada de fluido contígua, onde ocorre variação de velocidade do fluido com a aproximação da

¹⁵

Em experimentos de laboratório, sob condições de controle rigorosas, consegue-se escoamentos em regime laminar com valores de R_e até 40.000 (COIADO, 1995).

superfície. Essa camada foi concebida por Ludwig Prandtl (1904) e notada pela primeira vez por Hele-Shaw, tendo sido designada por *camada-limite*.

A FIGURA 3.20 mostra o escoamento de um fluido ao longo de uma chapa. A partir da aresta inicial da chapa, constitui-se uma camada de escoamento laminar (camada-limite) que vai aumentando em espessura até um ponto crítico. À medida que aumenta a espessura da camada-limite, decresce a sua estabilidade, até um ponto T , de transição, onde se rompe o seu equilíbrio (AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1991).

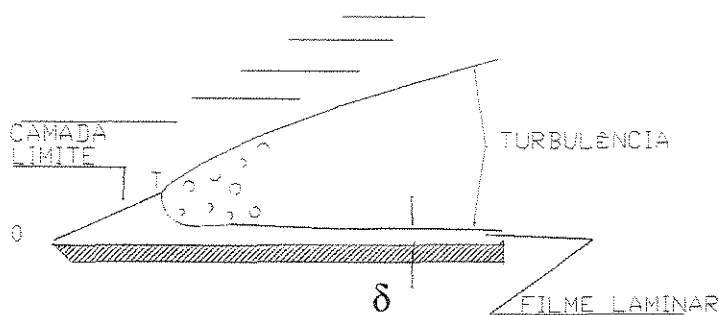


FIGURA 3.20 - Esquemática da camada limite
 FONTE: adaptado de AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1991

A partir desse ponto crítico, a espessura da camada laminar se reduz a um valor δ , que se mantém aproximadamente constante (subcamada laminar ou filme laminar). No ponto T , origina-se portanto, uma camada turbulenta, cuja espessura vai aumentando rapidamente.

AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1991) descrevem que à medida que as moléculas forem escoando ao longo do tubo, os filetes que ocupam a parte central vão tendo o seu movimento acelerado, ao passo que as partículas mais próximas das paredes ficam retardadas. Como se trata de regime laminar, o perfil normal de velocidades é parabólico.

No caso das tubulações, relatam AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1991), também prevalecem condições análogas à descrita. Se o escoamento na tubulação for laminar, o fluido percorrerá uma distância relativamente grande, até que o perfil normal das velocidades seja atingido, isto porque é necessário que a camada – limite (mostrada na FIGURA 3.20 de 0 a T) continue a se expandir até atingir as vizinhanças do eixo do tubo.

Ainda segundo AZEVEDO NETTO & ALVAREZ (1991), tratando-se de escoamento turbulento, o ponto crítico T ocorre a uma pequena distância da entrada; a partir desse ponto, a espessura da camada turbulenta aumenta tão rapidamente que o perfil normal de velocidade é obtido a uma distância relativamente curta. Nota-se que no escoamento de fluidos, nas canalizações, existe sempre uma camada laminar, mesmo no caso de regimes turbulentos e a espessura dessa camada depende do número de Reynolds, sendo mais fina para os valores mais elevados de R_e .

Conforme mostrado na FIGURA 3.21, considerando-se uma entrada de tubulação onde dar-se-á o início de um escoamento, todas as moléculas do líquido entrarão na tubulação e submeter-se-ão a um escoamento com a mesma velocidade, exceção feita para uma camada muito pequena junto às paredes da tubulação (camada limite).

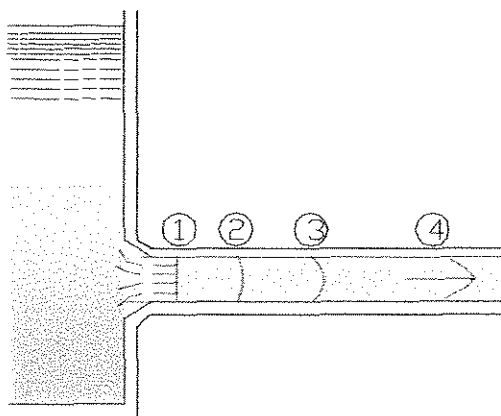


FIGURA 3.21 - Formação do perfil parabólico de velocidades
FONTE: adaptado de AZEVEDO NETTO & ALVAREZ, 1991

Na FIGURA 3.21, verifica-se que antes do estabelecimento do perfil de velocidades parabólico (seção ④), característico do escoamento laminar, os perfis de velocidade assumem configurações distintas intermediárias (seções ①, ② e ③) até que a camada δ ocupe uma espessura correspondente ao raio da tubulação, quando o perfil de velocidades parabólico passa a ser completamente desenvolvido.

A FIGURA 3.22 permite uma melhor visualização do descrito e representa o comprimento gasto pelo escoamento para o desenvolvimento completo do perfil parabólico, conhecido como trecho de transição (L_t).

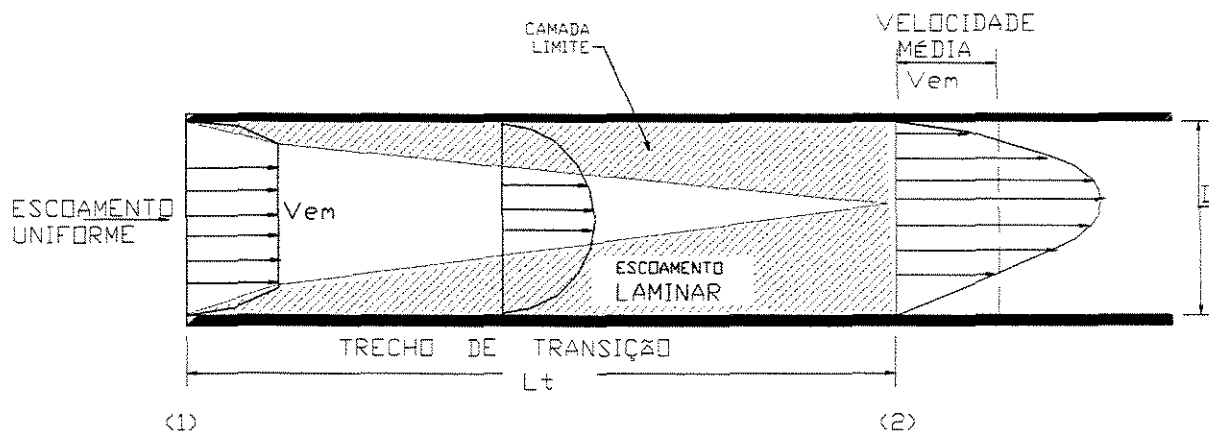


FIGURA 3.22 - Representação esquemática do trecho de transição em duto circular
Fonte: adaptado de DI BERNARDO, 1992

É interessante notar que durante o comprimento de transição e, mesmo após o estabelecimento do perfil de velocidades parabólico, as moléculas de água atravessam determinada seção transversal num dado instante não serão as mesmas presentes numa seção imediatamente a jusante. Tal fato pode ser compreendido quando atenta-se às diferentes velocidades com que cada linha de fluxo manifesta seu deslocamento no interior da tubulação.

Na realidade, as linhas de fluxo que contemplam a mesma velocidade são circulares e concêntricas no eixo da tubulação, como pode ser observado na FIGURA 3.23:

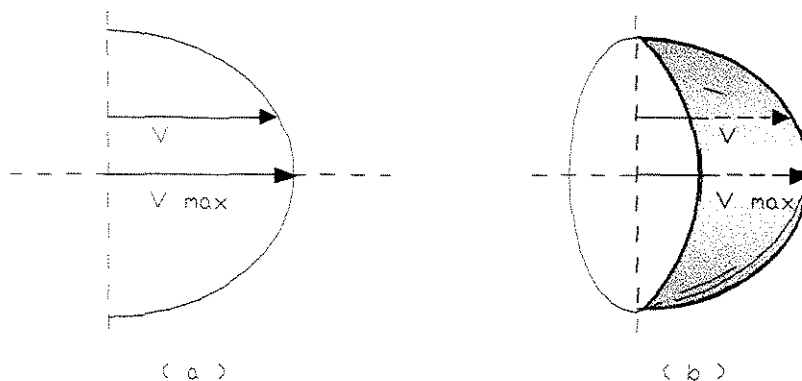


FIGURA 3.23 - a) Distribuição parabólica de velocidades; b) parabolóide de revolução, mostrando a distribuição de velocidades através da seção transversal
FONTE: LEONARDS, 1962

Como as velocidades são decrescentes no sentido radial em direção à parede da tubulação, existirá a tendência das moléculas do fluido que iniciaram seu escoamento próximas ao eixo da tubulação de alcançarem ou mesmo ultrapassarem moléculas de jusante que encontram-se em deslocamento submetidas a menor velocidade por estarem mais próximas da parede do tubo.

Analisando-se agora o escoamento de água coagulada por uma tubulação circular na situação descrita, certamente haverá grande oportunidade de ocorrência de encontros entre os coágulos submetidos às várias velocidades nas diferentes linhas de fluxo impostas ao escoamento, podendo-se obter boas condições para a manifestação do processo de floculação, objeto do presente estudo.

4 MATERIAIS E MÉTODOS

A água em estudo foi a oriunda da represa das Cruzes e a do Ribeirão das Anhumas, mananciais de abastecimento da região de Araraquara, que atendem à Estação de Tratamento de Água de Araraquara – SP.

O trabalho experimental foi realizado utilizando uma instalação piloto montada na ETA – Fonte, junto ao canal de veiculação de água coagulada até os conjuntos de floculação existentes. Esta localização da instalação de pesquisa proporcionou algumas vantagens, tais como: facilidade de acesso ao local; facilidade na coleta, transporte e análise das amostras (devido à proximidade do laboratório) e proteção oferecida por não estar localizada em local de passagem. A FIGURA 4.1 fornece uma visualização, em planta, do local utilizado para o desenvolvimento da investigação experimental.

A utilização de água coagulada em uma ETA convencional permitiu a obtenção de resultados comparativos entre as várias configurações e condições operacionais investigadas nos reatores de floculação estáticos montados em paralelo, porém, impossibilitou o desenvolvimento de estudo de eventuais melhorias de desempenho em condições de coagulação diversas das utilizadas na ETA em questão.

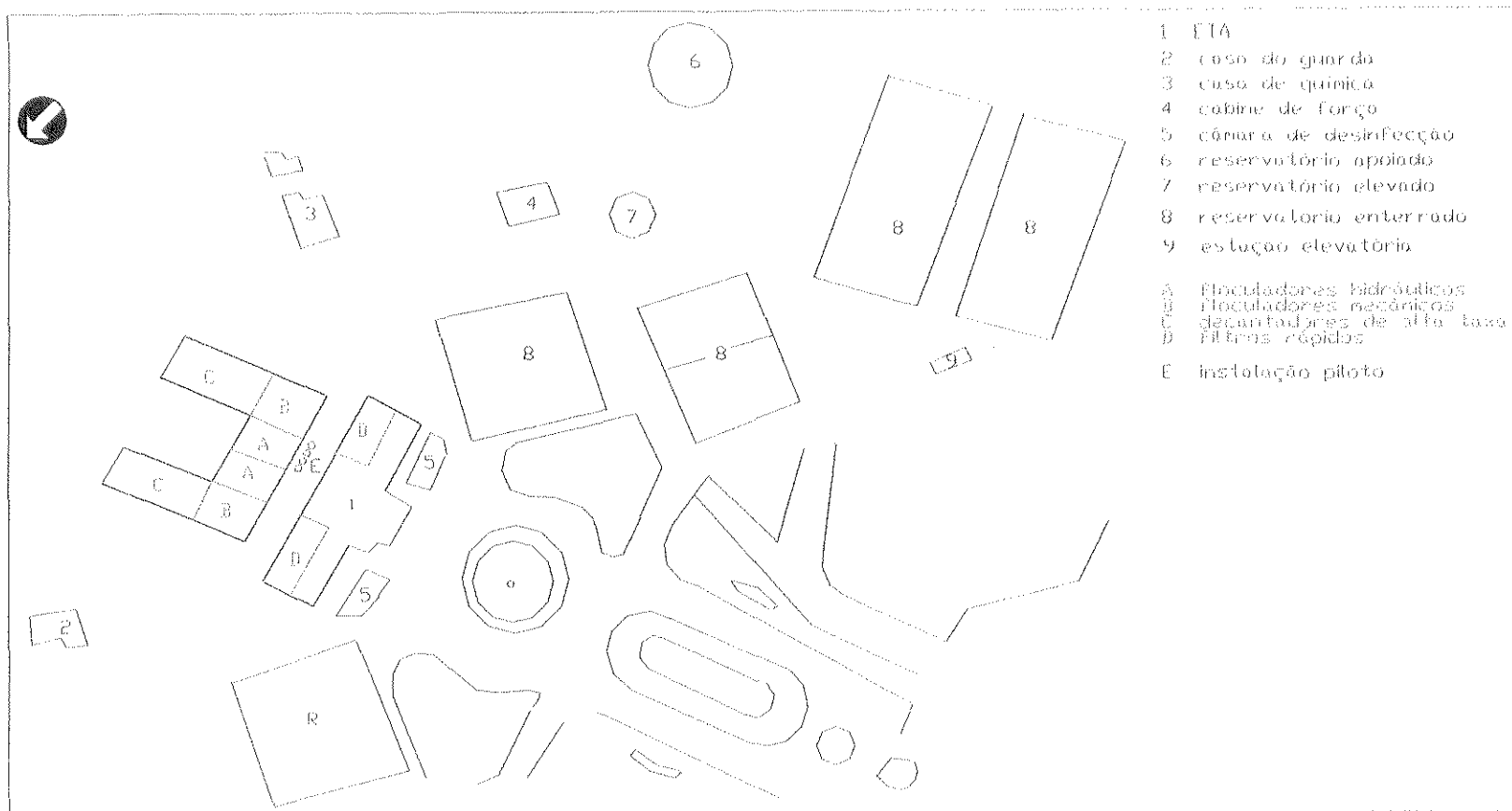


FIGURA 4.1 - Planta esquemática da Estação de Tratamento de Água – Sistema Fonte e localização da instalação piloto (sem escala)

No presente trabalho, propôs-se a substituição do pedregulho (ver FIGURA 3.11) por feixes de tubulações de comprimentos predeterminados, instalados em série, de forma a garantir o desenvolvimento do perfil de escoamento laminar, no caso, parabólico, e zonas de concentração de lodo, submetidas ao escoamento turbulento, instaladas de forma intercalada com os feixes em série.

Um reator operado nessas condições, em regime de fluxo contínuo, escoamento vertical e ascendente alia as vantagens de manifestar no mesmo, regiões onde o escoamento passa de turbulento a laminar e seu provável benefício ao processo de floculação devido às diferentes velocidades em cada linha de fluxo (ver FIGURA 4.2), radialmente gerada pelo perfil de escoamento parabólico, que garante a oportunidade de choques para formação das partículas floculentas. Há um volume relativamente grande de vazios para armazenamento dos flocos formados, impossibilitados de serem arrastados pela baixa velocidade de escoamento a que é submetido o reator, em regiões intermediárias a dois feixes sucessivos de tubulações instaladas em série.

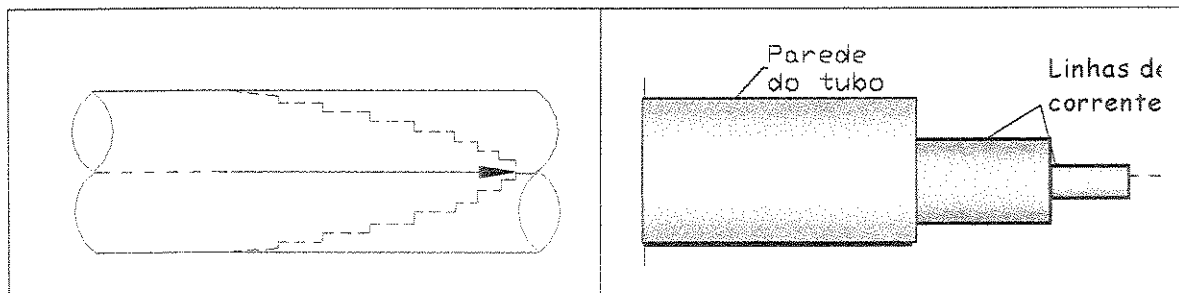


FIGURA 4.2 - Esquemática das linhas de corrente de um perfil parabólico estabelecido pelo escoamento laminar nas tubulações circulares dos feixes.

Segundo LANGHAAR (citado em Di Bernardo, 1991), o comprimento de transição necessário para o desenvolvimento da camada limite e formação do

perfil de escoamento laminar em tubulações circulares pode ser calculado conforme a equação 4.1:

$$L_t = 0,06.V_e.D/\nu \quad (4.1)$$

onde:

L_t é o comprimento relativo de transição (L/D);

L é o comprimento de transição (m);

D é o diâmetro da tubulação (m);

V_e é a velocidade de escoamento (m/s); e,

ν é a viscosidade cinemática do fluido (m^2/s).

Desta forma, conforme é demonstrado na TABELA 4.1, pode-se empregar feixes de tubulações com diâmetros diversos, e submetê-los à taxas de escoamento superficial elevadas (no caso do presente trabalho, até 180 m/dia), que mesmo nessas condições, é possível a concepção dos reatores propostos com períodos de floculação inferiores aos comumente empregados nos sistemas clássicos de floculação (menores que 30 minutos).

4.1 DESCRIÇÃO DA INSTALAÇÃO PILOTO

A instalação piloto foi composta dos seguintes elementos:

- (01) Bomba submersível para recalque de água coagulada na ETA;
- (01) Caixa de nível constante para distribuição e controle da vazão afluyente de água coagulada aos reatores de floculação;

- (04) Sistemas independentes de tubulações, válvulas e acessórios para veiculação de água coagulada até a entrada de cada um dos reatores de floculação, ou devolução da água para a entrada dos floculadores da ETA;
- (04) Reatores de floculação hidráulica em fluxo ascendente providos de enchimentos distintos, descargas de fundo, saídas de água floculada com retorno à ETA e dispositivos para coleta de amostras de água floculada e tomadas para piezômetros;
- (01) Quadro de piezômetros para medição da perda de carga total em cada um dos reatores de floculação.

4.1.1 Composição interna dos reatores de floculação

A instalação piloto construída foi composta de quatro reatores de floculação operados em fluxo ascendente, cada um montado em tubulação de PVC branco soldável (normalmente utilizadas para instalações prediais de esgotos sanitários), com 150mm diâmetro, comprimento útil total de 1,80 m e enchimentos distintos, sendo dois reatores (R_1 e R_2), constituídos internamente por feixes de tubulações em série com diâmetros, comprimentos e espaçamentos distintos e cujas respectivas seções transversais estão detalhadas nas FIGURAS 4.3, 4.4 e 4.5 e, outros dois reatores (R_3 e R_4), constituídos de camadas sobrepostas de pedregulhos com granulometria decrescente no sentido de fluxo (ascendente), conforme apresentado na FIGURA 4.3.

Os dados representativos das características adotadas para preenchimento dos reatores e parâmetros operacionais adotados são apresentados na TABELA 4.1 e TABELA 4.2, respectivamente, para os reatores (R_1 e R_2) e (R_3 e R_4).

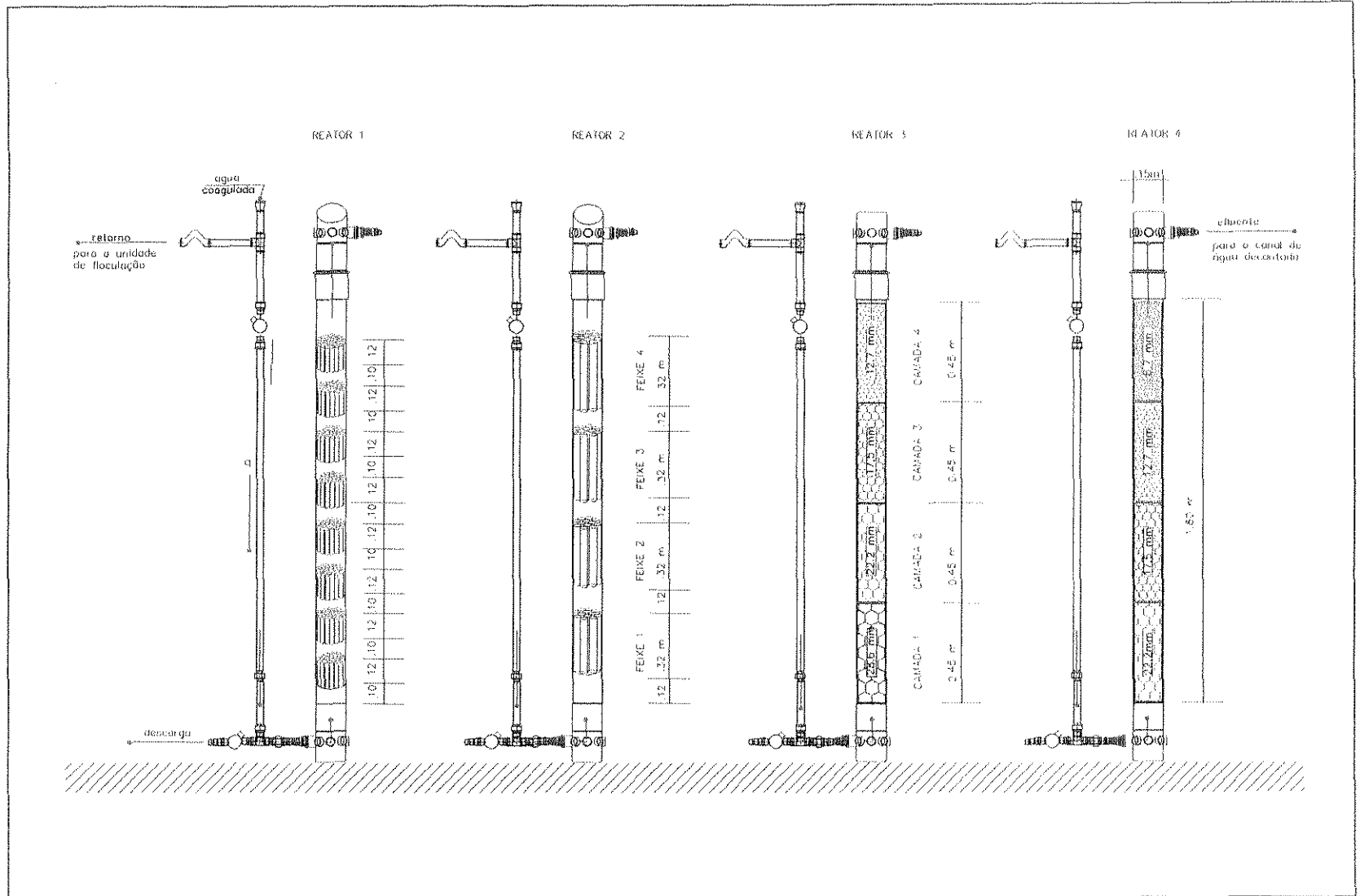


FIGURA 4.3 - Representação esquemática dos quatro reatores piloto de floculação hidráulica utilizados na investigação experimental.

TABELA 4.1 - Características construtivas e operacionais dos reatores de floculação hidráulica preenchidos por feixes de tubulações: R₁ e R₂

*

D _{ex} Dos tubos dos feixes (mm)	D _{in} dos tubos dos feixes (mm)	Tubos por seção (un)	Área útil por seção (mm ²)	Comprimentos de Transição ** (cm)					Comp. adotado para os feixes (cm)	Nº de feixes por seção (un)	Volume útil por reator (m ³)	Vazão (L/h) e Período de Floculação (min) ***					
				Taxas de Esc. Superficial (m/dia)								Taxas de Esc. Sup. (m/dia)					
				60	90	120	150	180				60	90	120	150	180	
R 1	20	17	40	9079,2	2,5	3,8	5,1	6,4	7,6	12	8	0,0235	44	66	88	110	132
													32,0	21,4	16,0	12,8	10,7
R 2	32	27,8	14	8497,8	7,3	10,9	14,5	18,1	21,7	32	4	0,0194	44	66	88	110	132
													26,5	17,6	13,2	10,6	8,8

* Diâmetro do reator de floculação: D = 150mm

** $U_{25^{\circ}\text{C}} = 0,0000009235 \text{ m}^2/\text{s}$

*** Reatores com comprimento útil de 1,80m

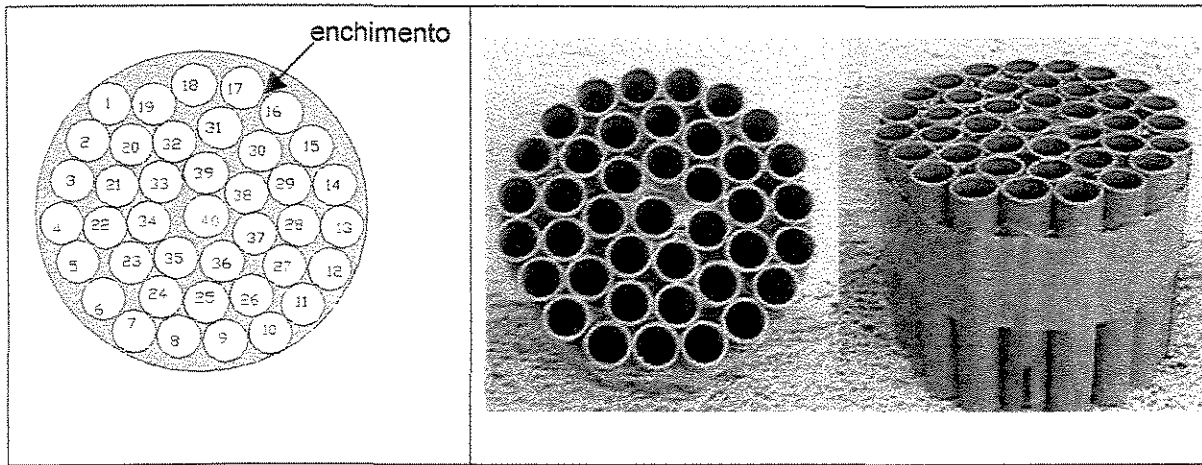


FIGURA 4.4 - Representação esquemática da seção transversal dos feixes de tubulações de diâmetro igual a 20mm utilizadas para preenchimento do reator R_1 (a) e fotografias de um deles (b).

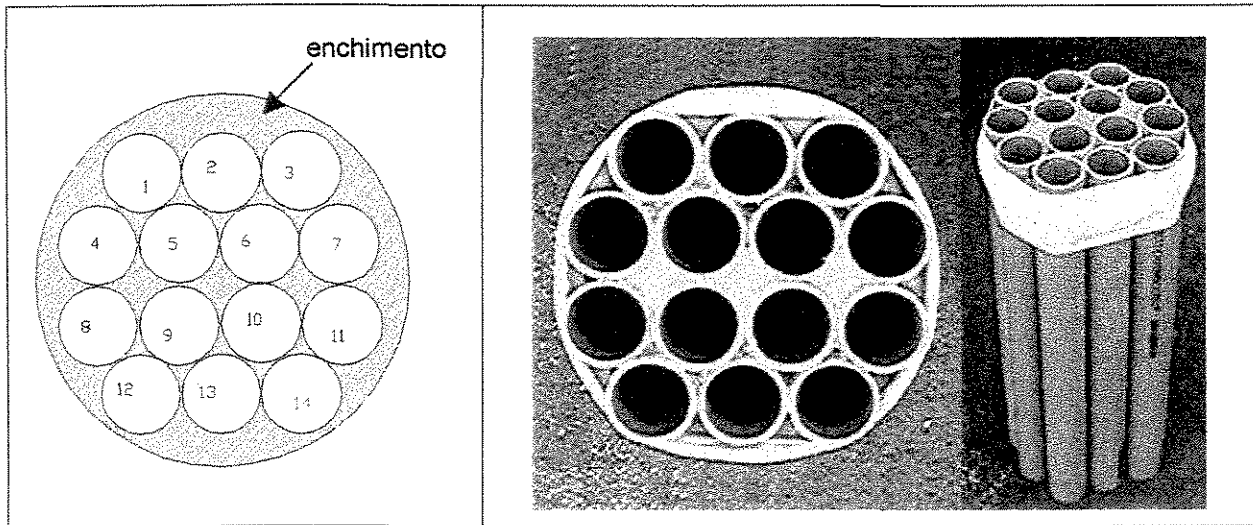


FIGURA 4.5 - Representação esquemática da seção transversal dos feixes de tubulações de diâmetro igual a 32mm utilizadas para preenchimento do reator R_2 (b) e fotografias de um deles (a).

Os reatores R_3 e R_4 foram preenchidos unicamente com pedregulho classificado por peneiramento, após eliminação de lascas, grãos quebrados e de formato laminar.

A TABELA 4.3 apresenta a composição das camadas de pedregulho utilizadas nos reatores R₃ e R₄. Cada um foi composto de quatro camadas com espessura de 45 cm, com grãos de diâmetro decrescente no sentido ascendente. As camadas foram preparadas com três parcelas de grãos (faixa granulométrica), cada uma com diâmetros intermediários a duas peneiras consecutivas. Foram utilizadas peneiras com as seguintes aberturas para classificação do material: 4,7; 6,4; 9,5; 12,7; 19,1; 25,4; 31,7 e 38,1 mm. O reator R₃, contemplou a utilização de faixa de grãos maiores, variando entre 6,4 e 38,1 mm, enquanto o reator R₄, a utilização de faixa de grãos menores, entre 4,7 e 31,7 mm. Para garantir uma variação gradual entre o tamanho dos grãos de cada uma das camadas, a parcela de grãos compreendidos entre as duas menores peneiras foi substituída pela imediatamente superior à das maiores, na camada seguinte (ver TABELA 4.3).

TABELA 4.3 Características do meio granular usado para preenchimento dos reatores R₃ e R₄.

COMPOSIÇÃO DAS CAMADAS	REATOR R ₃			REATOR R ₄		
	ESPESSURA DA CAMADA (cm)	GRANULOMETRIA (mm)		ESPESSURA DA CAMADA (cm)	GRANULOMETRIA (mm)	
		Maior grão	Menor grão		Maior grão	Menor grão
Camada 1	45	19,1	38,1	45	12,7	31,7
Camada 2	45	12,7	31,7	45	9,5	25,4
Camada 3	45	9,5	25,4	45	6,4	19,1
Camada 4	45	6,4	19,1	45	4,8	12,7

4.1.2 Corpo e Conexões dos Reatores de Floculação

O corpo principal de cada reator foi composto por um tubo de PVC, cuja parte superior era dotada de uma caixa sifonada (topo do reator), e outra idêntica na parte inferior (base do reator), conforme pode ser observado nas fotografias apresentadas na FIGURA 4.6. A união tubo-caixa sifonada foi feita por luvas na parte inferior (ver fotografias (c) e (d) da FIGURA 4.6) e juntas elásticas na parte superior (ver fotografias (a) e (b) da FIGURA 4.6), de forma que pudessem permitir

eventuais necessidades de inspeção. Para a fixação, aperto e vedação de cada reator em sua base (encaixe do tubo - luva - caixa sifonada), após a montagem, foi colocada uma coroa segmentada de tubo de PVC com maior diâmetro e sobre esta, uma braçadeira para garantir o aperto necessário, comprimindo anel de massa de vedação colocado entre a parede externa do tubo e o anel de PVC.

As luvas de correr que foram soldadas na caixa sifonada inferior eram providas de anel saliente interno, que foi utilizado para apoio de grelhas (apropriadas para uso em caixas hidráulicas prediais sifonadas) servindo como suporte para as camadas de pedregulho (R_3 e R_4) e garantindo condições de semelhança hidráulica e operacional para os reatores constituídos por feixes de tubulações (R_1 e R_2). A caixa sifonada inferior de cada reator foi encaixada em uma luva dupla, a qual utilizava-se de uma junta de borracha para transferência de seu peso à prancha de madeira apoiada sobre o piso constituído de pedra britada do local.

A caixa sifonada da base de cada reator foi montada de tal forma que sua saída fosse utilizada como tomada de entrada da água coagulada e como saída para descarga de fundo e limpeza dos reatores. As duas ligações foram feitas através da instalação de um "tê", acoplado às duas linhas, providas de válvulas tipo esfera para controle das manobras necessárias. Conforme pode ser visualizado na FIGURA 4.6 (d), uma das entradas da caixa foi utilizada como tomada para instalação de piezômetro, sendo que as demais foram mantidas fechadas.

Na FIGURA 4.6a e 4.6b pode-se observar o travamento entre os reatores de floculação e o ponto de tomada de amostras de água floculada, a tomada para o piezômetro e a saída do reator. As FIGURAS 4.6c e 4.6d contém fotos que mostram a válvula e tubulação de descarga de fundo e incluindo pontos de tomada dos piezômetros, braçadeira e apoio no piso.

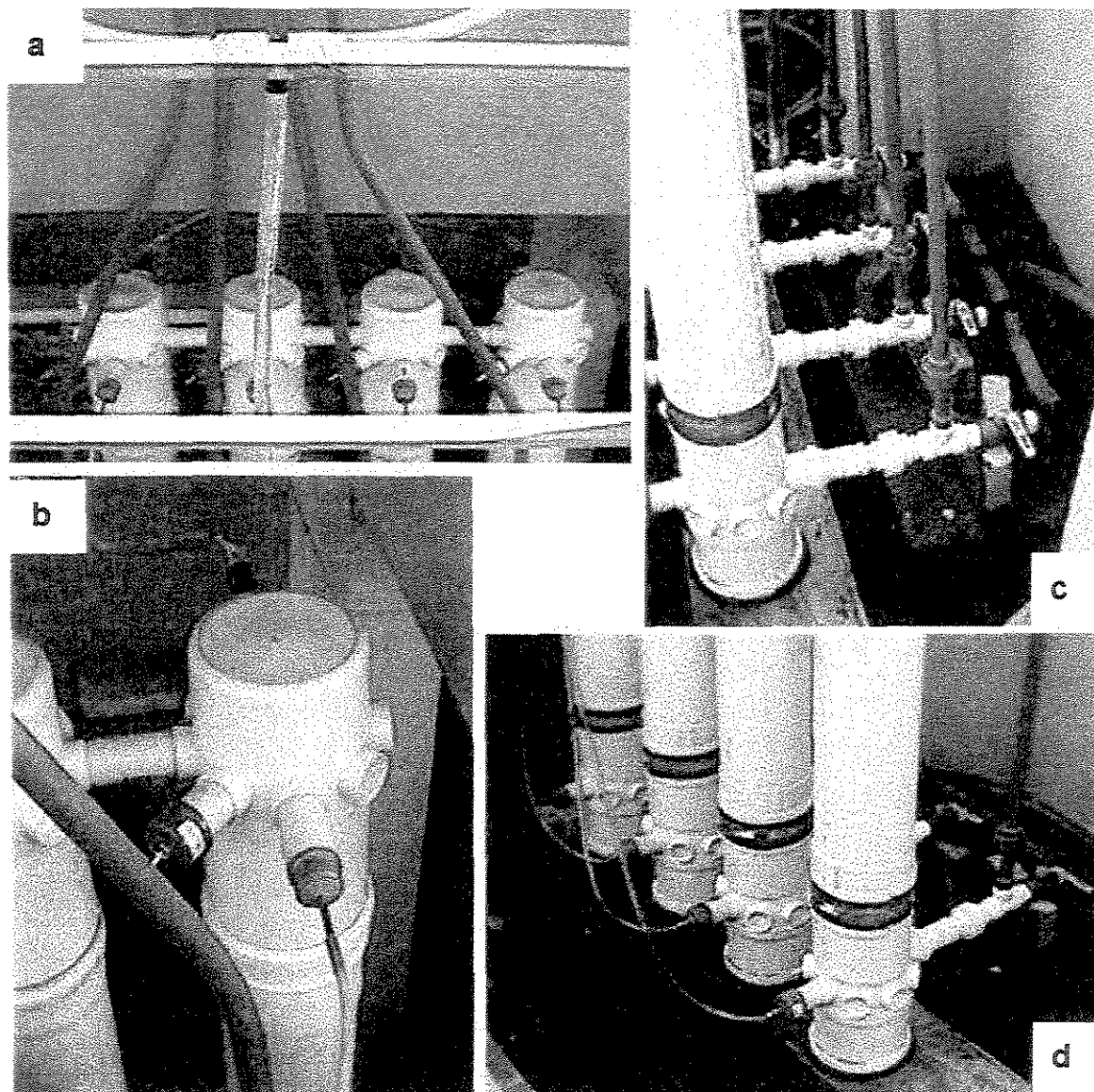


FIGURA 4.6 - Fotografias do corpo e detalhes externos dos reatores de floculação: (a) Vista geral do topo dos reatores de floculação; (b) Detalhe da caixa sifonada invertida utilizada no topo dos reatores; (c) Detalhe da caixa sifonada utilizada na parte inferior dos reatores, mostrando a tubulação vertical de acesso de água coagulada e a válvula e tubulação correspondente para descarga de fundo; e, (d) Vista geral da parte inferior dos reatores.

A caixa sifonada superior de cada reator, tendo em vista seu posicionamento invertido, fez com que sua saída, provida de sifão, funcionasse como vertedor da água floculada produzida no mesmo.

Conforme pode ser observado na foto da FIGURA 4.7, numa das entradas da caixa sifonada superior foi instalada tubulação de aço inoxidável com diâmetro de 8 mm, utilizada para tomada de amostras da água floculada. Seu posicionamento permitiu a coleta no centro do reator, em ponto distante 8 cm abaixo do vertedor de saída dos reatores. Em outra das entradas, foi executada a tomada para instalação do outro piezômetro. As demais entradas permaneceram fechadas.

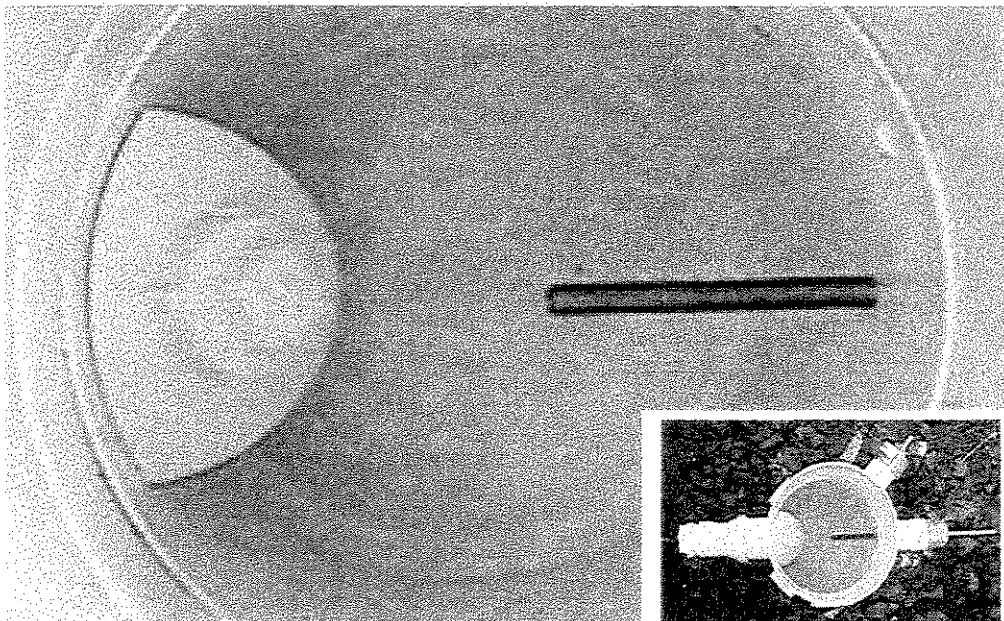


FIGURA 4.7 - Fotografia da tubulação de tomada de amostras, destacando o vertedor (sifão) de saída de água floculada e no detalhe a caixa sifonada instalada no topo dos reatores mostrando a tomada para o piezômetro superior.

A FIGURA 4.8 apresenta o esquema de montagem das principais tubulações e conexões utilizadas para construção dos reatores de floculação.

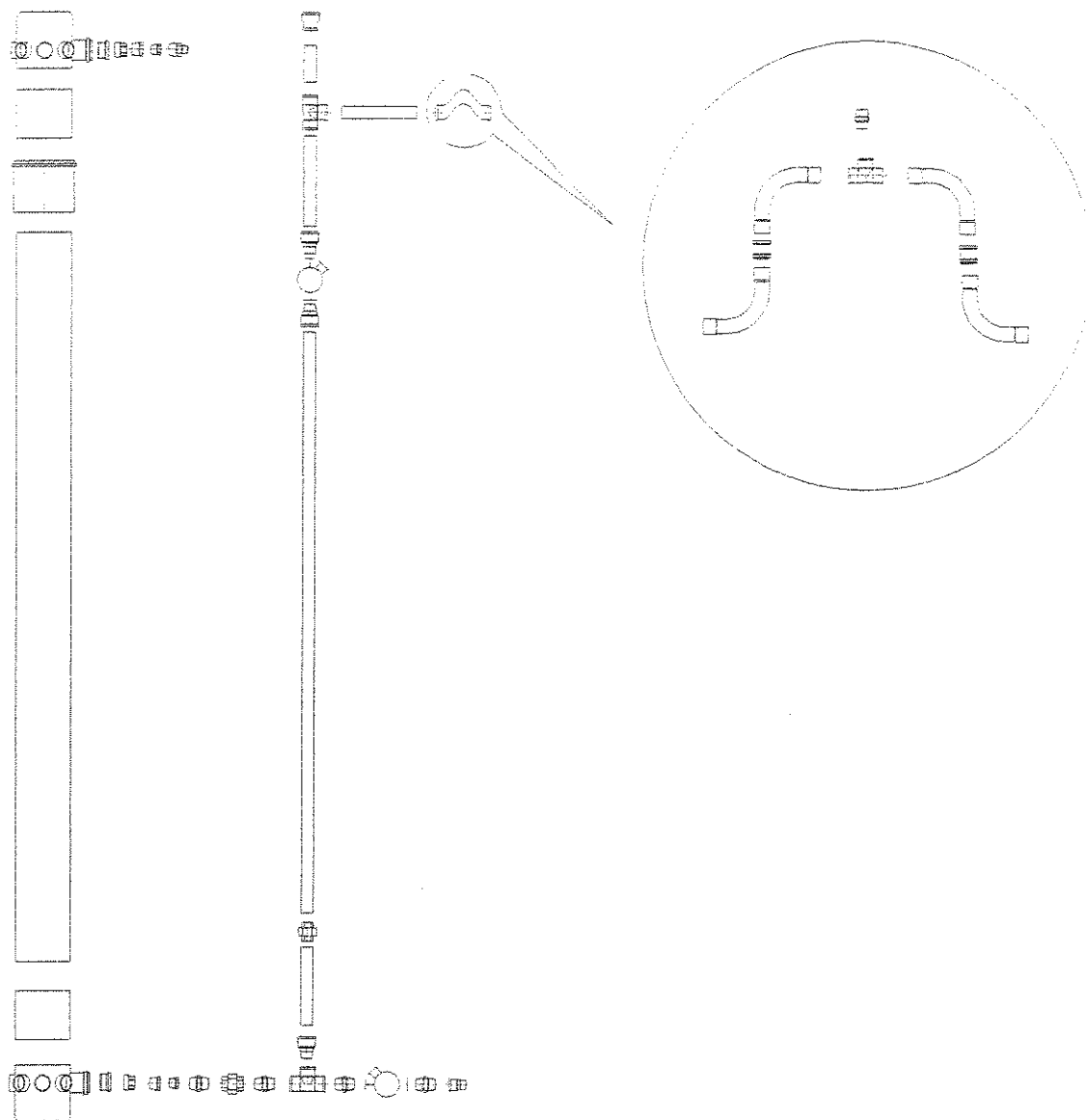


FIGURA 4.8 - Esquema da montagem dos principais componentes dos reatores.

4.2 METODOLOGIA

Em uma etapa de ensaios preliminares, cujos resultados não foram considerados para a análise comparativa de desempenho relativo entre os reatores de floculação, foram feitos os testes e adaptações necessárias para familiarização com a metodologia a ser empregada na operação, na coleta de amostras, realização de análises e leituras nos piezômetros. Nesses testes foi definido o intervalo de amostragem através de carreiras de pequena duração, cada uma com 6 horas de duração e coletas realizadas a cada 2 horas; todavia não observou-se significativa alteração para os valores de perda de carga e turbidez residual de forma que, para os ensaios seguintes, e adotou-se como intervalo entre coleta de amostras o período de 12 horas. Com essa premissa imposta, todos os demais ensaios foram planejados para ter início às 12:00 (ou 13:00) horas, com a primeira coleta sendo executada após 9 horas e, as demais, a cada intervalo de 12 horas.

4.2.1 Controle de Vazões e Taxas Aplicadas aos Reatores de Floculação

O aflente aos reatores foi proporcionado por parcela da água coagulada recalçada por bomba submersa instalada no canal de água coagulada da ETA, em posição a jusante do ressalto hidráulico utilizado para a mistura rápida de coagulante (cloreto férrico, cujas especificações constam no ANEXO 2) à água bruta. A água recalçada foi veiculada até caixa de nível constante, provida de extravasor com retorno ao canal de água bruta, conforme pode ser visualizado na FIGURA 4.9. A vazão da bomba correspondeu a valor sempre superior ao necessário para a alimentação dos quatro reatores em funcionamento paralelo.

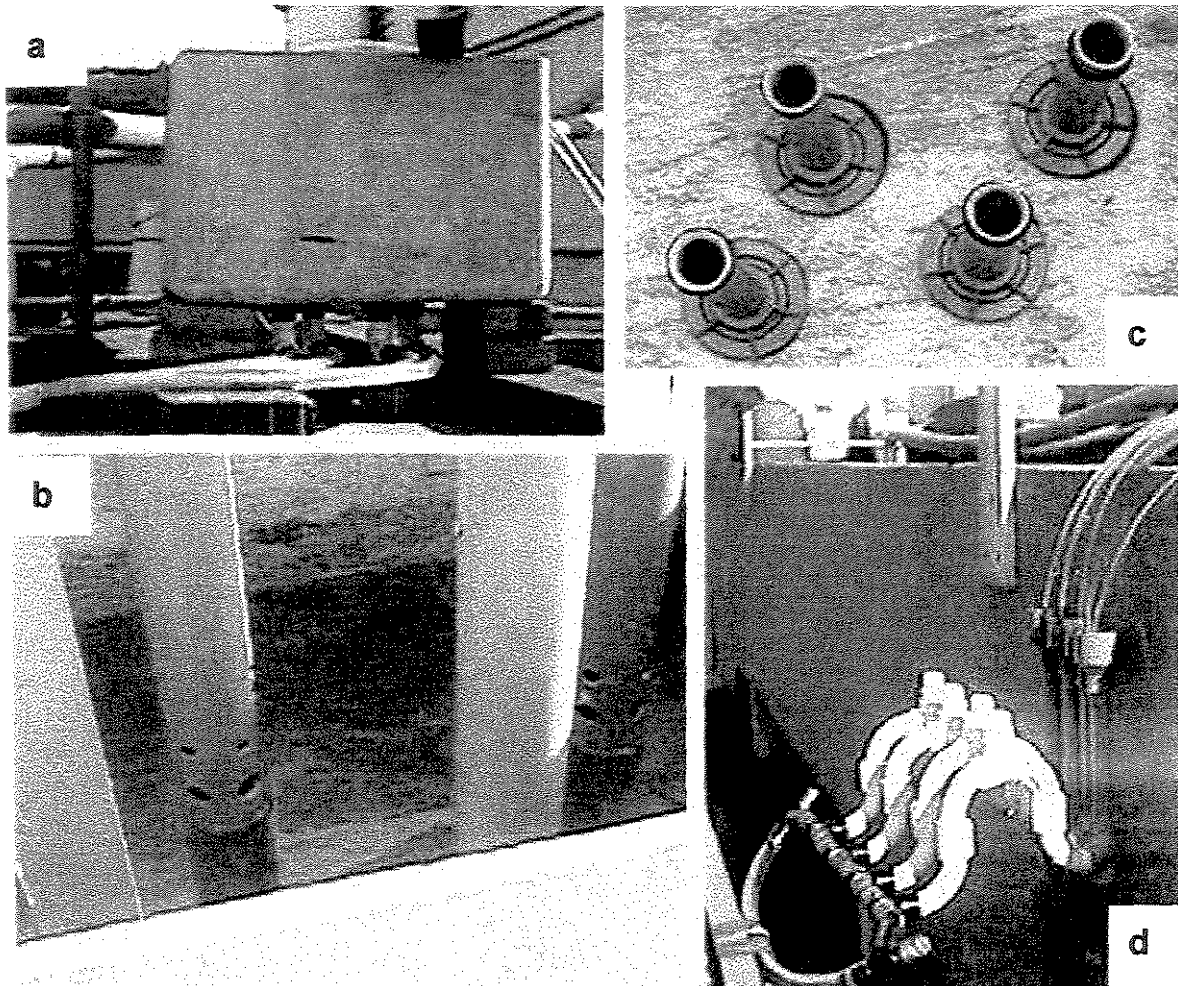


FIGURA 4.9 - Fotografias do sistema de controle de vazões e alimentação de água coagulada aos reatores de floculação: (a) Caixa de nível constante; (b) Segmentos de tubulação móveis com orifícios para ajuste; (c) detalhe dos tubos fixos ao fundo da caixa; (d) Interligação com os reatores de floculação

O controle das vazões afluentes a cada reator foi executado por segmentos de tubulações móveis, providas de orifícios submersos de diâmetros conhecidos, os quais, podiam ser submetidos à diferentes cargas hidráulicas, conforme pode ser observado na FIGURA 4.9 (b) e (c). Desta forma, cada valor de vazão ou taxa a ser aplicada aos reatores de flocculação poderia ser estimado para o orifício utilizado em função da sua respectiva carga hidráulica necessária. A Tabela 4.4 apresenta os valores teóricos estimados para posterior aferição volumétrica a cada série de amostragem.

Como já apresentado nas TABELAS 4.1 E 4.2, os reatores piloto foram submetidos às seguintes taxas de escoamento superficial: 60, 90, 120, 150 e 180 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, as quais, correspondem aos seguintes valores de vazão afluyente: 44, 66, 88, 110 e 132 L/h, respectivamente. Cada valor de taxa de escoamento superficial foi aplicado concomitantemente nos quatro reatores piloto de flocculação, de forma a permitir a obtenção de dados do desempenho comparativo entre os mesmos, para a mesma qualidade da água coagulada afluyente e mesmas condições hidráulicas operacionais.

As taxas de 90 e 150 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$, foram incluídas na fase final do trabalho experimental que, inicialmente, contemplava somente os outros três valores aplicados. Tendo em vista o excessivo período de detenção imposto com a utilização da taxa de escoamento igual a 60 $\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$ (32 minutos para o reator R_1) e os bons resultados obtidos com a aplicação de taxas maiores, esse valor foi aplicado em um único ensaio (carreira 3), conforme apresentado no item de resultados e discussão.

Conforme já mencionado, a aferição volumétrica das vazões era feita com o auxílio de cronômetro e proveta graduada, em intervalos de tempo próximos a 12 horas, durante o período de coletas realizados.

TABELA 4.4 Carga hidráulica teórica "h" (cm) necessária para que um orifício de diâmetro "d" manifeste a vazão de descarga considerada.

VAZÃO (L / s)	Diâmetro "d" do orifício			
	$\frac{5}{32}$ "	$\frac{15}{64}$ "	$\frac{5}{16}$ "	
	4 (mm)	6 (mm)	8 (mm)	
0,006	3,1	-	-	
0,009	7,0	1,4	-	
0,012	6,2	2,2	-	
0,015	-	3,9	-	
0,018	-	5,6	1,8	

4.2.2 Coletas de Amostras e Medição da Perda de Carga nos Reatores

A determinação dos valores representativos das velocidades de sedimentação dos flocos como função da turbidez residual do sobrenadante clarificado nos vários reatores da instalação piloto, constituiu-se em tarefa de difícil execução. Contudo, a comparação desses resultados foi fundamental para a avaliação comparativa dos desempenhos dos reatores, configurações e parâmetros operacionais adotados. Desta forma, adotou-se, como metodologia do presente estudo, o uso da extremidade superior dos próprios reatores, como coluna de sedimentação de pequena altura, operada em regime de escoamento estático para coletas de amostras de sobrenadante, em posição situada à distância de 8 cm abaixo do nível de água.

Para cada uma das amostras coletadas foi feita a leitura dos valores de pH e turbidez residual no sobrenadante como função da velocidade de sedimentação estabelecida para a sedimentação dos flocos.

As amostragens foram feitas com os reatores em operação (T_0) e nos seguintes intervalos de tempo, contados após a interrupção da alimentação de água coagulada a cada reator: 5 (T_1), 10 (T_2), 15 (T_3), 20 (T_4) e 25 minutos (T_5), correspondentes, respectivamente, aos seguintes valores de velocidades de sedimentação dos flocos: 1,6; 0,74; 0,48; 0,34 e 0,26 cm/min.

As amostras foram colocadas em frascos providos de identificação com o número do reator correspondente (R_1 , R_2 , R_3 , R_4) e letra representativa de cada intervalo de coleta (T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 , T_5) para leitura posterior dos valores de pH e turbidez.

Assim, interrompendo-se temporariamente o fluxo contínuo de alimentação dos reatores, a extremidade superior dos mesmos, submetida a nível constante pela existência do vertedor de saída de água floculada, pode simular os resultados obtidos nos jarros dos aparelhos de floculação estáticos de laboratório, convencionalmente utilizados para essa finalidade. Essa configuração, permitiu a obtenção de amostras comparativas entre o desempenho na geração de flocos com diferentes velocidades de sedimentação pelos reatores para uma mesma série de amostragem.

A coleta das amostras de sobrenadante foi feita por meio de mangueira de silicone com 6 mm de diâmetro interno, acoplada à tubulação de aço inoxidável de 8 mm de diâmetro, instalada radialmente, com tomada no centro do reator, posicionada a 8cm de distância do nível de água a ser estabelecido na saída do mesmo. Cada uma das amostras retiradas, corresponderam a volumes aproximados de 70 ± 10 mL.

Tendo em vista os diferentes períodos de floculação impostos aos quatro reatores submetidos à mesma taxa de escoamento superficial (vide TABELAS 4.1 e 4.2), tais diferenças, foram consideradas durante as coletas realizadas, de tal forma que pudessem representar, a mesma qualidade da água coagulada que as gerou.

As leituras dos valores da perda de carga total nos reatores foram feitas imediatamente antes do início de cada interrupção do fluxo nos reatores para coleta de amostras.

4.2.3 Durações das Carreiras de Floculação

A duração das carreiras de cada ensaio não foram pré-estabelecidas e deveriam estender-se por período de alguns dias, mesmo porque, acreditava-se que o desempenho dos reatores deveria ser dependente da formação de manto de lodo para facilitar a ocorrência de choques entre as partículas floculentas deste com as afluentes em formação. O limite de duração de um ensaio deveria ser imposto pela disponibilidade da carga hidráulica, no caso, fixada em, aproximadamente, 80 cm, podendo, inclusive, ser recuperada com a intercalação de descargas de fundo.

Os reatores foram testados para trabalhar como unidade de floculação alternativa aos processos convencionais, para tanto, não teriam a incumbência de clarificação da água em tratamento.

Conforme pode ser observado no ANEXO C, alguns ensaios estenderam-se por períodos de até 100 horas, sendo interrompidos por ocorrência de problemas externos (como por exemplo, a interrupção no fornecimento de energia elétrica)

Conforme poderá ser observado, alguns ensaios estenderam-se por períodos de até 100 horas, sendo interrompidos por ocorrência de problemas externos (como por exemplo, a interrupção no fornecimento de energia elétrica) ou próprios da instalação (como por exemplo, o controle da vazão afluente aos reatores).

4.2.4 Descargas de Fundo e Limpeza dos Reatores

A construção dos reatores privilegiou a possibilidade de operações de descarga de fundo intermediárias aos ensaios em andamento. Poderiam ser executadas pelo fechamento da válvula de entrada de água coagulada correspondente e abertura da válvula de acesso à tubulação de descarga de fundo, executada em tubulação de 1" (2,5cm). Tal necessidade, porém, não foi verificada, tendo em vista os baixos valores de perda de carga registrados durante o decorrer da fase de experimentos.

Desta forma, tais operações restringiram-se às situações em que cada ensaio foi interrompido para início de outro. As limpezas foram executadas, repetindo-se, quantas vezes fossem necessárias, as operações de enchimento e descarga de fundo de cada um dos reatores, até que, visualmente, não fossem mais detectadas as presenças de lodo nas descargas de fundo.

4.3.5 Parâmetros monitorados, freqüência e instrumentação utilizada

Foram os seguintes parâmetros monitorados no decorrer da fase experimental, a saber:

- **pH** da água bruta, alcalina, coagulada e floculada em cada reator piloto: leituras realizadas a cada amostragem feita de 12 em 12 horas, através de um potenciômetro da marca ANALION, de leitura digital com precisão decimal e compensação de temperatura;
- **Turbidez** da água bruta, alcalina, coagulada (caixa de nível constante), floculada produzida por cada reator (T_0) e das amostras de sobrenadante clarificado após os períodos de sedimentação mencionados anteriormente (T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5), com leituras realizadas com o emprego de dois turbidímetros da marca HACH, modelos 2000 e 2100, incluindo padrões de turbidez, tubos para amostras, com dados apresentados em NTU;
- **Perda de Carga Total** nos reatores, imediatamente antes da coleta de amostras de sobrenadante, feita pela leitura diferencial em piezômetros, com dados em (mm); e,
- **Vazão de Água Bruta, Dosagem de Cloreto Férrico e Turbidez da água decantada:** dados extraídos das planilhas de operação da ETA.

A FIGURA 4.10 esquematiza a sistematização das coletas de amostras e análises do trabalho experimental para obtenção dos dados.

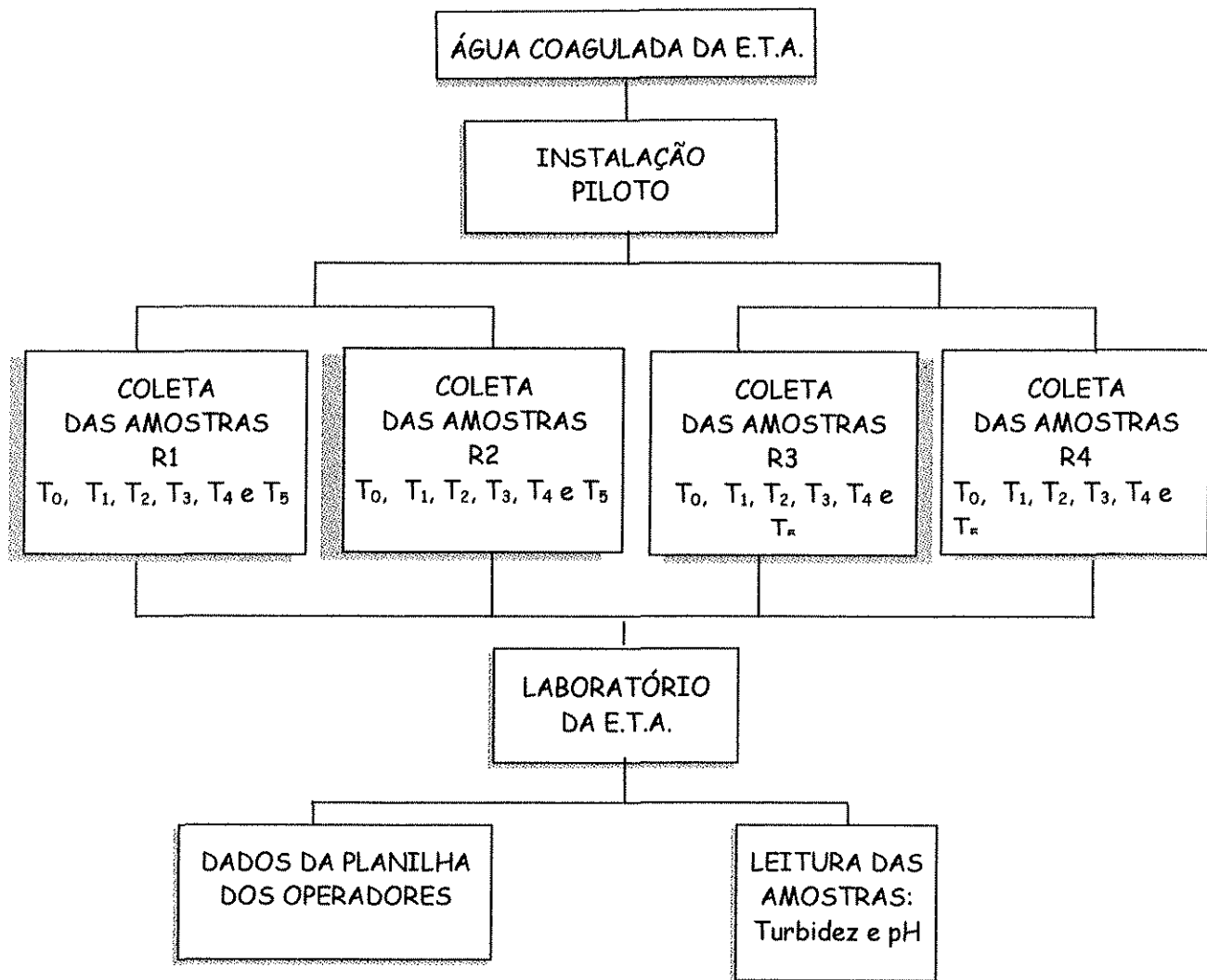


Figura 4.10 - Fluxograma da sistematização de coletas e leituras das amostras

5 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os ensaios do presente trabalho foram realizados no período de Setembro a Novembro de 1999. Durante esse período foram operadas 12 carreiras, cada qual com funcionamento simultâneo dos 4 reatores de floculação submetidos à mesma qualidade da água coagulada afluyente e mesmas taxas de escoamento superficial.

Conforme já mencionado no capítulo 4, a fase experimental foi desenvolvida na ETA-Fonte, no município de Araraquara - SP, e o ANEXO B apresenta as características do coagulante, no caso, cloreto férrico, utilizado na ETA com base em informações do fornecedor, e o ANEXO D, os dados das planilhas dos operadores, contendo informações da temperatura do ar e da água, valores de pH das águas bruta, alcalina e floculada, cor aparente e turbidez das águas bruta e decantada, monitorados a cada dia de operação nos quais foram desenvolvidos ensaios experimentais para a pesquisa em pauta, com informações a cada duas horas. Conforme pode ser observado ANEXO D, a faixa de valores de pH adotados para a coagulação na ETA varia entre 7,0 e 10,0. Tais valores, não puderam ser alterados na operação experimental dos reatores de floculação da presente pesquisa, porém, podem ter influído no desempenho destes como unidades de floculação alternativa em virtude do grande volume de lodo gerado no processo.

Os valores monitorados de perda de carga, turbidez da água bruta, floculada e dos sobrenadantes gerados nas colunas de sedimentação para as várias taxas de escoamento superficial impostas aos reatores, além dos valores de pH da água bruta, alcalina, coagulada e floculada em cada um dos reatores piloto na ocasião das coletas efetuadas, observados na série de ensaios executados (carreiras 1 a 12) são apresentados no ANEXO C na forma de TABELAS (planilhas de acompanhamento dos ensaios) e FIGURAS, onde foram plotados os valores de turbidez da água bruta e residual do sobrenadante para a velocidade de sedimentação igual a 1,6 cm/min e perda de carga total como função do período de duração da carreira.

Amostras dos efluentes foram coletadas para análise de turbidez remanescente após 0 (das carreiras 6 a 12), 5, 10, 15, 20 e 25 minutos de tempo de sedimentação, denominadas de: T_0 , T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 , respectivamente. Tais amostras correspondem, conforme já mencionado, nas seguintes velocidades de sedimentação: 1,6, 0,8, 0,53, 0,4 e 0,32 cm/min, considerando-se as coletas de T_1 a T_5 . A TABELA 5.1 apresenta os parâmetros que foram monitorados durante a realização dos ensaios.

Uma etapa preliminar dos experimentos foi utilizada para estabelecer e fixar as condições operacionais impostas aos ensaios a serem realizados nas etapas seguintes.

Em uma 1ª etapa, utilizando as três taxas fixadas na etapa preliminar (180, 120 e 60 $m^3/m^2.d$), foram realizadas três carreiras de floculação conforme relatado a seguir. Na carreira 1, os reatores operaram submetidos à taxa de 180 $m^3/m^2.d$, cuja duração correspondeu ao período de 20,5 horas; a segunda carreira foi operada com a taxa de 120 $m^3/m^2.d$, perfazendo uma duração de 33 horas e, finalmente, na terceira e última carreira desta primeira etapa utilizou-se a taxa de 60 $m^3/m^2.d$, chegando a 100 horas de funcionamento ininterrupto.

TABELA 5.1 - Amostras coletadas e parâmetros monitorados nos ensaios

CARREIRA		TAXA (m/d)	REATOR	PARÂMETROS MONITORADOS	
				pH	Turbidez
1ª ETAPA	1	180	R ₁	T ₄	T ₁
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
	2	120	R ₁		
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
	3	60	R ₁		
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
2ª ETAPA	4	180	R ₁	T ₄	T ₂
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
	5	180	R ₁		
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
	6	180	R ₁		
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
7	120	R ₁			
		R ₂			
		R ₃			
		R ₄			
8	120	R ₁			
		R ₂			
		R ₃			
		R ₄			
9	120	R ₁			
		R ₂			
		R ₃			
		R ₄			
3ª ETAPA	10	150	R ₁	T ₄	T ₃
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
	11	150	R ₁		
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		
	12	90	R ₁		
			R ₂		
			R ₃		
			R ₄		

Alguns resultados obtidos nessa segunda fase experimental estão resumidos, respectivamente, nas TABELAS 5.2 a 5.4. Com base nos dados da TABELA 5.2 foi construída a FIGURA 5.2, que relaciona, para a carreira 1, as curvas de valores de turbidez remanescente produzidas pela água floculada em cada um dos quatro reatores em função das velocidades de sedimentação estabelecidas para cada período de repouso imposto. Da mesma forma, a FIGURA 5.3, representa os dados registrados na TABELA 5.3, para a carreira 2, e a FIGURA 5.4, os da TABELA 5.4, para a carreira 3.

A porcentagem de remoção (%rem.) que consta nas Tabelas 5.2 a 5.13 foi calculada por: $[(T - T_n) / T] \times 100$, onde T é a turbidez da água bruta e T_n a turbidez correspondente ao referido tempo de sedimentação considerado.

TABELA 5.2 Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 24,9 (uT) após 20,5 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
1	R1	8,0	1,7	93,2	1,5	94,0	1,6	93,4	1,7	93,2	1,5	94,0	3
	R2	8,2	1,9	92,4	1,8	92,8	1,7	93,2	1,6	93,6	1,5	94,0	2
	R3	7,8	1,6	93,6	0,9	96,4	0,8	96,8	0,7	97,2	0,7	97,2	10
	R4	7,8	3,2	87,2	0,9	96,4	0,7	97,2	0,6	97,6	0,5	98,0	40

TABELA 5.3 Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 48,9 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
2	R1	8,9	2,4	95,1	2,1	95,7	1,9	96,1	1,8	96,3	1,7	96,5	2
	R2	8,9	10,3	78,9	9,1	81,4	9,0	81,6	8,6	82,4	7,1	85,5	1
	R3	8,9	3,9	92,0	2,0	95,9	1,6	96,7	1,5	96,9	1,5	96,9	7
	R4	8,9	4,6	90,6	2,2	95,5	1,7	96,5	1,7	96,5	1,3	97,3	30

TABELA 5.4 Resultados de turbidez remanescente em (uT) para taxa = $60\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 27,0 (uT) após 100 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
3	R1	9,4	3,9	85,6	3,0	88,9	2,7	90,0	2,3	91,5	2,0	92,6	3
	R2	9,4	5,3	80,4	4,3	84,1	3,5	87,0	3,2	88,2	2,6	90,4	1
	R3	9,2	1,2	95,6	1,0	96,3	0,8	97,0	0,8	97,0	0,8	97,0	8
	R4	9,3	1,4	94,8	0,7	97,4	0,7	97,4	0,7	97,4	0,6	97,8	20

A análise dos resultados obtidos para essas três carreiras demonstram, em primeira instância, a insignificante evolução da perda de carga ocorrida nos reatores constituídos por feixes (R_1 e R_2) com o tempo de funcionamento dos mesmos, evidenciando que, mesmo que haja retenção de flocos ou formação de manto de lodo, este não proporciona aumento de resistência ao escoamento, tendo em vista a grande disponibilidade de vazios. Por outro lado, o comportamento dos reatores de pedregulho (R_3 e R_4) sob este aspecto, já evidenciam a ocorrência de retenção de sólidos, principalmente para o reator R_4 , constituído de camadas de pedregulho com menor diâmetro (4,8 a 31,7mm).

Com relação ao desempenho dos reatores como unidades de floculação, verificou-se relativa melhoria de eficiência na formação de flocos pelos reatores de feixes (principalmente para R_1) com a evolução da duração da carreira, conforme dados tabelados e figuras apresentadas no ANEXO C, fato não relevante para os reatores de pedregulho.

Os dados do ANEXO C demonstram também que, analisando-se, por exemplo, os valores de turbidez residual para um período de sedimentação de 5 minutos ($V_s = 1,6$ cm/min), situação esta, mais representativa do provável

desempenho de uma unidade de decantação em escala real, os feixes de tubulações de menor diâmetro utilizados no reator R_1 apresentaram desempenho menos influenciado pelas taxas de escoamento aplicadas que os do reator R_2 , cujo desempenho foi satisfatório, quando comparados apenas para a taxa de 180 m/dia. Apesar da disponibilidade menor de informações, a mesma observação pode ser feita pela comparação dos dados das TABELAS 5.2 a 5.4 e FIGURAS 5.2 a 5.4.

A comparação entre os reatores de feixes e de pedregulho demonstram que, estes últimos (R_3 e R_4) manifestaram resultados muito similares entre si, porém, foram mais eficientes para a taxa de 60 m/dia que os reatores de feixes, igualando-se ao desempenho obtido pelo reator R_1 para as duas outras taxas de 120 e 180 m/dia.

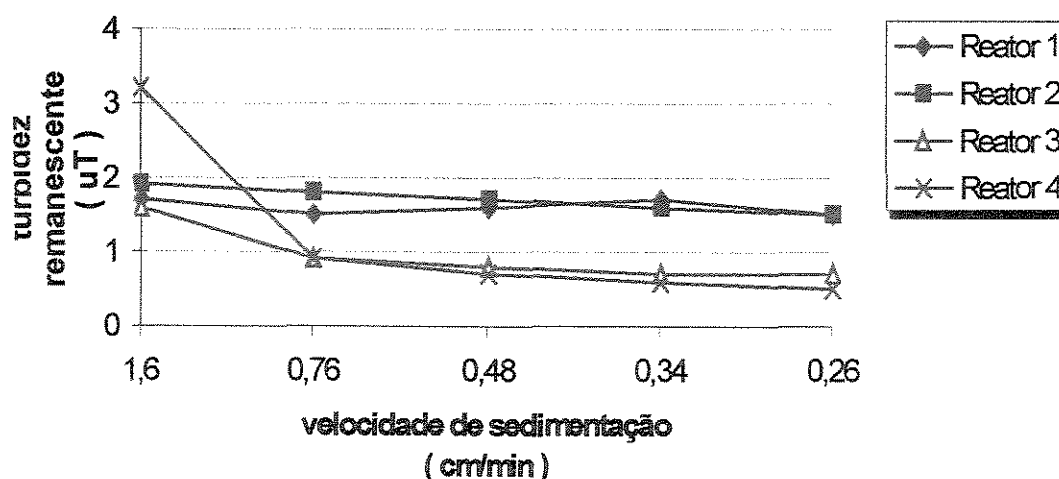


FIGURA 5.1 Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 24,9 (uT) após 20,5 horas de operação na Carreira 1

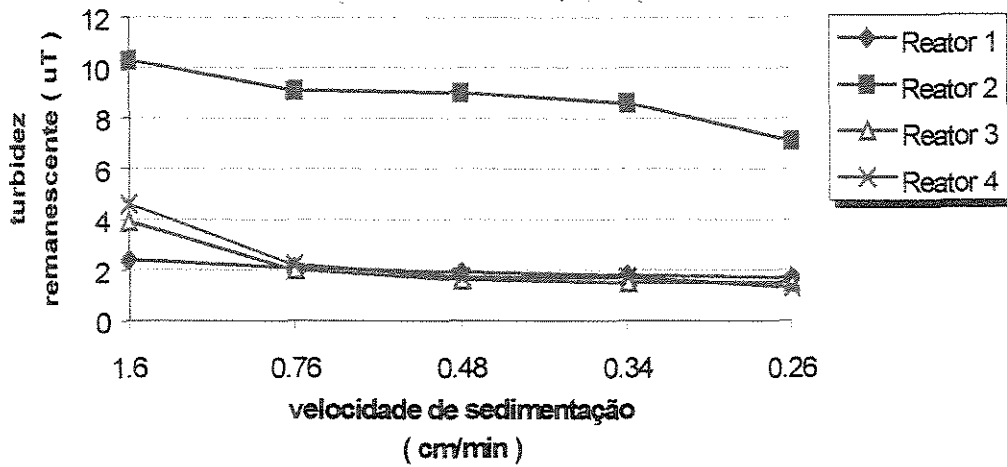


FIGURA 5.2 Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 48,9 (uT) após 33 horas de operação na Carreira 2

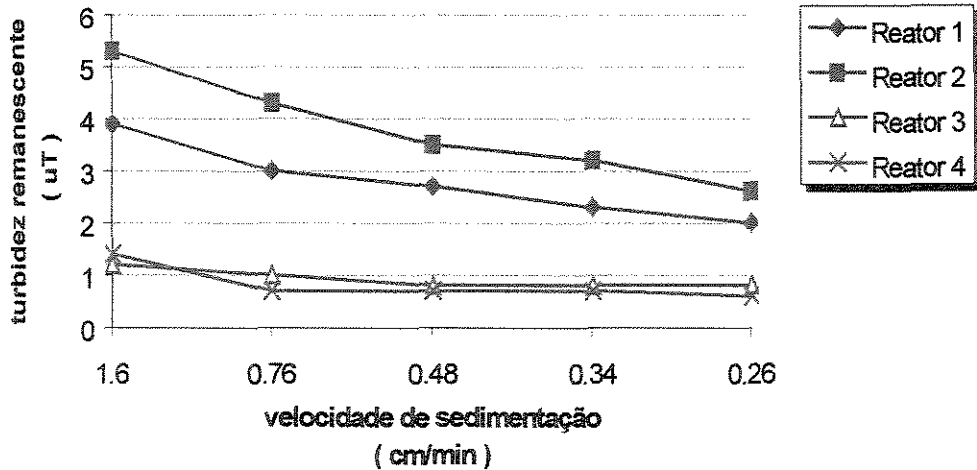


FIGURA 5.3 Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação para taxa = $60\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 27,0 (uT) após 100 horas de operação na Carreira 3

Em uma 2ª etapa da fase experimental, os quatro reatores foram mantidos em operação contínua por mais três carreiras utilizando a taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ (carreiras 4, 5 e 6) passando, posteriormente a utilizar $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ como vazão afluyente para as próximas três carreiras (carreiras 7, 8 e 9). Nesta 2ª etapa foram feitas monitorações a cada 12 horas e cuidados redobrados eram tomados com relação às medições de vazão afluyente a cada reator antes do início de cada série de amostragem. A taxa de $60 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$ foi descartada, tendo em vista o elevado período de detenção (floculação) para os reatores construídos com feixes e os resultados preliminares pouco satisfatórios.

Nessa fase, foram realizadas 6 coletas em tempos distintos ($T_0, T_1, T_2, T_3, T_4, T_5$), com volume de amostragem igual a $70 \pm 10 \text{ mL}$ e descarte nos primeiros 10 segundos para eliminação da fração estagnada no interior do tubo e mangueira coletora. Foram feitas caracterizações das amostras de água bruta (temperatura, pH de coagulação e turbidez) e caracterizações do efluente de cada um dos quatro reatores de floculação.

As TABELAS 5.5, 5.6 e 5.7, correspondem aos resultados obtidos após um período de operação igual a 32 horas para as carreiras 4, 5 e 6, submetidas à taxa de $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, e as TABELAS 5.8, 5.9 e 5.10 aos resultados obtidos após 32 horas de operação para as carreiras 7, 8 e 9, submetidas à taxa de $120 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$.

TABELA 5.5 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para **Taxa = $180 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$** ; turbidez da água bruta = 19,6 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
4	R1	8,1	5,0	74,5	3,3	83,2	3,0	84,7	2,6	86,7	2,3	88,3	4
	R2	8,2	5,1	74,0	4,2	78,6	3,4	82,7	3,0	84,7	2,7	86,2	2
	R3	8,2	2,5	87,2	1,5	92,4	1,4	92,9	1,3	93,4	1,3	93,4	15
	R4	8,3	4,9	75,0	2,7	86,2	1,9	90,3	1,5	92,4	1,2	93,9	70

Com base nos dados da TABELA 5.5, foram construídas as FIGURAS 5.5a e 5.5b que relacionam, respectivamente, a turbidez remanescente e a porcentagem de remoção de turbidez dos sobrenadantes em função das seguintes velocidades de sedimentação estabelecidas para os diferentes tempos de sedimentação utilizados nas coletas: $T_1=1.6$, $T_2=0.8$, $T_3=0.5$, $T_4=0.4$ e $T_5=0.3$ cm/min.

Da mesma forma, foram construídas as FIGURAS 5.6a e 5.6b, referentes aos dados apresentados na TABELA 5.6 e as FIGURAS 5.7a e 5.7b, com os dados apresentados na TABELA 5.7.

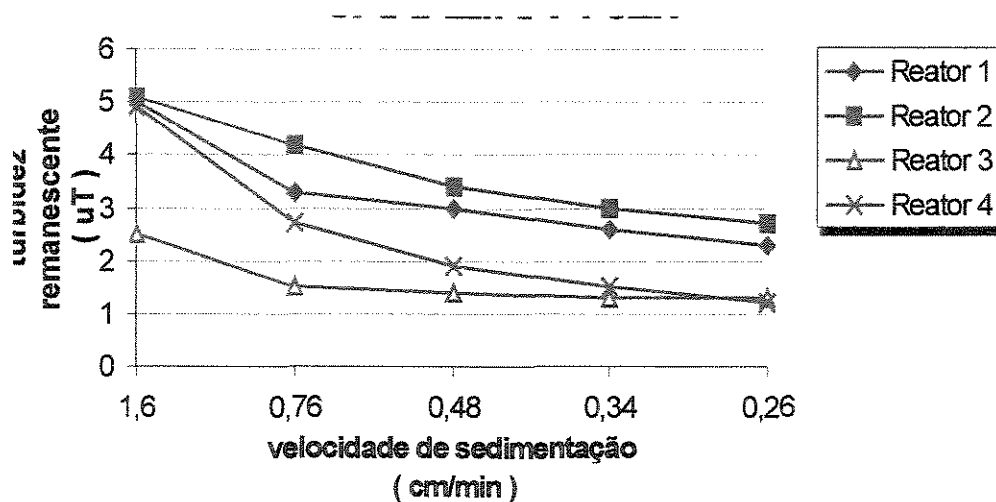


FIGURA 5.4a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{dia}$; turbidez da água bruta = 19,6 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 4

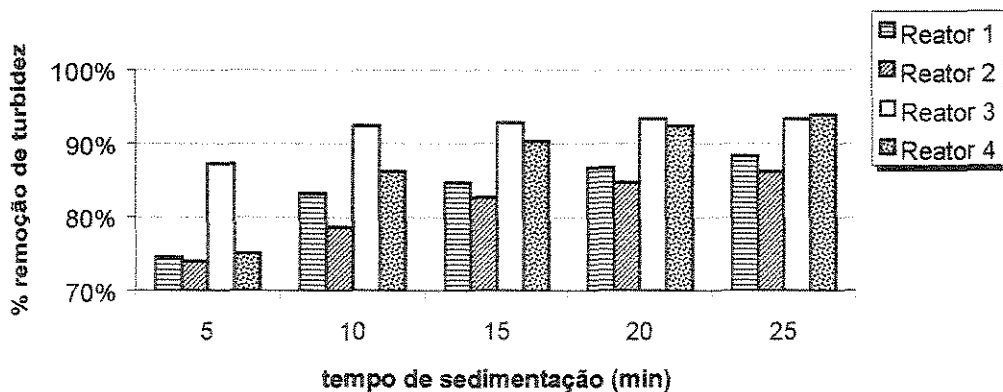


FIGURA 5.4b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$; turbidez da água bruta = 19,6 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 4

TABELA 5.6 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 54,7 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
5	R1	8,3	5,0	90,9	4,8	91,2	4,4	92,0	4,3	92,1	4,0	92,7	2
	R2	8,2	6,6	87,9	6,5	88,1	5,4	90,1	4,9	91,0	4,2	92,3	1
	R3	8,4	11,5	79,0	6,7	87,8	4,3	92,1	4,2	92,3	3,4	93,8	11
	R4	8,4	15,3	72,0	11,4	79,2	7,9	85,6	6,1	88,9	5,4	90,1	50

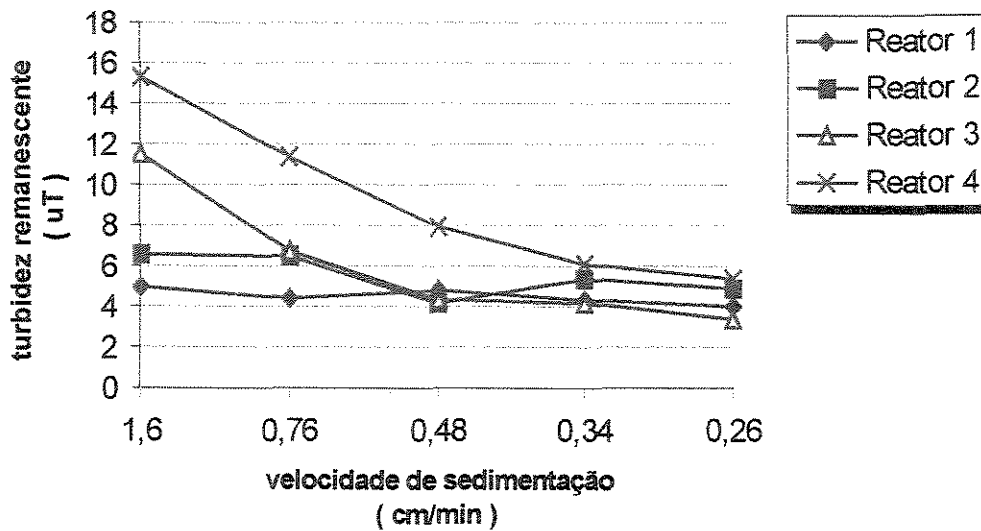


FIGURA 5.5a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 180m/dia e turbidez da água bruta = 54.7uT, após 32 horas de operação para a Carreira 5

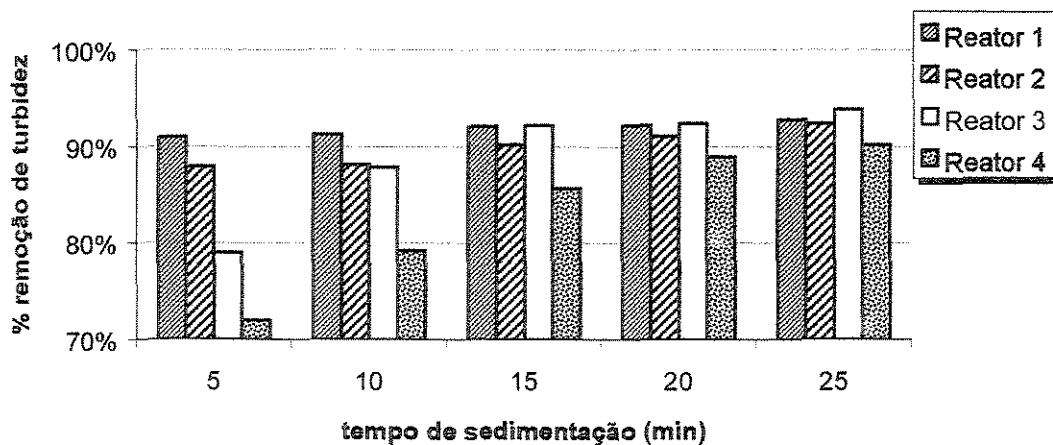


FIGURA 5.5b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = 180m/dia e turbidez da água bruta = 54.7uT, após 32 horas de operação para a Carreira 5

TABELA 5.7 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = 180m³/m².d;
turbidez da água bruta = 155,0 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 16min		Ts = 20min		Ts = 26min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
6	R1	7,7	4,8	96,9	4,6	97,0	4,1	97,4	4,1	97,4	3,9	97,5	2
	R2	7,7	5,4	96,5	5,2	96,7	4,8	96,9	4,4	97,2	4,0	97,4	1
	R3	7,8	6,9	95,6	4,5	97,1	3,9	97,5	3,8	97,6	3,8	97,6	5
	R4	7,8	13,5	91,3	7,8	95,0	7,1	95,4	5,9	96,2	5,1	96,7	55

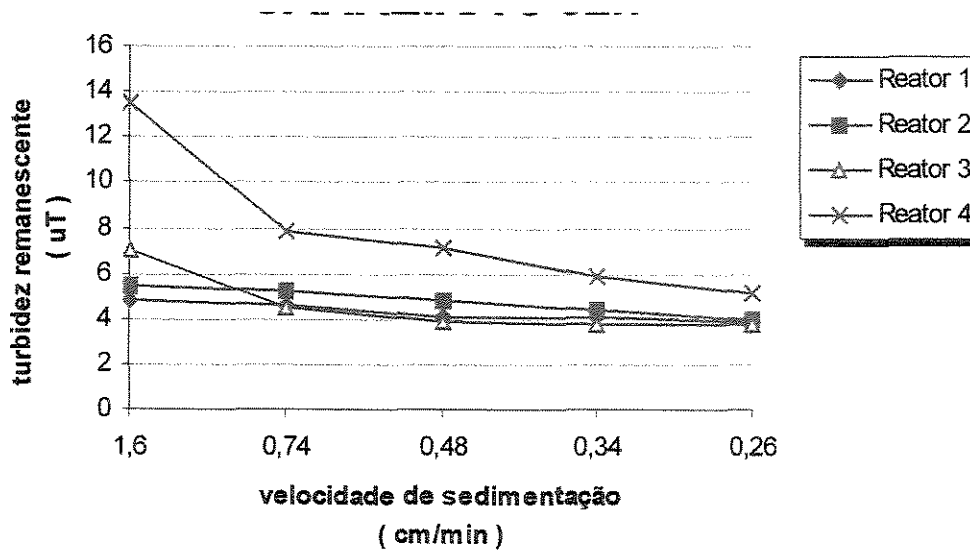


FIGURA 5.6a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 180m³/dia e turbidez da água bruta = 155,0 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 6

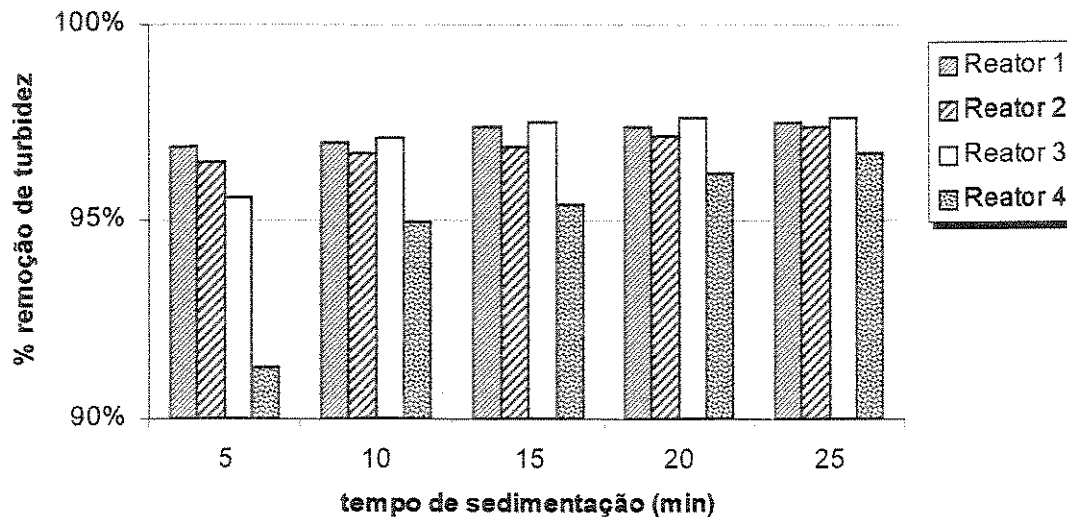


FIGURA 5.6b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = 180 m/d e turbidez da água bruta = 155,0 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 6

Consultando-se os dados dessas três carreiras (4, 5 e 6), nota-se que o reator R_1 apresentou-se como melhor alternativa entre os quatro reatores de floculação hidráulica, quando submetidos à taxa de 180 m³/m².d. Tal observação somente não foi verificada durante o ensaio da carreira 4, quando os melhores resultados foram verificados para o reator R_3 . Ainda referindo-se ao mesmo tema, considerando-se o valor médio de turbidez residual entre todas as coletas efetuadas nas três carreiras, os reatores apresentaram os seguintes resultados, respectivamente, para as amostras T_1 , T_2 , T_3 , T_4 e T_5 :

- Reator R_1 : 4,3 3,5 3,3 3,1 2,9 uT;
- Reator R_2 : 7,0 5,8 5,0 4,6 4,1 uT;
- Reator R_3 : 5,8 3,7 2,7 2,3 2,1 uT;
- Reator R_4 : 11,4 6,3 4,1 3,1 2,5 uT;

Estes dados apresentados (extraídos das TABELAS do ANEXO C), vêm comprovar a afirmação feita anteriormente, pois, na média, os valores de turbidez

residual das amostras de sobrenadante nas coletas de 5 e 10 minutos foram menores.

Outro fato interessante que pode ser observado nos dados referentes aos valores médios de turbidez e nas FIGURAS 5.6a e 5.7a, refere-se a maior homogeneidade entre os flocos gerados no reator R_1 , quando comparados, principalmente com os dos reatores R_3 e R_4 . Para períodos de sedimentação maiores, praticamente não há significativa melhoria na eficiência de remoção de turbidez dos respectivos sobrenadantes para o reator R_1 , demonstrando a escassez de flocos de pequena velocidade de sedimentação (menores que 0,8 cm/minuto), fato não verificado nos demais reatores.

Na carreira 6, passou-se a monitorar a turbidez da água floculada efluente dos quatro reatores (amostras denominadas de T_0). Comparando-se tais dados com os correspondentes da água bruta afluenta, verifica-se que os quatro reatores apresentam significativo aumento de valores da turbidez da água floculada. A comparação dos resultados de turbidez das amostras T_0 e T_1 , demonstram a grande eficiência dos quatro reatores na formação de flocos com velocidade de sedimentação superior a 1,6 cm/min, além de comprovar a pequena ocorrência de retenção destes no interior dos floculadores para a situação em que o processo de coagulação é executado na ETA, no caso, submetida a valores de pH elevados, variando entre 7,0 e 10,0.

TABELA 5.8 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2\cdot\text{d}$; turbidez da água bruta = 25,1 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
7	R1	9,2	5,7	77,3	3,9	84,5	3,2	87,3	2,8	88,9	2,8	88,9	3
	R2	9,2	6,4	74,5	4,7	81,3	4,0	84,1	3,5	86,1	3,1	87,5	1
	R3	9,3	3,6	85,7	1,6	93,6	1,2	95,2	1,1	95,6	1,0	96,0	10
	R4	9,3	8,1	67,7	3,3	86,9	1,9	92,4	1,2	95,2	0,9	96,4	35

Com base nos dados da TABELA 5.8, foram construídas as FIGURAS 5.8a e 5.8b que relacionam, respectivamente, a turbidez remanescente e a porcentagem de remoção de turbidez dos sobrenadantes em função das seguintes velocidades de sedimentação estabelecidas para os diferentes tempos de sedimentação utilizados nas coletas: $T_1=1.6$, $T_2=0.74$, $T_3=0.48$, $T_4=0.34$ e $T_5=0.26$ cm/min.

Da mesma forma, foram construídas as FIGURAS 5.9a e 5.9b, referentes aos dados apresentados na TABELA 5.9 e as FIGURAS 5.10a e 5.10b, com os dados apresentados na TABELA 5.10.

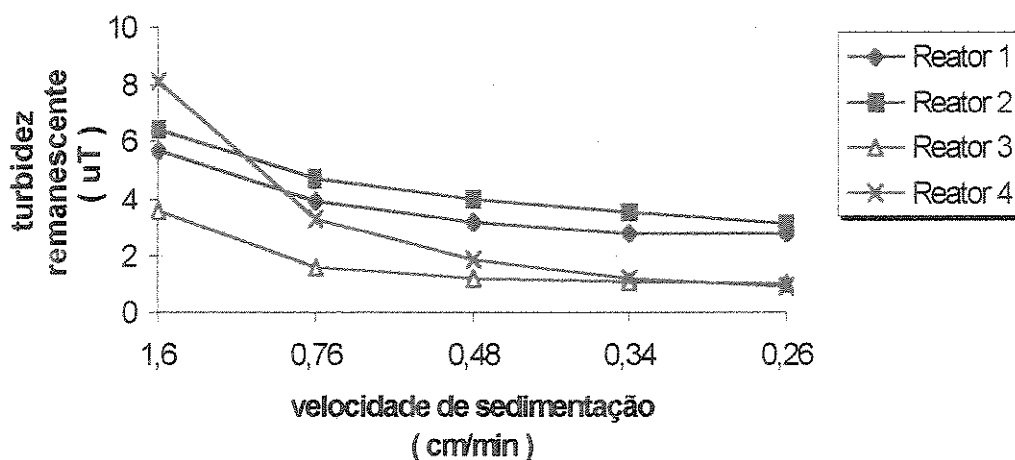


FIGURA 5.7a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 120m/dia e turbidez da água bruta = 25,1 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 7

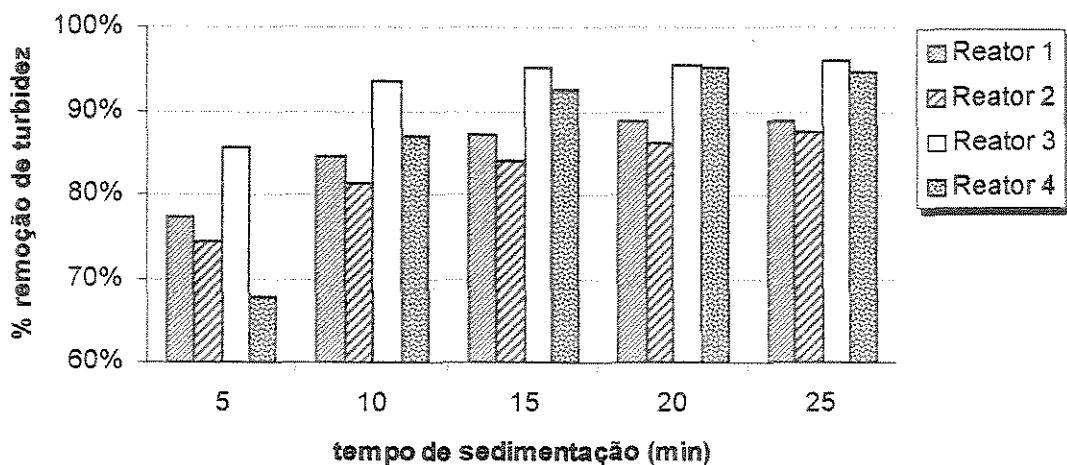


FIGURA 5.7b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = 120m/dia e turbidez da água bruta = 25,1 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 7

TABELA 5.9 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = 120m³/m².d; turbidez da água bruta = 31,7 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 6min		Ts = 10min		Ts = 16min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
8	R1	8,4	10,6	66,6	7,2	77,3	5,8	81,7	4,9	84,5	4,6	85,5	2
	R2	8,3	10,6	66,6	8,2	74,1	7,4	76,7	6,2	80,4	5,9	81,4	1
	R3	8,8	4,2	86,8	2,2	93,1	1,7	94,6	1,5	95,3	1,4	95,6	8
	R4	8,8	5,3	83,3	2,3	92,7	2,0	93,7	1,8	94,3	1,4	95,6	40

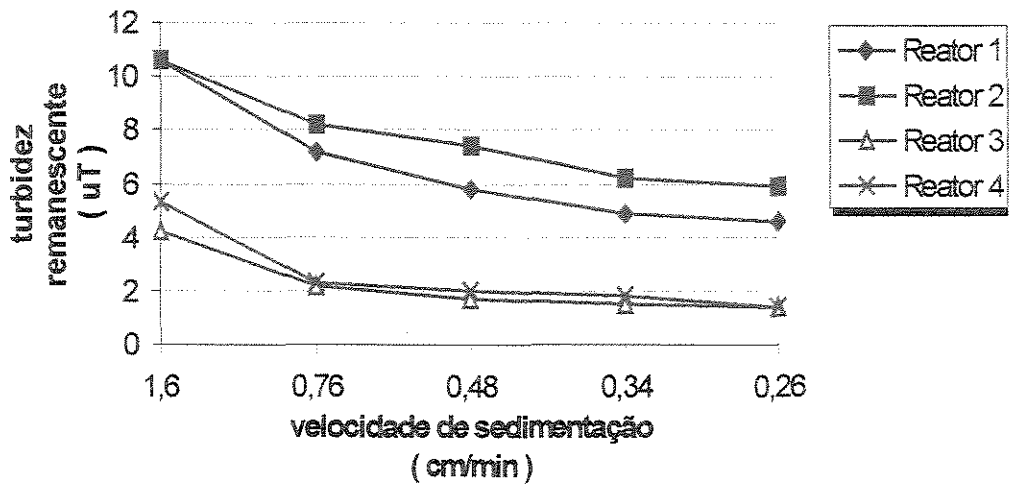


FIGURA 5.8a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 120m/dia e turbidez da água bruta = 31,7 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 8

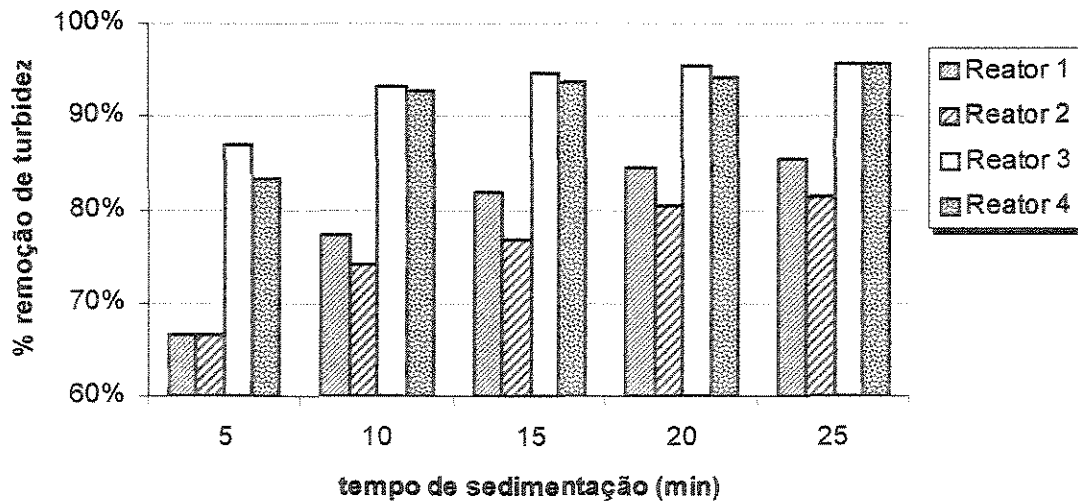


FIGURA 5.8b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa de 120m/dia e turbidez da água bruta = 31,7 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 8

TABELA 5.10 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = 120m³/m².d; turbidez da água bruta = 23,4 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
9	R1	8,8	2,2	90,6	1,9	91,9	1,9	91,9	1,8	92,3	1,8	92,3	2
	R2	8,9	13,0	44,4	11,2	52,1	9,9	57,7	8,4	64,1	7,1	69,7	1
	R3	9,0	9,9	57,7	5,9	74,8	3,7	84,2	2,9	87,6	2,8	88,0	8
	R4	9,0	15,3	34,6	10,6	54,7	7,7	67,1	6,0	74,4	4,8	79,5	40

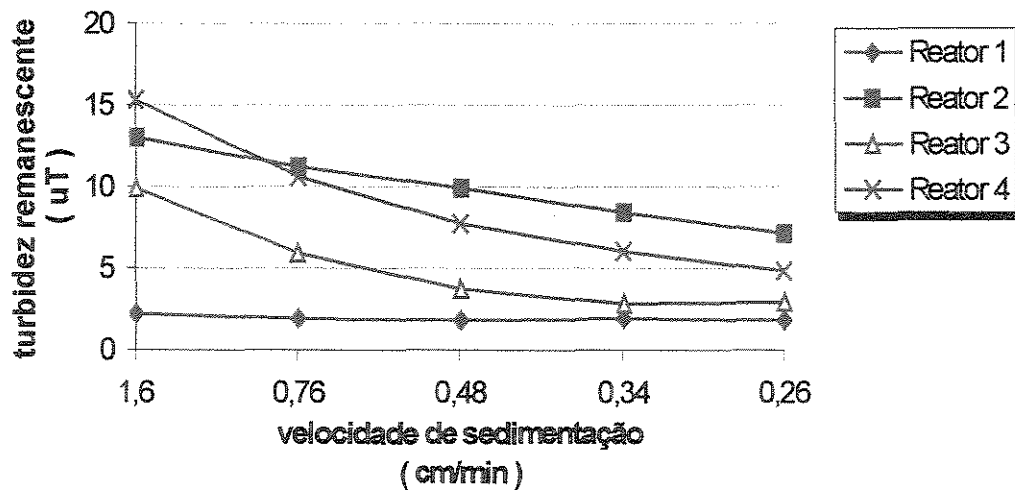


FIGURA 5.9a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 120m/dia e turbidez da água bruta = 23,4 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 9

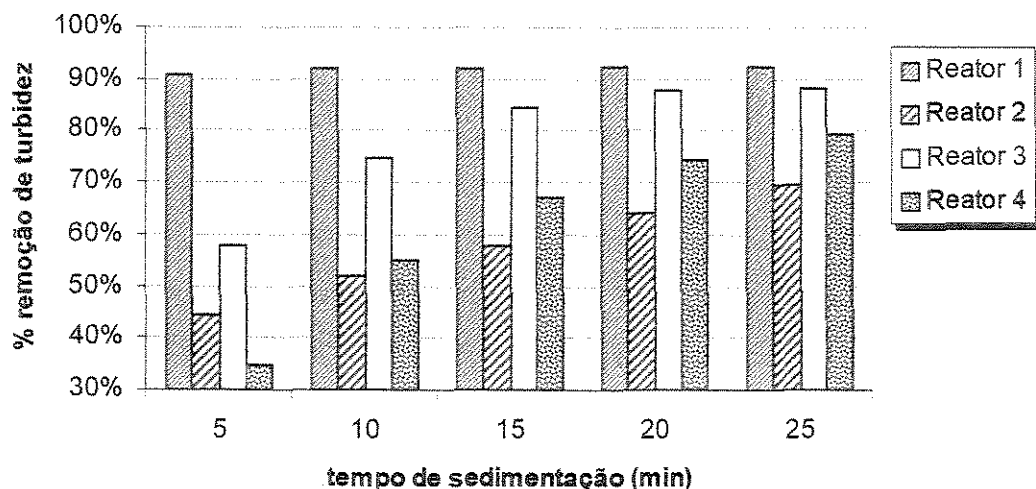


FIGURA 5.9b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = 120m/dia e turbidez da água bruta = 23,4 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 9

Consultando-se os dados dessas três carreiras (7, 8 e 9), nota-se que, novamente o reator R₁ apresentou-se como melhor alternativa entre os quatro reatores de floculação hidráulica, quando submetidos à taxa de 120 m³/m².d. Considerando-se o valor médio de turbidez residual entre todas as coletas efetuadas nas três carreiras (ver ANEXO D), os reatores apresentaram os seguintes resultados para as amostras T₁, T₂, T₃, T₄ e T₅, respectivamente:

- Reator R₁: 5,8 4,1 3,5 3,1 3,0 uT;
- Reator R₂: 8,6 7,0 6,1 5,2 5,1 uT;
- Reator R₃: 6,8 3,7 2,4 1,9 1,6 uT;
- Reator R₄: 9,0 5,2 3,6 2,7 2,1 uT;

Pode-se observar, comparando com os resultados obtidos nas carreiras 4, 5 e 6, executadas para a taxa de 180 m³/m².d, uma relativa piora no desempenho

dos reatores R_1 , R_2 e R_3 , e pequena ganho de eficiência para o reator R_4 , porém, com este último, ainda manifestando os piores resultados entre todos os reatores.

A coleta de amostras da água floculada efluente de cada reator (T_0), nessa série de ensaios (para taxa= 120m/d), demonstrou valores de turbidez próximos dos registrados para a água bruta, diferenciando-se apenas para o reator R_1 , na carreira 9, quando foram registrados valores muito elevados para a água floculada e, coincidentemente, ou não, foram registradas as maiores eficiências na formação de flocos por esse reator, tendo em vista suas altas velocidades de sedimentação (ver ANEXO C). Duas possibilidades podem ser apresentadas para a situação verificada: (i) A existência de manto de lodo com grande concentração de sólidos presentes no reator, que provocaram o transpasse de sólidos, proporcionam maior oportunidade de ocorrência de choques e, desta forma, melhores condições para a formação dos mesmos e para o processo em si; (ii) A presença de grande massa de sólidos na água floculada proporcionou melhores condições de floculação por sedimentação diferenciada ocorrida durante a fase de sedimentação nos primeiros cinco minutos decorridos entre as coletas T_0 e T_1 , dando a esta última, melhores características de clarificação, manifestadas na menor turbidez residual do sobrenadante.

Após as primeiras carreiras (nove até então), optou-se por descartar a realização de ensaios com a taxa de 60 $m^3/m^2.d$, tendo em vista a tendência verificada de potencial queda de eficiência para os reatores em estudo, além de estabelecer-se períodos de floculação maiores, desfavoráveis à aplicabilidade do processo. Optou-se, assim pelo estudo de taxas com valores intermediários aos até aqui estudados, submetendo-se os reatores aos valores de 150 $m^3/m^2.d$, nas carreiras 10 e 11, cujos resultados são apresentados nas TABELAS 5.11 e 5.12, após um período de operação igual a 32 horas e 90 $m^3/m^2.d$, na carreira 12, cujos resultados são apresentados na Tabela 5.13, também para um período de operação de 32 horas.

TABELA 5.11 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = 150m³/m².d; turbidez da água bruta = 44,0 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
10	R1	9,4	12,2	72,8	7,1	84,0	5,4	87,8	4,5	89,9	4,5	89,9	3
	R2	9,4	8,8	80,2	8,6	80,6	4,7	89,4	4,0	91,0	3,7	91,7	2
	R3	9,4	15,1	66,0	8,0	82,0	4,3	90,3	2,7	93,9	2,5	94,4	10
	R4	9,4	24,6	44,6	15,9	64,2	10,0	77,5	6,3	85,8	5,4	87,8	35

Com base nos dados da TABELA 5.11 foram construídas as FIGURAS 5.11a e 5.11b, que relacionam a turbidez remanescente e a porcentagem de remoção de turbidez em função do período de sedimentação estabelecido para cada coleta. Da mesma forma, as FIGURAS 5.12a e 5.12b, representam os dados da TABELA 5.12 e as FIGURAS 5.13a e 5.13b, os dados da TABELA 5.13.

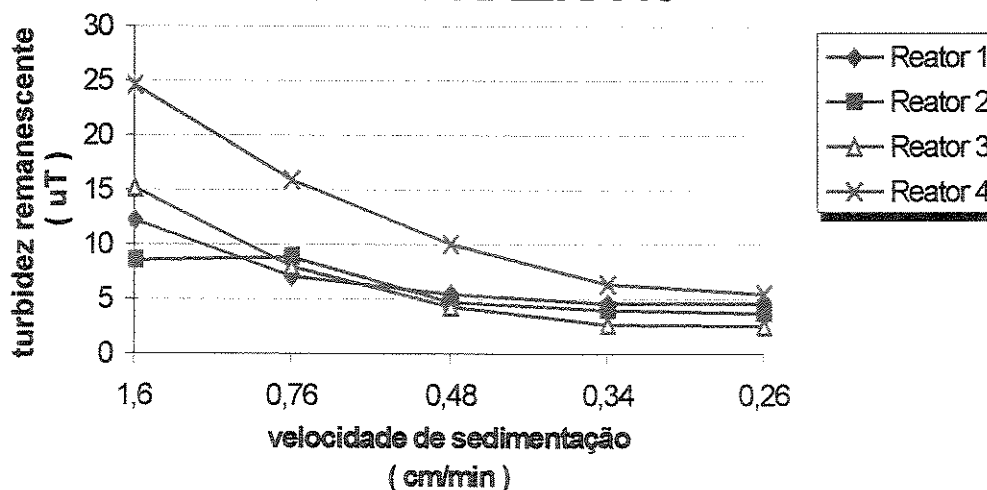


FIGURA 5.10a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 150m³/dia e turbidez da água bruta = 44,0 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 10

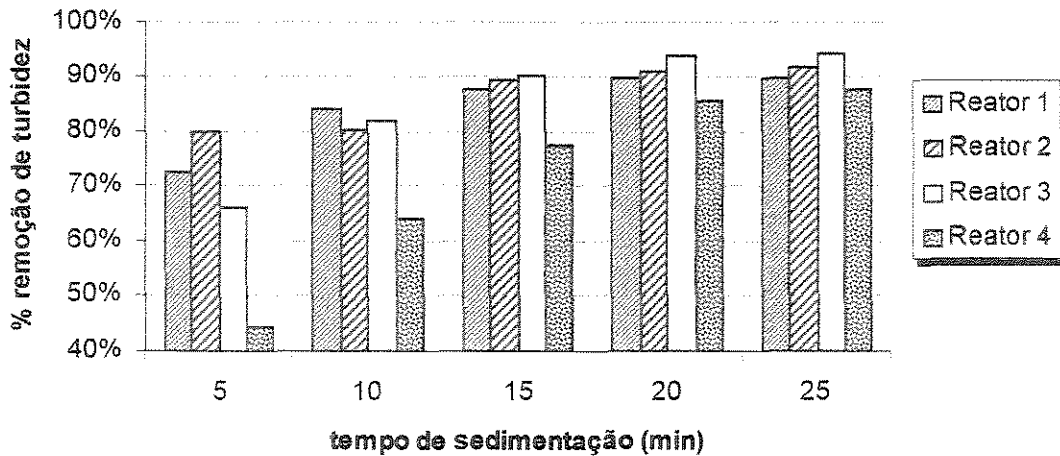


FIGURA 5.10b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = 150m/dia e turbidez da água bruta = 44,0 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 10

TABELA 5.12 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = 150m³/m².d; turbidez da água bruta = 17,0 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
11	R1	9,1	5,5	67,7	4,0	76,5	3,3	80,6	3,0	82,4	2,7	84,1	3
	R2	9,0	3,1	81,8	2,8	83,5	2,4	85,9	2,4	85,9	2,3	86,5	2
	R3	9,0	6,3	62,9	2,4	85,9	1,7	90,0	1,5	91,2	1,3	92,4	13
	R4	8,9	10,4	38,8	4,0	76,5	2,7	84,1	2,1	87,7	1,9	88,8	50

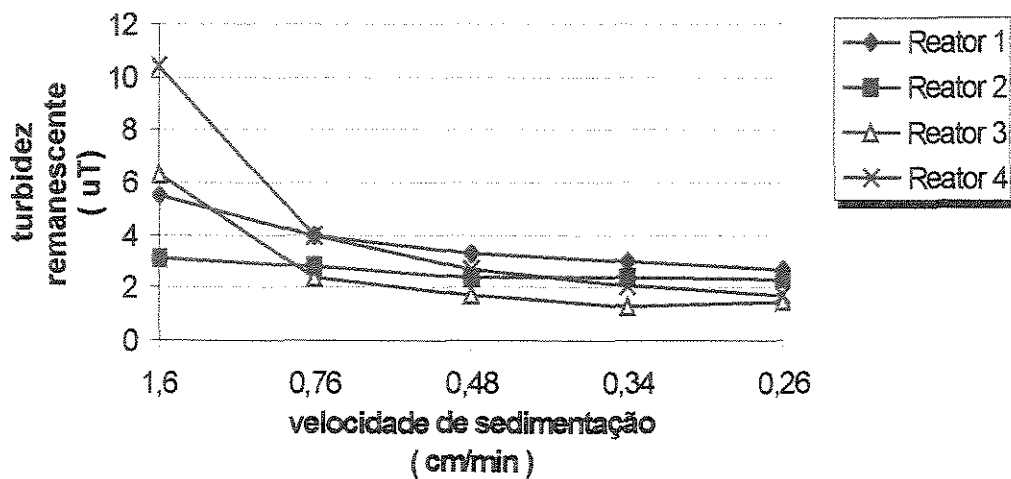


FIGURA 5.11a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com taxa = 150m/dia e turbidez da água bruta = 17,0 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 11

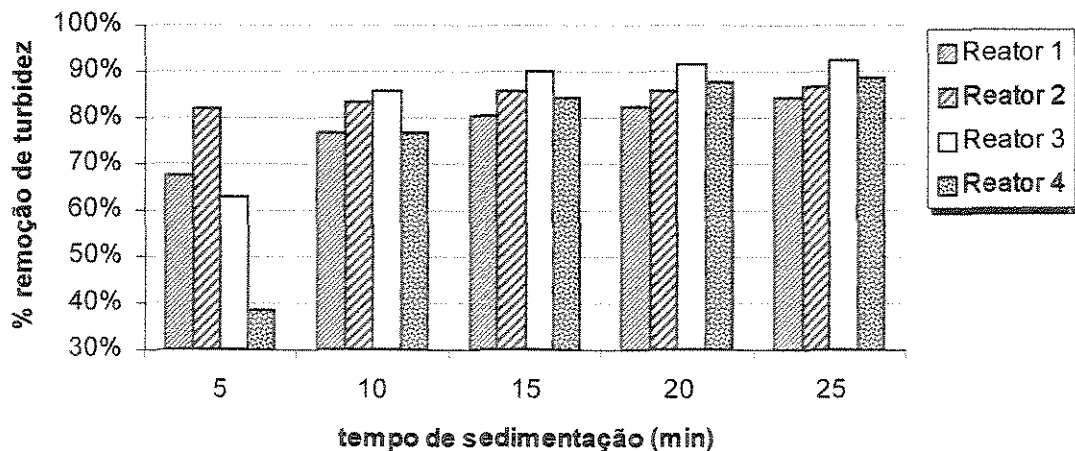


FIGURA 5.11b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com taxa = 150m/dia e turbidez da água bruta = 17,0 uT, após 32 horas de operação para a Carreira 11

TABELA 5.13 Resultados de turbidez residual no sobrenadante para Taxa = $90\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 17,7 (uT) após 32 horas de operação. FONTE: ANEXO C

Carreira	Reator	pH do efluente	Turbidez										Perda de carga (mm)
			Ts = 5min		Ts = 10min		Ts = 15min		Ts = 20min		Ts = 25min		
			uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	uT	% rem.	
12	R1	9,1	9,8	44,6	7,3	93,2	6,1	65,5	5,8	67,2	4,8	72,9	2
	R2	9,1	9,4	46,9	8,0	54,8	7,8	55,9	6,7	62,2	5,9	66,7	1
	R3	9,0	3,8	78,5	1,4	92,1	1,1	93,8	1,1	93,8	0,9	94,9	7
	R4	9,0	7,2	59,3	4,1	76,8	3,0	83,1	2,5	85,9	1,9	89,3	25

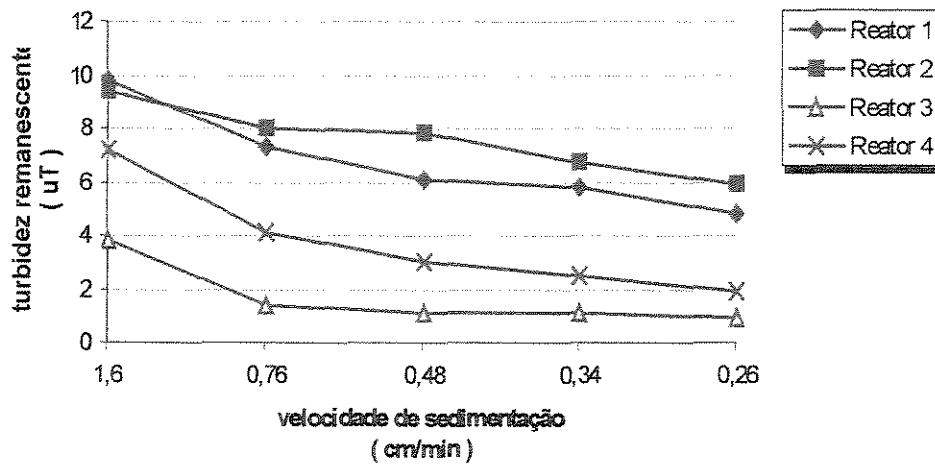


FIGURA 5.12a Curvas de turbidez residual em função da velocidade de sedimentação com Taxa = $90\text{m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 17,7 (uT), após 32 horas de operação para a Carreira 12

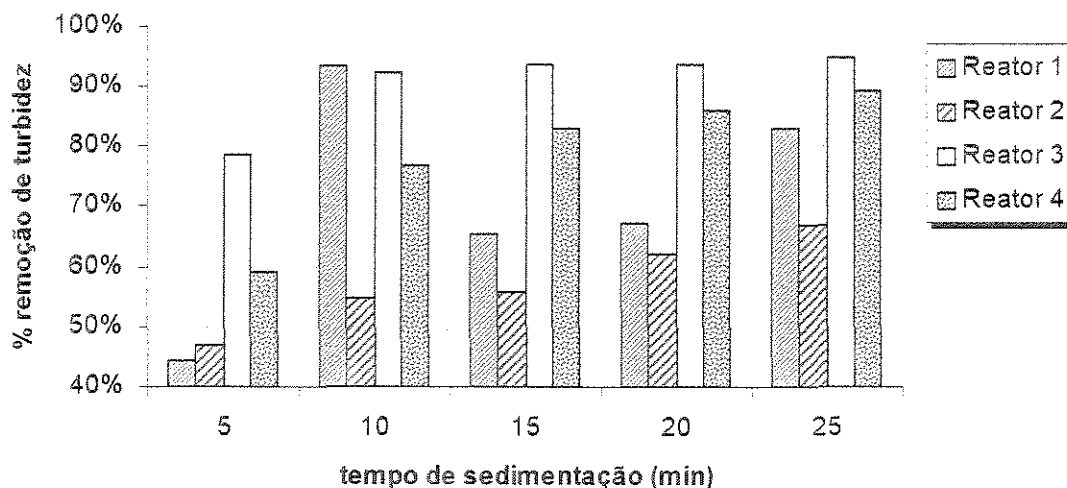


FIGURA 5.12b Porcentagem de remoção de turbidez em função da velocidade de sedimentação com Taxa = $90 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$; turbidez da água bruta = 17,7 (uT), após 32 horas de operação para a Carreira 12

Nessa 3ª série de carreiras, para a taxa de $150 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, os resultados médios da turbidez do sobrenadante produzido pelos quatro reatores para o tempo de sedimentação igual a 5 minutos podem ser considerados semelhantes (ver TABELA 5.14 apresentada a seguir). Destaca-se, porém a ocorrência de transpasse de sólidos no final das carreiras para os reatores R_3 e R_4 , conforme mostrado nas TABELAS 5.11 e 5.12 e respectivas FIGURAS 5.11a, 5.11b, 5.12a e 5.12b.

No ensaio da carreira 12, para a taxa de $90 \text{ m}^3/\text{m}^2.\text{d}$, verificou-se novamente a tendência de queda de eficiência dos reatores R_1 e R_2 para taxas menores, quando os reatores preenchidos por pedregulho demonstraram melhores resultados.

Para facilitar a análise global dos resultados obtidos na presente pesquisa, construiu-se a TABELA 5.14, contemplando um resumo dos principais dados obtidos nas 12 carreiras de floculação realizadas.

TABELA 5.14 - Resumo dos principais resultados obtidos nos ensaios de floculação.

CARREIRA	TAXA (m ³ /m ² .d)	REATOR	pH do efluente	TURBIDEZ		Perda de carga total no final da carreira (mm)
				Média na Água Bruta (uT)	Sobrenadante (uT) p/ Vs = 1,6 cm/min	
1	180	R1	7,5 - 8,0	29,4	1,9	2
		R2	7,3 - 8,2		3,1	1
		R3	7,4 - 7,8		1,8	5
		R4	7,4 - 7,8		2,5	20
2	120	R1	7,3 - 8,9	59,3	5,8	2
		R2	7,5 - 8,9		11,8	1
		R3	7,5 - 8,9		3,6	5
		R4	7,2 - 8,9		3,8	25
3	60	R1	7,2 - 9,8	24,5	6,6	3
		R2	7,2 - 9,8		8,3	1
		R3	7,5 - 9,8		1,9	8
		R4	7,6 - 9,7		2,1	20
4	180	R1	7,3 - 9,9	18,7	5,2	4
		R2	7,4 - 9,9		6,3	2
		R3	7,4 - 9,9		3,5	20
		R4	7,4 - 9,9		5,5	95
5	180	R1	7,4 - 9,5	61,1	3,8	2
		R2	7,4 - 9,5		7,3	1
		R3	7,4 - 9,5		7,0	13
		R4	7,5 - 9,5		13,6	55
6	180	R1	7,7 - 9,5	70,8	4,1	3
		R2	7,7 - 9,5		7,2	2
		R3	7,8 - 9,5		6,7	13
		R4	7,7 - 9,5		14,4	75
7	120	R1	7,5 - 9,8	22,9	6,6	4
		R2	7,5 - 9,8		5,9	2
		R3	7,5 - 9,7		4,8	11
		R4	7,5 - 9,7		8,9	50
8	120	R1	8,4 - 9,5	27,3	9,6	2
		R2	8,3 - 9,5		11,7	1
		R3	8,8 - 9,5		9,1	10
		R4	8,8 - 9,5		5,3	55
9	120	R1	7,4 - 9,7	20,3	2,4	4
		R2	7,4 - 9,8		9,8	3
		R3	7,5 - 9,8		7,3	15
		R4	7,8 - 9,8		11,4	70
10	150	R1	7,1 - 9,8	34,0	10,6	3
		R2	7,1 - 9,8		11,4	2
		R3	7,3 - 9,8		7,4	10
		R4	7,4 - 9,8		15,7	35
11	150	R1	8,2 - 9,1	23,8	5,7	3
		R2	8,1 - 9,0		3,4	2
		R3	8,2 - 9,0		3,6	13
		R4	8,3 - 8,9		5,4	50
12	90	R1	9,0 - 9,2	19,5	7,9	2
		R2	9,0 - 9,3		8,6	1
		R3	9,0 - 9,1		3,8	7
		R4	8,9 - 9,0		5,3	25

6 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos durante toda a fase experimental de ensaios de floculação nos reatores piloto, pode-se concluir que:

6.1 Os reatores operados em regime de escoamento de transição e laminar preenchido com feixes de tubulações em série apresentam-se como alternativa viável para aplicação como unidades de floculação hidráulica em fluxo de escoamento ascendente;

6.2 O uso de feixes de tubulações com diâmetro de 20 (R₁) e 32mm (R₂), nas condições investigadas, comparativamente com o uso de pedregulho com grãos variando entre 6,4 e 38,1mm (R₃) e 4,8 e 31,7mm (R₄) de diâmetro, na construção de floculadores hidráulicos de fluxo ascendente, manifestaram melhores resultados para taxas de carregamento hidráulico de 180 m³/m².dia;

6.3 Para a taxa de carregamento hidráulico de 180 m³/m².dia, o reator R₁, demonstrou a formação de flocos com maiores velocidade de sedimentação ($V_s \geq 1,6$ cm/min) que o reator R₂;

6.4 Nas condições de coagulação da água bruta afluyente à ETA-Fonte, onde foi realizada a pesquisa, com valores de pH variaram entre 7,0 e 10,0, os reatores

constituídos de pedregulho R_3 e R_4 , demonstraram a formação de flocos com maiores velocidade de sedimentação ($V_s \geq 1,6$ cm/min) que os reatores R_1 e R_2 ;

6.5 Nas condições de coagulação e taxas de carregamento hidráulico investigadas, variando entre 60 e 180 m^3/m^2 .dia, o reator R_3 apresentou melhor desempenho como unidade de floculação que o reator R_4 ;

6.6 Para as condições em que a coagulação foi praticada na ETA-Fonte, a evolução da perda de carga total nos reatores R_1 e R_2 pode ser considerada nula, considerando-se que os valores máximos registrados após alguns dias de operação foram iguais a 4 e 3 mm, respectivamente. Nos reatores R_3 e R_4 , os valores registrados podem ser considerados baixos, chegando a 20 e 95 mm, respectivamente. Tais dados permitem concluir que a retenção de flocos foi praticamente desprezível nos quatro reatores investigados;

6.7 Os flocos gerados pelos reatores R_1 e R_2 (principalmente R_1), apresentaram maior uniformidade de tamanho, quando comparados aos gerados pelos reatores R_3 e R_4 , pois estes proporcionaram pequenas melhorias na turbidez manifestada pelos sobrenadantes coletados para velocidades de sedimentação menores que 1,6 cm/min;

6.8 O uso dos reatores de floculação hidráulica com escoamento ascendente em regime de transição e laminar com o uso de feixes de tubulações de diâmetro de 20 mm, submetido à taxas de carregamento hidráulico igual a 180 m^3/m^2 .dia, constitui-se em alternativa viável para aplicação no tratamento de águas para abastecimento de pequenas comunidades, porém em período de floculação menor, em torno de 11 minutos.

7 RECOMENDAÇÕES

Com base nos resultados obtidos, recomenda-se que:

7.1 Novos trabalhos de pesquisas devem ser feitas em condições diferentes de coagulação: no mecanismo de varredura, porém, em pH mais próximo do neutro;

7.2 Outros diâmetros de tubos deverão ser investigados;

7.2 Verificar o comportamento dos reatores quando a limpeza do leito for suprimida entre carreiras;

7.4 É desejável o acompanhamento da turbidez do efluente dos reatores com equipamento do tipo "fluxo contínuo".

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- 1 APHA, AWWA, WEF. *Standard methods for the examination of water and wastewater*. 19^a ed. Washington, 1995.
- 2 ARGAMAN, Y. *Pilot-plants studies of flocculation*. Journal AWWA, v63, n12, p775-777, 1971.
- 3 AZEVEDO NETTO, J.M. et al, ***Planejamento de sistemas de abastecimento de água***. Publicação da Universidade Federal do Paraná e da Organização Pan-Americana da Saúde, 1973.
- 4 AZEVEDO NETTO, J.M. e ALVAREZ, G.A. ***Manual de hidráulica***. Editora Edgard Blücher Ltda, 7^a edição revista e complementada, 1991.
- 5 BASTOS, F.A.A. ***Problemas de mecânica dos fluidos***. Editora Guanabara Koogan S.A., 1983.
- 6 BRANCO, S.M. ***Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária***. Convênio BNH, ABES e CETESB. São Paulo, 1978.
- 7 BUENO, B.S. e VILAR, O.M. *Mecânica dos solos – Volume 1*. USP, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia. São Carlos, 1984, publicação 062/94, reimpressão.
- 8 CARRARA, S.M.C.M. *Estudo da viabilidade do reuso de efluentes líquidos gerados em processos de galvanoplastia por tratamento físico-químico*. Tese de mestrado, UNICAMP, 1997.

- 9 CAVICCHIA, L.R. *Análise crítica da determinação indireta da permeabilidade nos materiais granulares em função da distribuição de vazios*. Tese, Universidade Estadual de Campinas, 1986.
- 10 CETESB. **Água subterrânea e poços tubulares**, tradução da 1ª edição do original norte-americano publicado pelo UOP Johnson Division Saint Paul, Minnesota. 2 ed. rev., São Paulo, 1974.
- 11 COIADO, E.M. *Escoamento em condutos forçados – Notas de aula*. UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Hidráulica e Saneamento. P-GR-617-200, Campinas, março/1995.
- 12 DACACH, N. G. **Saneamento Básico**. Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- 13 DENETT, K.E. *Coagulation: its effect on organic matter*. Journal AWWA, p.129-142, abril 1996.
- 14 DI BERNARDO, L.; MENDES, C.G.N. e GUIMARÃES, A.F. *Coagulação-floculação de águas com turbidez e cor elevada: parte I*. Revista DAE, v.47, n.150, p.227-231, 1987.
- 15 DI BERNARDO, L. *Coagulação-floculação*. Universidade de São Paulo, Escola de Engenharia de São Carlos: USP, São Carlos, 1990 apud STAHL (1996).
- 16 DI BERNARDO, L. **Métodos e Técnicas de Tratamento de Água**. ABES, Rio de Janeiro, 1993.
- 17 DI BERNARDO, L. *et al. Eficiência da floculação realizada em reatores estáticos e em unidades de escoamento contínuo*. Congresso Brasileiro de Engenharia Sanitária e Ambiental, 18. Anais. Rio de Janeiro: ABES, 1995.
- 18 EDWARDS, G.A. e AMIRTHARAJAH, A. *Removing color caused by humic acids*. Journal A.W.W.A., v.77, n.3, p.50-57, 1985.
- 19 FADEL, A.A. e BAUMANN, E.R. *Tube settler modeling*. *Journal of Environmental Engineering*, v.116, n.1, p. 107-124, 1990.

- 20 FERREIRA FILHO, S.S. e LAGE FILHO, F.A. *Comportamento químico do alumínio e do ferro em meio aquoso e implicações no tratamento de água*. SANARE - Revista Técnica Sanepar, v.6, n. 6, p.50-58, 1996.
- 21 H. SOBRINHO, J.A. et al. *Optimizing submerged jet flocculator performance*. Journal AWWA, v.88, n.8, p.81-92, 1996.
- 22 HAMMER, M. J. **Sistemas de abastecimento de água e esgotos**. Tradução de Sérgio A. S. Almeida, Rio de Janeiro: Livros Técnicos e Científicos, 1979.
- 23 HARDENBERG, W.A. **Abastecimento e purificação da água**. Associação Inter-Americana de Engenharia Sanitária, 1ª Edição, 1988.
- 24 ISAAC, R.L. *Apostila de curso EC-711: "Abastecimento de Água"*. UNICAMP, Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, P-GR-711-100, 1997.
- 25 JANSSENS, J.G. e BUEKENS, E. *Assesment of process selection for particle removal in surface water treatment*. J. Water SRT –Aqua, v.42, n.5, p.279-228, 1993.
- 26 LEME, F. P. **Engenharia do saneamento ambiental**. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1982.
- 27 _____ **Engenharia do saneamento ambiental**. LTC-Livros Técnicos e Científicos Editora S.A., Rio de Janeiro, 1984.
- 28 LEONARDS, G.A. **Foundation Engineering – International Student Edition**. McGraw-Hill Book Company, INC. 1962.
- 29 LIBÂNIO, M. et al. *Avaliação do modelo de Argaman & Kaufaman na estimativa do desempenho de unidades de floculação aplicadas ao tratamento das águas de abastecimento*. Engenharia Sanitária e Ambiental, ano I, v.2, p.11-18, 1996.
- 30 LIBÂNIO, M. et al. *Análise da influência da variação dos gradientes de velocidade no desempenho das unidades de floculação*. Engenharia Sanitária e Ambiental, v.2, n.2, p.63-69, 1997.

- 31 MACKOUL, L.J. P.E. *Pilot testing contact flocculation-filtration on New England surface water supplies*. Journal NEWWA, pp. 289-201, september, 1994.
- 32 McCONNACHIE, G.L. *Water treatment for developing countries using baffled-chanel hydraulic flocculation*. Proc. Instrn. civ. Engrs. Wat., Marit. & Energy, 1993, 101, Mar, 55-61.
- 33 MENDES, C.G.N. *Estudo da Coagulação e Floculação de Águas Sintéticas e Naturais com Turbidez e Cor Variáveis*. Tese de Doutorado. Escola de Engenharia de São Carlos – USP, 1989.
- 34 NGO, H.H. et al. *Mathematical modeling of downflow medium filter (DFF) with in-line flocculation arrangement*. Wat. Sci. Tech., v. 34, n. 3-4, p. 355-362, 1996.
- 35 NGO, H.H. e VIGNESWARAN, S. *Aplication of floating medium filter in water and wastewater treatment with contact-flocculation filtration arrangement*. Wat. Res., v. 29, n 9, p. 2211-2213, 1995.
- 36 NOGUEIRA, J.B. *Mecânica dos solos*. USP, Escola de Engenharia de São Carlos – Departamento de Geotecnia. São Carlos, 1988. Publicação 042/94 (reimpressão).
- 37 NOUR, E.A.A. *Apostila de curso EC-817: "Laboratório de Saneamento"*. UNICAMP, Departamento de Hidráulica e Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil, P-GR-817-100, fev / 1996.
- 38 PÁDUA, V.L. *Metodologia para determinação dos gradientes de velocidade médios em unidades de floculação de mistura completa com câmaras em série e escoamento contínuo a partir de ensaios em reatores estáticos*. Dissertação de mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos-USP, 1994.
- 39 QUAYE, B.A. *Contact filtration of reservoir water*. Water Supply, v.9, Jönköping, p.559-563, 1991.
- 40 RICHTER, C.A. *Uso de telas em estações de tratamento*. Revista DAE, v.45, n.143, Dezembro de 1985.
- 41 RICHTER, C. A. e AZEVEDO NETTO, J.M. *Tratamento de água: tecnologia atualizada*. Editora Edgard Blücher LTDA, 1991.

- 42 SAMPAIO, C.A.A. *Remoção de ferro e manganês pelo pré-tratamento de águas de abastecimento com permanganato de potássio*. Tese de mestrado, UNICAMP, 1995.
- 43 SAWYER, C.N. e McCARTY, P.L. *Chemistry for environmental engineering*. New York: McGraw-Hill, 3ªed., 1978.
- 44 SCHULZ, C.R. et al. *Evaluating buoyant coarse media flocculation*. Journal AWWA, p.51-63, august, 1994.
- 45 SERAPHIM, L.A. *Mecânica dos solos I, EC 623*. UNICAMP, Faculdade de Engenharia Civil, Departamento de Geotecnia e Transporte. P-GR-623-100, 1995.
- 46 STAHL, N.S.P. *Influência do uso de carvão ativado em pó no pré-tratamento de águas de abastecimento*. Tese de mestrado, UNICAMP, 1996.
- 47 TCHOBANOGLOUS, G. e SCHROEDER, E.D. **Water Quality**. Addison – Wesley Publishing Company, Califórnia, 1985 apud STAHL (1996).
- 48 VARGAS, M. *Introdução à Mecânica dos solos*. São Paulo, Editora McGraw-Hill do Brasil Ltda, 1977.
- 49 VON SPERLING, M. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos: princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. UFMG, Departamento de Engenharia Sanitária e Ambiental. Belo Horizonte, 1996.
- 50 WAGNER, E.G. *Management and operations*. Journal AWWA, p.168-173, april 1983.
- 51 WEBER Jr, W.J. **Physicochemical processes for water quality control**. New York: John Wiley, 1972 apud CARRARA, 1997.

ANEXO A FÓRMULAS E CONSTANTES UTILIZADAS

Gradiente de velocidade nos reatores de meio granular		
ver Tab. 4.2	$G = 6,22 \times 10^{-1} V / D$	G = gradiente de velocidade, em s^{-1} V = velocidade frontal ($V = Q/A$), em m/dia D = diâmetro (tamanho) das partículas, em mm
Perda de carga		
ver Tab. 4.2	$J = \frac{5\mu V (1-\varepsilon)^2}{g \cdot \varepsilon^3} (6/D)^2$ $J = 1,228 \times V / D^2$	J = perda de carga unitária no meio poroso, mm/m V = velocidade frontal, em m/dia D = tamanho representativo do grão, em mm
Período de floculação		
ver Tab. 4.2	T = Vol / Vazão ou $T = 1,001 \times 10^3 / V$	T = tempo de floculação, em min V = velocidade frontal, em m/dia ε_0 = porosidade do meio (adotado $\varepsilon=0.39$)
Vazão em orifícios		
ver Tab. 4.3	$Q = C_d \cdot a \cdot \sqrt{2gh}$ $C_d = C_c \cdot C_v =$ $= 0,62 \times 0,985 = ,61$	Q = vazão (descarga), em m^3/s $C_d = C_c \cdot C_v$ = coeficiente de descarga ou de vazão a = seção do orifício (sem contração), em m^2 g = 9,81 = aceleração da gravidade, em m/s^2 h = altura de carga disponível, em m

PROPRIEDADES FÍSICAS DA ÁGUA
 Fonte: adaptado de Azevedo Netto, 1991

Temperatura °C	Peso específico (γ) kg / m ³	Coefficiente de viscosidade (μ) kg.s / m ²	Viscosidade cinemática (ν) m ² / s
20	998,23	0,0001029	0,000001007
25	996,95	0,0000922	0,000000924
30	995,67	0,0000815	0,000000804

POROSIDADE EM FUNÇÃO DAS CARACTERÍSTICAS DO MEIO GRANULAR

Fonte: adaptado de Di Bernardo, 1993

Forma dos grãos	Porosidade (ϵ)
Esférica	0,38
Arredondada	0,38
Desgastada	0,39
Aguda	0,40
Angular	0,43
Triturada	0,48

ANEXO B PROPRIEDADES E ESPECIFICAÇÕES DO COAGULANTE

CLORETO FÉRRICO			
PROPRIEDADES		ESPECIFICAÇÕES	
Fórmula química	FeCl ₃	Aparência	Líquida
Peso molecular	270,35	Coloração	Marrom
Densidade a 20° C (kg / L)	1,42	FeCl ₂ (peso %)	< 0,5
Concentração (em peso)	38 à 40%	HCl (peso %)	< 1,0

FONTE: adaptado do catálogo do fornecedor *

* Nheel Química
Rodovia Washington Luis, km 176 – Rio Claro / SP

ANEXO C BANCO DE DADOS GERADOS COM A ETAPA EXPERIMENTAL

TABELA C.1 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

1ª CARREIRA		TAXA: 180 m ³ / m ² .dia												
DATA		13/Set	14/Set	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9	20,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-		
TEMP. °C	Ar	22	21	-	-	-	-	-	-	-	-	MAX	MIN	
	Água	23	22,5	-	-	-	-	-	-	-	-	22	21	
Δh (mm)	Reator 1	2	3	-	-	-	-	-	-	-	-	3	2	
	Reator 2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	-	2	2	
	Reator 3	5	10	-	-	-	-	-	-	-	-	10	5	
	Reator 4	15	40	-	-	-	-	-	-	-	-	40	15	
pH	Bruta	7,0	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	7,0	7,0	
	Alcalina	9,7	9,7	-	-	-	-	-	-	-	-	9,7	9,7	
	Coagulada	7,4	7,0	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	7,0	
	Reator 1	7,6	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	7,6	7,5	
	Reator 2	7,5	7,3	-	-	-	-	-	-	-	-	7,5	7,3	
	Reator 3	7,4	7,4	-	-	-	-	-	-	-	-	7,4	7,4	
	Reator 4	7,4	7,5	-	-	-	-	-	-	-	-	7,5	7,4	
Turbidez (NTU)	Bruta	34,6	24,9	-	-	-	-	-	-	-	-	34,6	24,9	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	2,1	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	1,7
		T ₂ : - 10min	2,1	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	2,1	1,5
		T ₃ : - 15min	2,0	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,6
		T ₄ : - 20min	2,0	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,7
	T ₅ : - 25min	2,0	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,5	
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	5,5	1,9	-	-	-	-	-	-	-	-	5,5	1,9
		T ₂ : - 10min	5,0	1,8	-	-	-	-	-	-	-	-	5,0	1,8
		T ₃ : - 15min	4,7	1,7	-	-	-	-	-	-	-	-	4,7	1,7
		T ₄ : - 20min	4,3	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	1,6
	T ₅ : - 25min	3,6	1,5	-	-	-	-	-	-	-	-	3,6	1,5	
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	2,0	1,6	-	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,6
		T ₂ : - 10min	1,9	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,9	0,9
		T ₃ : - 15min	1,7	0,8	-	-	-	-	-	-	-	-	1,7	0,8
		T ₄ : - 20min	1,6	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	0,7
	T ₅ : - 25min	1,6	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,6	0,7	
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T ₁ : após 5min		2,6	3,2	-	-	-	-	-	-	-	-	2,6	3,2	
T ₂ : - 10min		1,4	0,9	-	-	-	-	-	-	-	-	1,4	0,9	
T ₃ : - 15min		1,2	0,7	-	-	-	-	-	-	-	-	1,2	0,7	
T ₄ : - 20min		1,3	0,6	-	-	-	-	-	-	-	-	1,3	0,6	
T ₅ : - 25min	1,1	0,5	-	-	-	-	-	-	-	-	1,1	0,5		

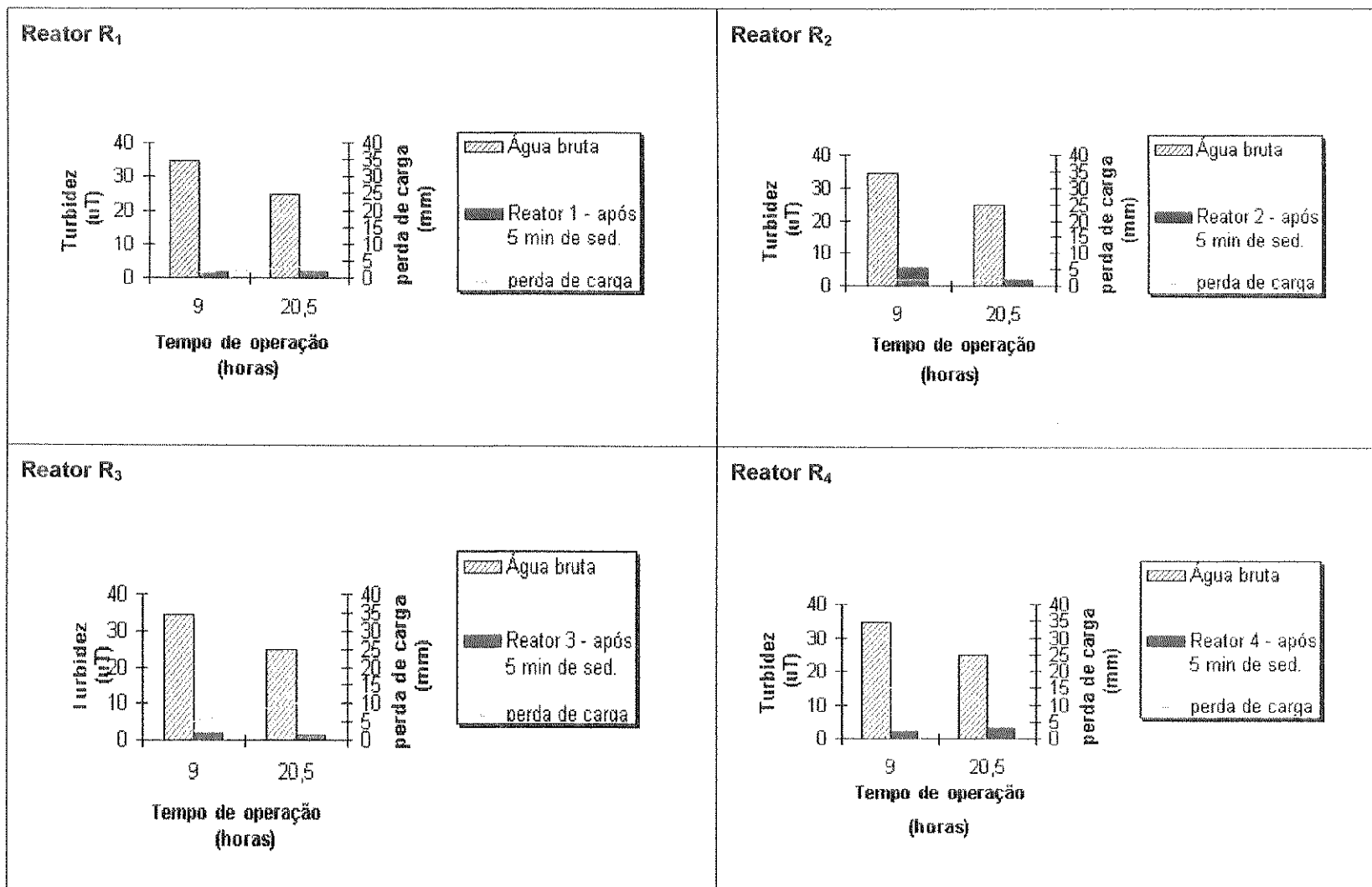


FIGURA 3.A -Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 1 (taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.2 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

2ª CARREIRA		TAXA: 120 m ³ / m ² .dia											
DATA		20/Set	21/Set	21/Set	-	-	-	-	-	-	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	-	-	-	-	-	-			
TEMP. °C	Ar	23	21	23	-	-	-	-	-	-	23	21	
	Água	24,5	23,5	25	-	-	-	-	-	-	25	23,5	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	2	2	
	Reator 2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	1	1	
	Reator 3	4	6	7	-	-	-	-	-	-	7	4	
	Reator 4	10	25	30	-	-	-	-	-	-	30	10	
pH	Bruta	6,9	6,8	6,9	-	-	-	-	-	-	6,9	6,8	
	Alcalina	10,4	9,9	10,1	-	-	-	-	-	-	10,4	9,9	
	Coagulada	8,8	7,7	9,0	-	-	-	-	-	-	9,0	7,7	
	Reator 1	8,8	8,4	8,9	-	-	-	-	-	-	8,9	8,4	
	Reator 2	8,8	8,9	8,9	-	-	-	-	-	-	8,9	8,8	
	Reator 3	8,9	8,3	8,9	-	-	-	-	-	-	8,9	8,3	
	Reator 4	8,8	8,4	8,9	-	-	-	-	-	-	8,9	8,4	
Turbidez (NTU)	Bruta	103,0	46,1	48,9	-	-	-	-	-	-	103,0	46,1	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	15,6	2,1	2,4	-	-	-	-	-	-	15,6	2,1
		T ₂ : - 10min	15,7	1,8	2,1	-	-	-	-	-	-	15,7	1,8
		T ₃ : - 15min	12,6	1,7	1,9	-	-	-	-	-	-	12,6	1,7
		T ₄ : - 20min	12,2	1,7	1,8	-	-	-	-	-	-	12,2	1,7
	Reator 2	T ₅ : - 25min	11,7	1,7	1,7	-	-	-	-	-	-	11,7	1,7
		T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	14,3	8,4	10,3	-	-	-	-	-	-	14,3	8,4
		T ₂ : - 10min	12,0	6,1	9,1	-	-	-	-	-	-	12,0	6,1
		T ₃ : - 15min	11,3	5,8	9,0	-	-	-	-	-	-	11,3	5,8
	Reator 3	T ₄ : - 20min	10,7	5,7	8,6	-	-	-	-	-	-	10,7	5,7
		T ₅ : - 25min	10,6	4,4	7,1	-	-	-	-	-	-	10,6	4,4
		T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	4,8	1,7	3,9	-	-	-	-	-	-	4,8	1,7
		T ₂ : - 10min	3,9	1,5	2,0	-	-	-	-	-	-	3,9	1,5
	Reator 4	T ₃ : - 15min	3,7	1,4	1,6	-	-	-	-	-	-	3,7	1,4
		T ₄ : - 20min	3,5	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	3,5	1,3
		T ₅ : - 25min	3,4	1,3	1,5	-	-	-	-	-	-	3,4	1,3
		T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T ₁ : após 5min		3,0	2,3	4,6	-	-	-	-	-	-	3,0	2,3	
Reator 4	T ₂ : - 10min	2,5	1,7	2,2	-	-	-	-	-	-	2,5	1,7	
	T ₃ : - 15min	2,2	1,0	1,7	-	-	-	-	-	-	2,2	1,0	
	T ₄ : - 20min	2,1	0,8	1,7	-	-	-	-	-	-	2,1	0,8	
	T ₅ : - 25min	2,1	0,8	1,3	-	-	-	-	-	-	2,1	0,8	

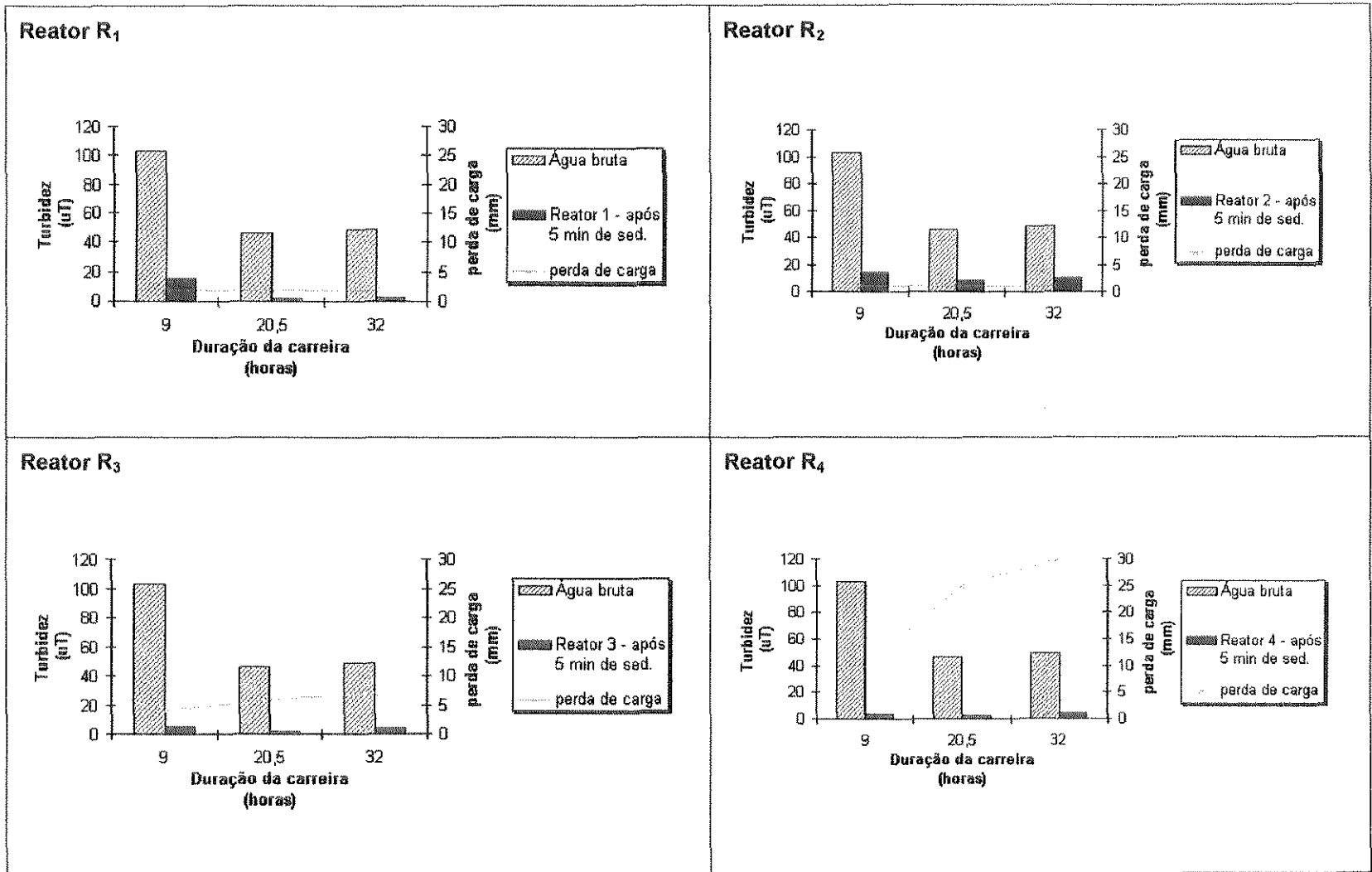


FIGURA C.2 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 2 para a (taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2 \cdot \text{dia}$)

TABELA C.3 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluyente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

3ª CARREIRA		TAXA: 60 m ³ /m ² .dia											
DATA		27/Set	28/Set	28/Set	29/Set	29/Set	30/Set	30/Set	01/Out	01/Out	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	55,0	66,5	78,0	89,5	100,0			
TEMP. °C	Ar	23	20	26	25	25	21	25	25	30	30	20	
	Água	23,5	22	24,5	24	25,5	24	25	24,5	27	27	22	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	2	2	2	2	2	3	3	3	2	
	Reator 2	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	
	Reator 3	3	4	5	5	5	5	6	6	8	8	3	
	Reator 4	4	8	10	12	15	15	17	18	20	20	4	
pH	Bruta	7,0	7,0	7,1	7,0	7,2	7,0	7,1	7,0	7,1	7,2	7,0	
	Alcalina	8,5	9,5	10,4	10,4	10,1	9,8	9,4	9,0	10,0	10,4	8,5	
	Coagulada	7,0	9,5	9,4	9,7	9,2	8,9	7,1	6,9	7,8	9,7	6,9	
	Reator 1	8,3	9,8	9,4	9,5	8,6	8,7	7,3	7,2	7,7	9,8	7,2	
	Reator 2	8,3	9,8	9,4	9,6	9,6	8,7	7,3	7,2	7,7	9,8	7,2	
	Reator 3	8,3	9,8	9,2	9,5	8,4	8,6	7,6	7,5	7,7	9,8	7,5	
	Reator 4	8,3	9,7	9,3	9,5	8,3	8,6	7,7	7,6	7,7	9,7	8,3	
Turbidez (NTU)	Bruta	18,9	24,0	23,0	24,0	26,0	28,0	27,0	23,0	27,0	28,0	18,9	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	9,9	9,2	7,0	7,4	8,6	6,6	3,8	3,5	3,9	9,9	3,5
		T ₂ : - 10min	8,6	7,5	5,2	5,7	7,6	6,0	3,0	2,7	3,0	8,6	2,7
		T ₃ : - 15min	8,4	6,4	4,6	4,8	7,3	4,9	2,3	2,1	2,7	8,4	2,1
		T ₄ : - 20min	7,7	5,2	4,1	4,0	6,8	4,8	2,2	1,9	2,3	7,7	1,9
		T ₅ : - 25min	7,3	4,3	3,5	2,9	6,3	3,9	2,0	1,7	2,0	7,3	1,7
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	10,8	9,5	8,8	8,9	11,4	9,3	5,0	6,1	5,3	11,4	5,0
		T ₂ : - 10min	9,6	7,4	7,1	6,9	10,5	6,6	4,5	3,8	4,3	10,5	3,8
		T ₃ : - 15min	9,5	6,0	5,9	5,3	10,0	6,2	3,6	3,3	3,5	10,0	3,3
		T ₄ : - 20min	8,7	5,1	4,8	4,6	9,3	5,6	3,3	2,9	3,2	9,3	2,9
		T ₅ : - 25min	7,8	4,4	4,1	3,6	7,6	4,5	2,6	2,1	2,6	7,8	2,1
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	2,3	2,0	1,7	2,2	3,5	2,5	0,9	1,2	1,2	3,5	0,9
		T ₂ : - 10min	2,3	1,6	1,1	1,4	2,4	1,5	0,7	1,1	1,0	2,4	0,7
		T ₃ : - 15min	2,3	1,4	1,1	1,3	2,1	1,4	0,7	1,0	0,8	2,3	0,7
		T ₄ : - 20min	2,2	1,4	1,0	1,2	2,0	1,3	0,7	0,9	0,8	2,2	0,7
		T ₅ : - 25min	2,2	1,4	1,0	1,0	1,9	1,2	0,6	0,9	0,8	2,2	0,6
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	1,5	1,9	1,8	2,6	3,6	3,2	1,8	1,0	1,4	3,6	1,0
T ₂ : - 10min		1,5	1,0	1,0	1,3	2,0	1,4	0,6	0,9	0,7	2,0	0,6	
T ₃ : - 15min		1,5	0,8	0,7	0,9	1,9	1,0	0,6	0,7	0,7	1,9	0,6	
T ₄ : - 20min		1,5	0,7	0,7	0,8	1,6	1,0	0,5	0,7	0,7	1,6	0,5	
T ₅ : - 25min		1,5	0,7	0,7	0,7	1,2	0,9	0,4	0,3	0,6	1,5	0,3	

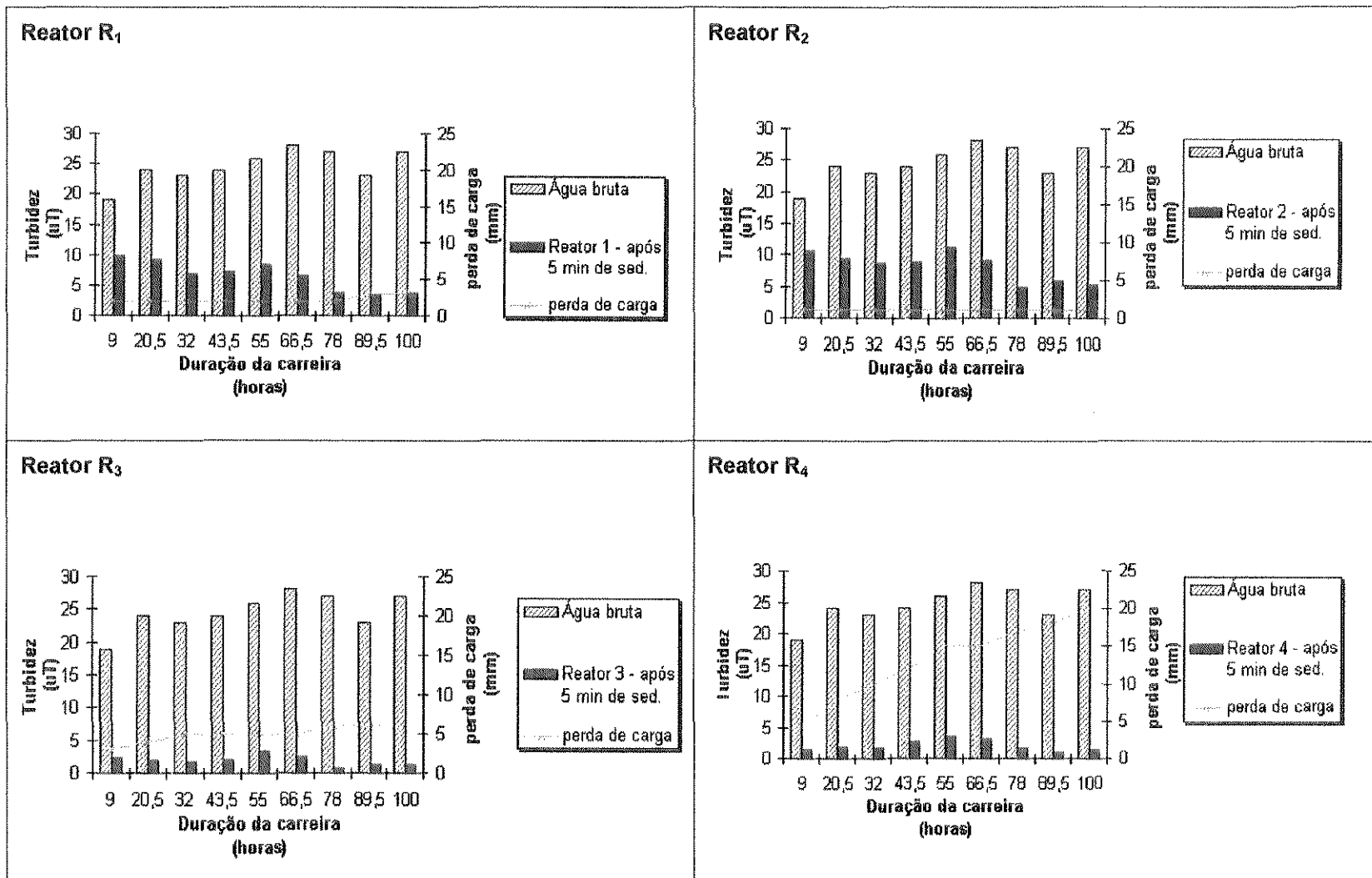


FIGURA C.3-Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 3 (taxa = $60\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.4 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

4ª CARREIRA		TAXA: 180 m ³ / m ² .dia											
DATA		14/Out	15/Out	15/Out	16/Out	-	-	-	-	-	-	-	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	-	-	-	-	-	-	MAX MIN	
TEMP. °C	Ar	29	25	28	-	-	-	-	-	-	-	29 25	
	Água	26	24,5	27,5	27	-	-	-	-	-	-	27,5 24,5	
Δh (mm)	Reator 1	2	3	4	4	-	-	-	-	-	-	4 2	
	Reator 2	1	1	2	2	-	-	-	-	-	-	2 1	
	Reator 3	5	8	15	20	-	-	-	-	-	-	20 5	
	Reator 4	30	30	70	95	-	-	-	-	-	-	95 30	
pH	Bruta	7,1	7,0	7,3	7,1	-	-	-	-	-	-	7,3 7,0	
	Alcalina	9,5	10,0	9,7	10,1	-	-	-	-	-	-	10,1 9,5	
	Coagulada	7,4	9,9	8,0	9,4	-	-	-	-	-	-	9,9 7,4	
	Reator 1	7,3	9,9	8,1	9,3	-	-	-	-	-	-	9,9 7,3	
	Reator 2	7,4	9,9	8,2	9,3	-	-	-	-	-	-	9,9 7,4	
	Reator 3	7,4	9,8	8,2	9,1	-	-	-	-	-	-	9,8 7,4	
	Reator 4	7,4	9,8	8,3	9,0	-	-	-	-	-	-	9,8 7,4	
Turbidez (NTU)	Bruta		23,0	14,0	19,6	18,2	-	-	-	-	-	23,0 14,0	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	5,3	5,5	5,0	4,9	-	-	-	-	-	-	5,5 4,9
		T ₂ : - 10min	4,3	3,9	3,3	3,1	-	-	-	-	-	-	4,3 3,1
		T ₃ : - 15min	3,6	3,0	3,0	2,4	-	-	-	-	-	-	3,6 2,4
		T ₄ : - 20min	3,1	2,5	2,6	2,2	-	-	-	-	-	-	3,1 2,2
		T ₅ : - 25min	2,9	2,3	2,3	1,9	-	-	-	-	-	-	2,9 1,9
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	7,4	7,6	5,1	5,2	-	-	-	-	-	-	7,6 5,1
		T ₂ : - 10min	5,3	5,6	4,2	4,0	-	-	-	-	-	-	5,6 4,0
		T ₃ : - 15min	4,2	4,5	3,4	3,1	-	-	-	-	-	-	4,5 3,1
		T ₄ : - 20min	3,7	4,0	3,0	2,7	-	-	-	-	-	-	4,0 2,7
		T ₅ : - 25min	2,9	2,8	2,7	2,3	-	-	-	-	-	-	2,9 2,3
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	2,0	4,5	2,5	4,9	-	-	-	-	-	-	4,9 2,0
		T ₂ : - 10min	1,9	2,4	1,5	2,3	-	-	-	-	-	-	2,4 1,5
		T ₃ : - 15min	1,9	1,6	1,4	1,4	-	-	-	-	-	-	1,9 1,4
		T ₄ : - 20min	1,8	1,3	1,3	1,0	-	-	-	-	-	-	1,8 1,4
		T ₅ : - 25min	1,7	1,2	1,3	1,1	-	-	-	-	-	-	1,7 1,1
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T ₁ : após 5min		2,9	6,3	4,9	7,7	-	-	-	-	-	-	7,7 2,9	
T ₂ : - 10min		1,2	2,7	2,7	4,9	-	-	-	-	-	-	4,9 1,2	
T ₃ : - 15min		1,0	1,6	1,9	2,3	-	-	-	-	-	-	2,3 1,0	
T ₄ : - 20min		1,0	1,3	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-	1,5 1,0	
T ₅ : - 25min		1,0	0,8	1,2	0,9	-	-	-	-	-	-	1,2 0,8	

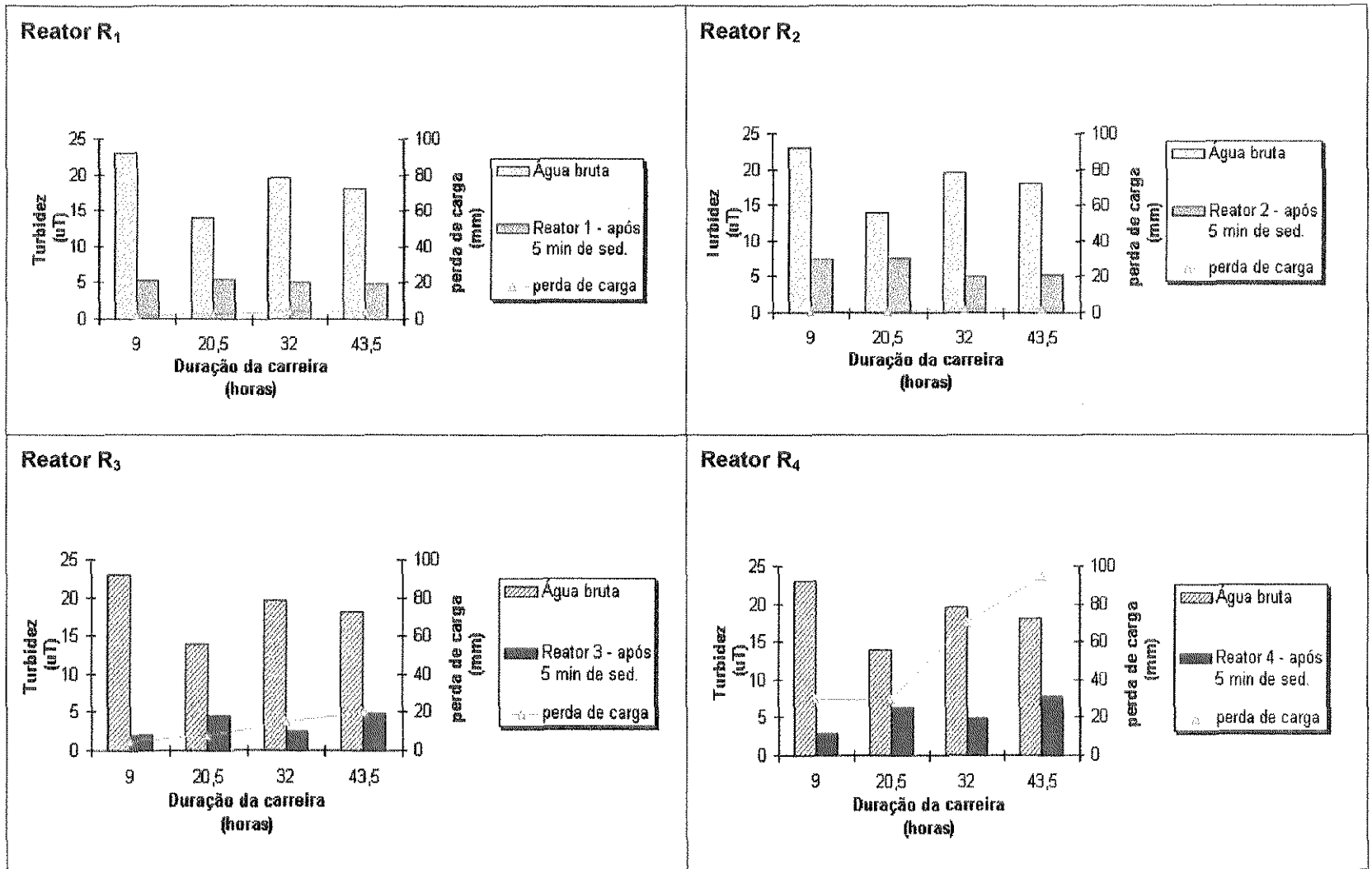


FIGURA C.4 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 4 (taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.5 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

5ª CARREIRA		TAXA: 180 m ³ / m ² .dia											
DATA		18/Out	19/Out	19/Out	20/Out	-	-	-	-	-	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	-	-	-	-	-			
TEMP. °C	Ar	22	20	20	21	-	-	-	-	-	22	20	
	Água	24,5	24	24,5	23,5	-	-	-	-	-	24,5	23,5	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	2	2	-	-	-	-	-	2	2	
	Reator 2	1	1	1	1	-	-	-	-	-	1	1	
	Reator 3	7	9	11	13	-	-	-	-	-	13	7	
	Reator 4	30	40	50	55	-	-	-	-	-	55	30	
pH	Bruta	7,0	6,7	7,0	7,0	-	-	-	-	-	7,0	6,7	
	Alcalina	10,1	9,4	9,7	10,2	-	-	-	-	-	10,2	9,4	
	Coagulada	7,4	8,8	8,1	9,6	-	-	-	-	-	9,6	7,4	
	Reator 1	7,4	8,8	8,3	9,5	-	-	-	-	-	9,5	7,4	
	Reator 2	7,4	8,8	8,2	9,5	-	-	-	-	-	9,5	7,4	
	Reator 3	7,4	8,8	8,4	9,5	-	-	-	-	-	9,5	7,4	
	Reator 4	7,5	8,8	8,4	9,5	-	-	-	-	-	9,5	7,4	
Turbidez (NTU)	Bruta	132,0	6,2	54,7	51,5	-	-	-	-	-	132,0	6,2	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	3,0	3,4	5,0	3,8	-	-	-	-	-	5,0	3,0
		T ₂ : - 10min	3,0	3,1	4,4	3,6	-	-	-	-	-	4,4	3,0
		T ₃ : - 15min	3,0	3,0	4,8	3,5	-	-	-	-	-	4,8	3,0
		T ₄ : - 20min	2,9	2,9	4,3	3,4	-	-	-	-	-	4,3	2,9
		T ₅ : - 25min	2,9	2,7	4,0	3,2	-	-	-	-	-	4,0	2,7
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	10,4	5,6	6,6	6,8	-	-	-	-	-	10,4	5,6
		T ₂ : - 10min	8,7	4,7	6,5	5,6	-	-	-	-	-	8,7	4,7
		T ₃ : - 15min	7,6	4,4	4,2	4,9	-	-	-	-	-	7,6	4,2
		T ₄ : - 20min	7,6	3,9	5,4	4,4	-	-	-	-	-	7,6	3,9
		T ₅ : - 25min	7,3	3,4	4,9	3,9	-	-	-	-	-	7,3	3,4
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
		T ₁ : após 5min	3,4	4,1	11,5	9,1	-	-	-	-	-	11,5	3,4
		T ₂ : - 10min	2,5	2,3	6,7	5,9	-	-	-	-	-	6,7	2,3
		T ₃ : - 15min	2,5	1,9	4,3	3,4	-	-	-	-	-	4,3	1,9
		T ₄ : - 20min	2,4	1,6	4,2	2,5	-	-	-	-	-	4,2	1,6
		T ₅ : - 25min	2,4	1,4	3,4	2,1	-	-	-	-	-	3,4	1,4
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
T ₁ : após 5min		6,0	6,1	15,3	26,9	-	-	-	-	-	26,9	6,0	
T ₂ : - 10min		2,6	3,6	11,4	11,8	-	-	-	-	-	11,8	2,6	
T ₃ : - 15min		2,3	2,4	7,9	5,4	-	-	-	-	-	7,9	2,3	
T ₄ : - 20min		2,2	1,9	6,1	3,0	-	-	-	-	-	6,1	1,9	
T ₅ : - 25min		2,2	1,5	5,4	1,8	-	-	-	-	-	5,4	1,5	

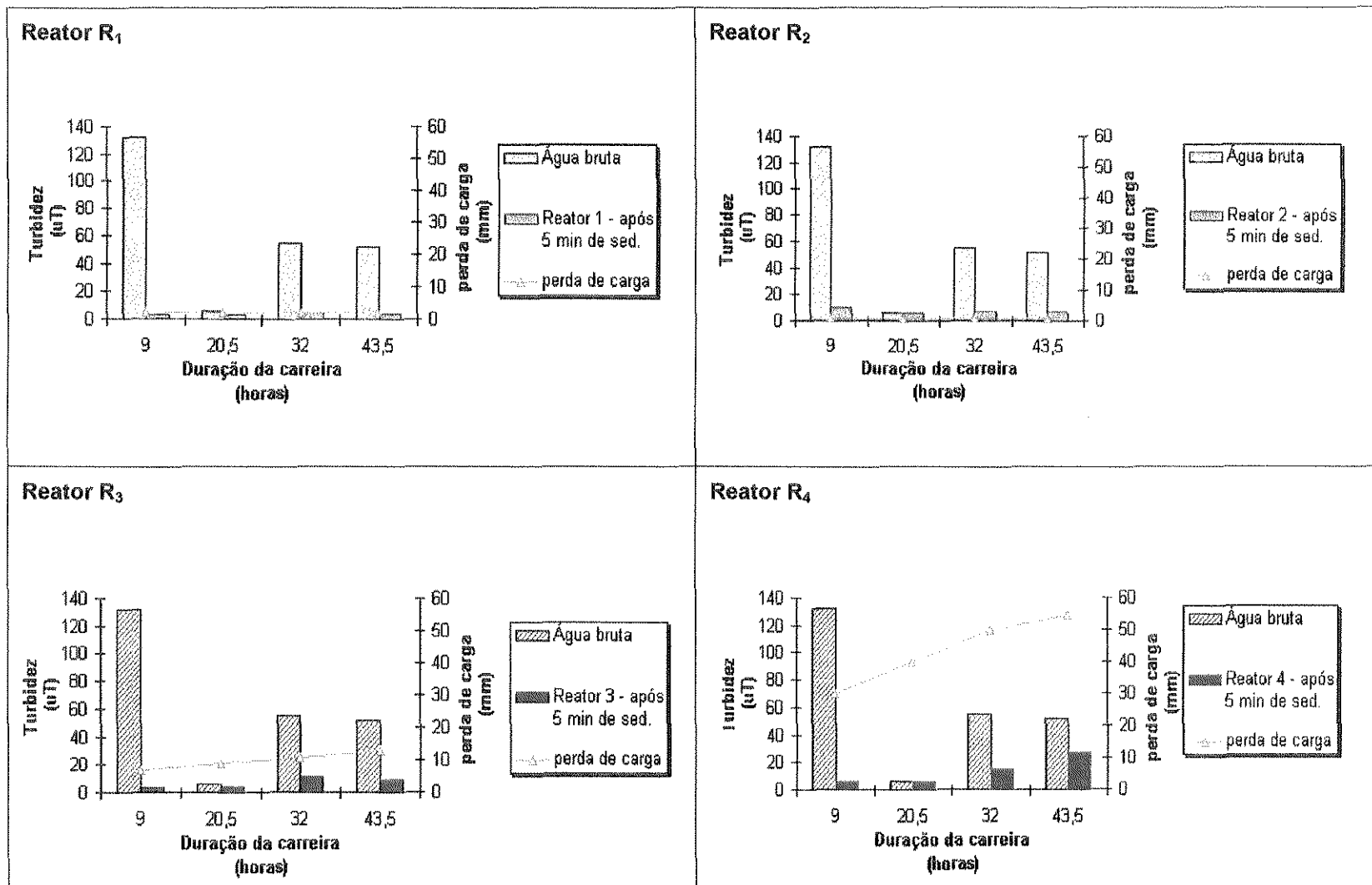


FIGURA C.5 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 5 (taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.6 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

6º CARREIRA		TAXA: 180 m ³ / m ² .dia											
DATA		26/Out	27/Out	27/Out	28/Out	28/Out	-	-	-	-	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	55,0	-	-	-	-			
TEMP. °C	Ar	16	19	19	20	23	-	-	-	-	23	16	
	Água	23	22,5	23	22,5	24	-	-	-	-	24	22,5	
Δh (mm)	Reator 1	1	2	2	2	3	-	-	-	-	3	1	
	Reator 2	1	1	1	1	2	-	-	-	-	2	1	
	Reator 3	5	5	5	6	13	-	-	-	-	13	5	
	Reator 4	30	40	55	65	75	-	-	-	-	75	30	
pH	Bruta	7,2	6,9	7,4	7,2	7,3	-	-	-	-	7,4	6,9	
	Alcalina	10,3	10,0	9,9	10,6	10,3	-	-	-	-	10,6	9,9	
	Coagulada	8,9	9,5	7,4	9,5	7,8	-	-	-	-	9,5	7,4	
	Reator 1	8,6	9,4	7,7	9,5	8,0	-	-	-	-	9,5	7,7	
	Reator 2	8,7	9,4	7,7	9,5	8,0	-	-	-	-	9,5	7,7	
	Reator 3	8,7	9,4	7,8	9,4	7,9	-	-	-	-	9,4	7,8	
	Reator 4	8,8	9,3	7,8	9,5	7,9	-	-	-	-	9,3	7,8	
Turbidez (NTU)	Bruta	20,5	7,04	155,0	90,5	81,2	-	-	-	-	155,0	7,59	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	56,3	158,0	608,0	299,0	343,0	-	-	-	-	608,0	56,3
	T ₁ : após 5min	4,3	3,0	4,8	5,3	3,1	-	-	-	-	5,3	3,0	
	T ₂ : - 10min	3,9	2,0	4,6	3,8	3,0	-	-	-	-	4,6	2,0	
	T ₃ : - 15min	3,9	1,8	4,1	3,8	2,9	-	-	-	-	3,9	1,8	
	T ₄ : - 20min	3,9	1,8	4,1	3,7	2,8	-	-	-	-	3,9	1,8	
	T ₅ : - 25min	3,7	1,7	3,9	3,6	2,7	-	-	-	-	3,9	1,7	
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	18,8	17,9	723,0	318,0	340,0	-	-	-	-	723,0	17,9
	T ₁ : após 5min	12,0	7,3	5,4	7,9	3,6	-	-	-	-	12,0	3,6	
	T ₂ : - 10min	9,8	6,4	5,2	6,4	3,4	-	-	-	-	9,8	3,4	
	T ₃ : - 15min	8,6	5,5	4,8	6,0	3,2	-	-	-	-	8,6	3,0	
	T ₄ : - 20min	7,2	4,8	4,4	5,6	3,0	-	-	-	-	7,2	3,0	
	T ₅ : - 25min	6,2	4,8	4,0	5,1	2,7	-	-	-	-	6,2	4,0	
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	22,2	19,7	293,0	120,0	280,0	-	-	-	-	293,0	19,7
	T ₁ : após 5min	10,8	5,4	7,0	7,8	2,7	-	-	-	-	10,8	2,7	
	T ₂ : - 10min	6,3	4,0	4,5	4,8	2,3	-	-	-	-	6,3	2,3	
	T ₃ : - 15min	4,1	2,7	3,9	3,8	1,9	-	-	-	-	4,1	1,9	
	T ₄ : - 20min	3,2	2,2	3,8	3,2	1,9	-	-	-	-	3,8	1,9	
	T ₅ : - 25min	2,5	2,2	3,8	3,1	1,8	-	-	-	-	3,8	1,8	
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	20,7	15,5	538,0	206,0	333,0	-	-	-	-	538,0	15,5
T ₁ : após 5min	15,5	12,5	13,5	22,8	7,7	-	-	-	-	22,8	7,7		
T ₂ : - 10min	10,7	8,3	7,8	11,3	3,0	-	-	-	-	11,3	3,0		
T ₃ : - 15min	6,8	5,4	7,1	6,7	2,3	-	-	-	-	7,1	2,3		
T ₄ : - 20min	4,9	3,8	5,9	5,2	2,3	-	-	-	-	5,9	2,3		
T ₅ : - 25min	3,5	3,0	5,1	3,7	2,2	-	-	-	-	5,1	2,2		

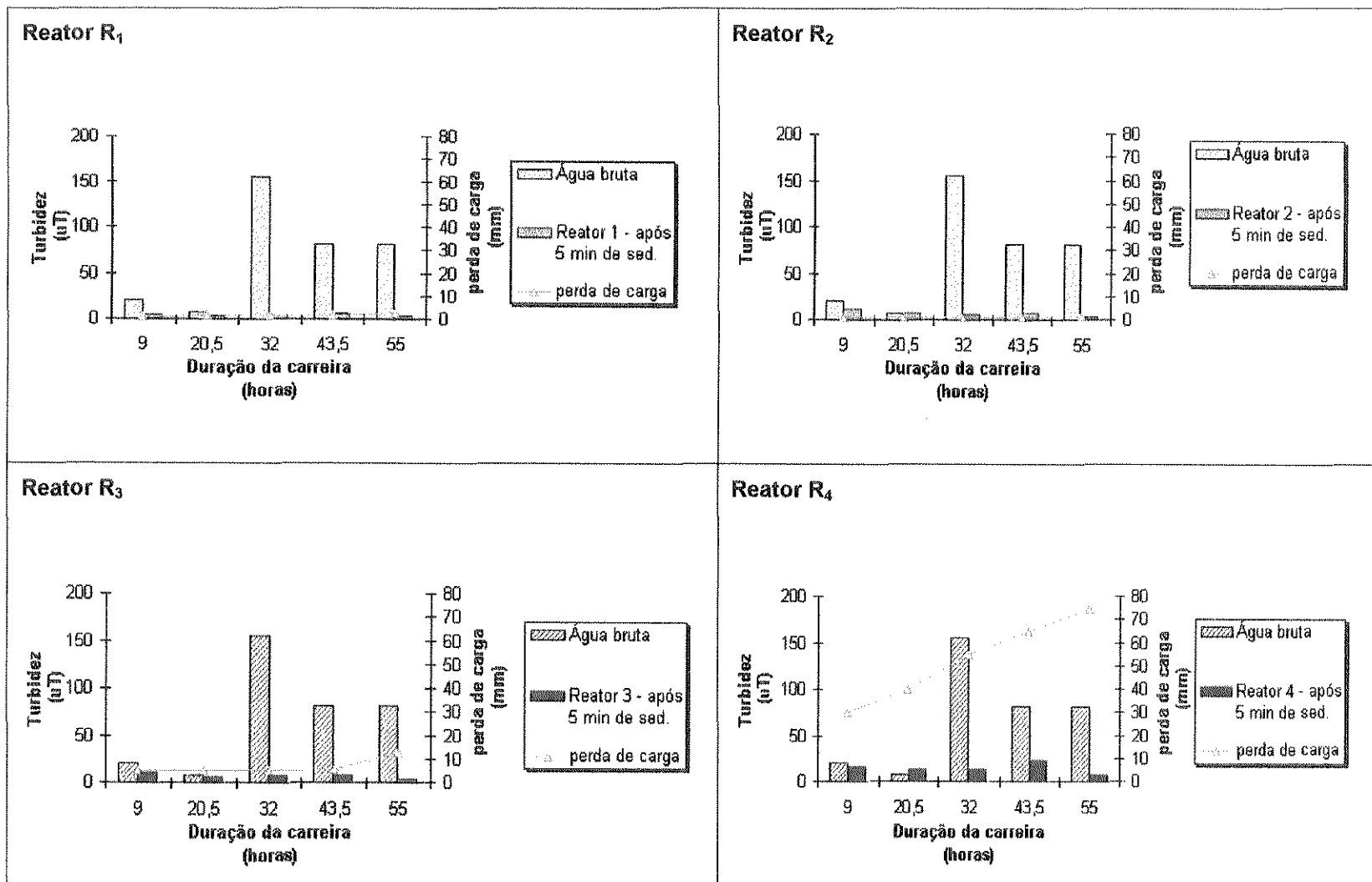


FIGURA C.6- Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 6 (taxa = $180\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.7 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluyente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

7ª CARREIRA		TAXA: 120 m ³ / m ² .dia											
DATA		01/Nov	02/Nov	02/Nov	03/Nov	03/Nov	04/Nov	04/Nov	05/Nov	05/Nov	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	55,0	66,5	78,0	89,5	100,0			
TEMP. °C	Ar	25	19	26	20	25	25	24	20	18	26	18	
	Água	25	24	25,5	24	26	25	25	24,5	24,5	26	24	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	3	3	4	4	4	4	4	4	2	
	Reator 2	1	1	1	1	2	2	2	2	2	2	1	
	Reator 3	5	5	10	10	10	11	11	11	11	11	5	
	Reator 4	20	25	35	40	40	40	45	50	50	50	20	
pH	Bruta	7,0	7,0	7,0	7,1	7,1	6,9	6,7	7,0	7,2	6,7	7,2	
	Alcalina	9,8	10,0	10,2	9,9	9,6	10,2	9,7	10,3	10,5	10,5	9,7	
	Coagulada	9,4	9,2	9,3	8,2	7,4	9,8	7,0	8,6	9,5	9,8	7,0	
	Reator 1	9,1	8,9	9,3	8,4	7,6	9,8	7,5	8,7	9,3	9,8	7,5	
	Reator 2	9,1	8,9	9,3	8,4	7,6	9,8	7,4	8,7	9,4	9,8	7,4	
	Reator 3	9,1	8,9	9,3	8,7	7,7	9,7	7,5	8,8	9,3	9,7	7,5	
	Reator 4	8,9	8,8	9,3	8,8	7,7	9,7	7,5	8,8	9,3	9,7	7,5	
Turbidez (NTU)	Bruta	26,7	7,58	25,1	33,2	27,9	19,4	7,81	23,4	34,7	34,7	7,58	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	16,2	42,8	16,1	14,4	11,2	18,0	27,5	18,8	29,9	42,8	11,2
		T ₁ :após 5min	7,3	2,5	5,7	7,3	4,7	7,6	1,3	9,0	13,7	13,7	1,3
		T ₂ : - 10min	6,2	2,4	3,9	5,1	3,3	4,6	1,1	4,6	7,5	7,5	1,1
		T ₃ : - 15min	5,5	1,8	3,2	4,2	2,8	3,8	1,0	3,5	5,0	5,5	1,0
		T ₄ : - 20min	4,9	1,8	2,8	3,9	2,5	3,2	0,9	2,8	4,1	4,9	0,9
		T ₅ : - 25min	4,4	1,8	2,8	3,4	2,2	2,5	0,9	2,5	3,4	4,4	0,9
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	20,0	8,0	12,5	16,8	13,9	14,7	53,9	128,0	210,0	210,0	8,0
		T ₁ :após 5min	10,0	5,9	6,4	9,1	5,7	8,2	2,0	2,3	3,3	10,0	2,0
		T ₂ : - 10min	8,8	4,8	4,7	7,9	4,5	6,8	1,3	1,9	2,2	8,8	1,3
		T ₃ : - 15min	7,9	4,4	4,0	7,5	3,9	5,6	1,0	1,9	2,0	7,9	1,0
		T ₄ : - 20min	6,7	4,0	3,5	6,2	3,5	3,9	1,0	1,8	1,9	6,7	1,0
		T ₅ : - 25min	5,7	3,5	3,1	4,3	3,2	3,5	0,9	1,8	1,8	5,7	0,9
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	16,5	9,7	20,3	203,0	19,6	48,1	13,1	24,2	44,0	203,0	9,7
		T ₁ :após 5min	3,5	4,0	3,6	2,29	2,6	2,9	1,5	9,3	15,6	15,6	1,5
		T ₂ : - 10min	2,6	2,4	1,6	1,4	1,3	1,4	0,6	5,7	6,9	6,9	0,6
		T ₃ : - 15min	2,3	1,8	1,2	1,2	0,9	0,9	0,6	3,5	4,0	4,0	0,6
		T ₄ : - 20min	2,1	1,4	1,1	1,1	0,8	0,8	0,6	2,1	2,7	2,7	0,6
		T ₅ : - 25min	1,8	1,2	1,0	1,0	0,8	0,8	0,5	1,5	2,0	2,0	0,5
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	17,6	8,8	21,3	167,0	197,0	21,2	8,5	21,1	33,9	197,0	8,5
T ₁ :após 5min		6,4	6,0	8,1	4,5	1,5	10,3	5,0	14,6	23,7	23,7	1,5	
T ₂ : - 10min		3,1	3,9	3,3	2,4	0,8	3,8	2,1	10,4	15,1	15,1	0,8	
T ₃ : - 15min		1,9	3,2	1,9	1,5	0,6	1,3	1,7	7,3	10,4	10,4	0,6	
T ₄ : - 20min		1,5	2,1	1,2	1,1	0,6	0,9	1,4	4,8	7,0	7,0	0,9	
T ₅ : - 25min		1,4	1,4	0,9	0,7	0,6	0,8	1,2	3,6	5,3	5,3	0,6	

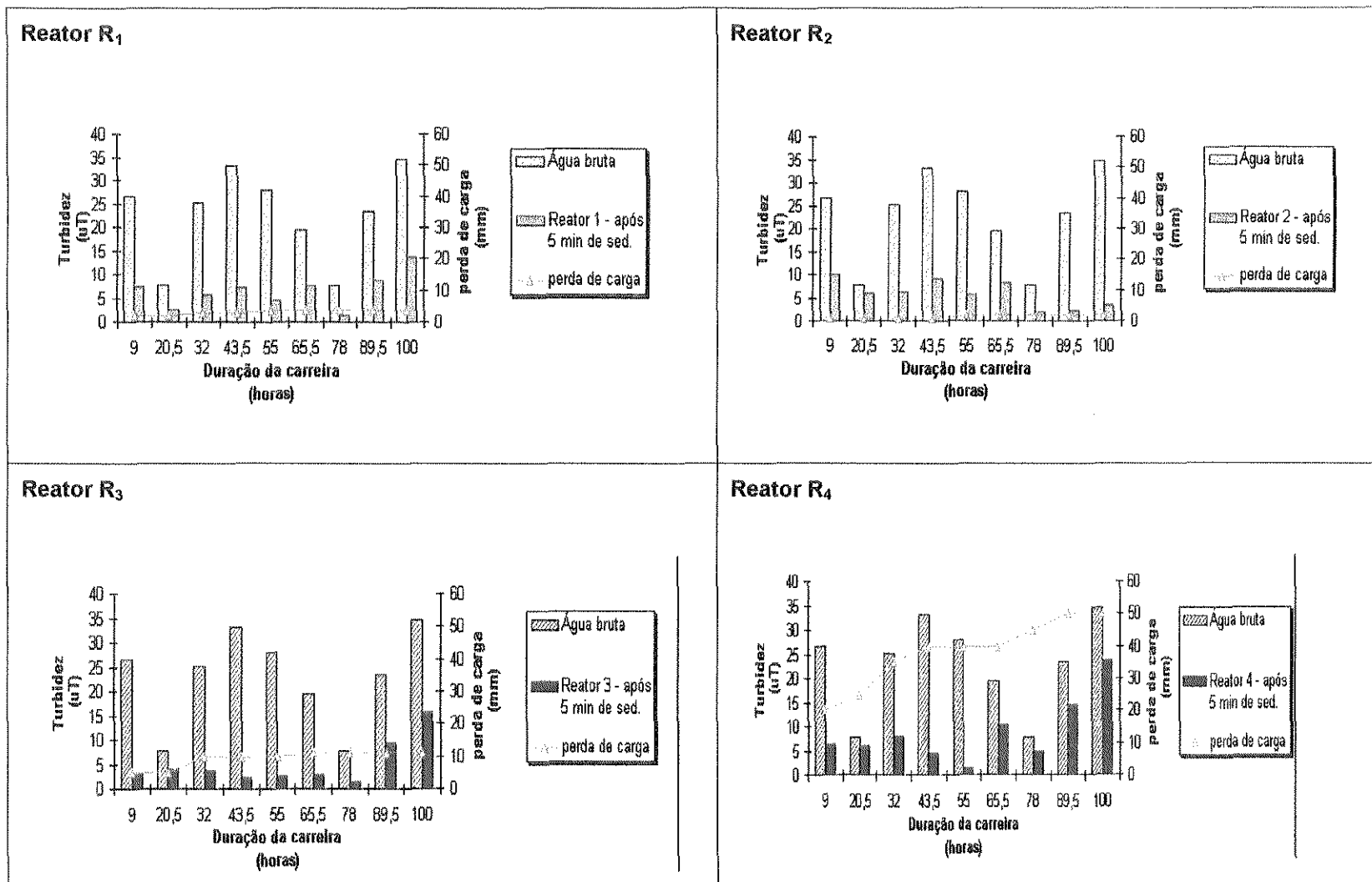


FIGURA C.7 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 7 (taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.8 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

8ª CARREIRA		TAXA: 120 m ³ / m ² .dia											
DATA		11/Nov	12/Nov	12/Nov	13/Nov	13/Nov	-	-	-	-	-		
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	55,0	-	-	-	-	MAX	MIN	
TEMP. °C	Ar	19	21	18	19	18	-	-	-	-	21	18	
	Água	24	22	23	23	23,5	-	-	-	-	24	22	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	2	2	2	-	-	-	-	2	2	
	Reator 2	1	1	1	1	1	-	-	-	-	1	1	
	Reator 3	5	5	8	10	10	-	-	-	-	10	5	
	Reator 4	30	35	40	46	55	-	-	-	-	55	30	
pH	Bruta	7,4	7,3	7,1	6,9	6,9	-	-	-	-	7,4	6,9	
	Alcalina	10,3	9,6	10,0	10,3	9,9	-	-	-	-	10,3	9,6	
	Coagulada	9,7	9,3	8,5	9,6	9,5	-	-	-	-	9,7	8,5	
	Reator 1	9,3	9,1	8,4	9,5	9,3	-	-	-	-	9,5	8,4	
	Reator 2	9,2	9,1	8,3	9,5	9,4	-	-	-	-	9,5	8,3	
	Reator 3	9,1	9,0	8,8	9,5	9,4	-	-	-	-	9,5	8,8	
	Reator 4	9,1	8,9	8,8	9,5	9,4	-	-	-	-	9,5	8,8	
Turbidez (NTU)	Bruta	23,2	27,1	31,7	28,5	26,0	-	-	-	-	31,7	23,2	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	15,9	16,1	17,8	87,4	27,5	-	-	-	-	87,4	15,9
		T ₁ : após 5min	9,3	11,6	10,6	5,5	11,1	-	-	-	-	11,6	5,5
		T ₂ : - 10min	7,0	8,3	7,2	3,6	8,4	-	-	-	-	8,4	3,6
		T ₃ : - 15min	6,1	6,8	5,8	3,2	6,6	-	-	-	-	6,8	3,2
		T ₄ : - 20min	5,6	5,8	4,9	3,2	5,8	-	-	-	-	5,8	3,2
		T ₅ : - 25min	5,6	6,8	4,6	3,0	5,1	-	-	-	-	6,8	3,0
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	23,7	25,1	19,6	22,3	22,4	-	-	-	-	23,7	19,6
		T ₁ : após 5min	10,2	13,1	10,6	11,4	13,1	-	-	-	-	13,1	10,2
		T ₂ : - 10min	8,6	10,1	8,2	8,8	10,5	-	-	-	-	10,5	8,2
		T ₃ : - 15min	7,0	8,3	7,4	8,5	9,2	-	-	-	-	9,2	7,4
		T ₄ : - 20min	6,3	7,5	6,2	7,1	8,0	-	-	-	-	8,0	6,2
		T ₅ : - 25min	15,8	6,5	5,9	6,2	7,2	-	-	-	-	15,8	5,9
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	20,7	18,9	139,0	76,7	20,6	-	-	-	-	139,0	18,9
		T ₁ : após 5min	11,4	10,8	4,2	7,0	12,0	-	-	-	-	12,0	4,2
		T ₂ : - 10min	5,8	6,1	2,2	4,0	7,0	-	-	-	-	7,0	2,2
		T ₃ : - 15min	3,5	3,8	1,7	3,1	4,3	-	-	-	-	4,31	1,7
		T ₄ : - 20min	2,6	2,7	1,5	2,5	3,5	-	-	-	-	3,5	1,5
		T ₅ : - 25min	2,0	2,2	1,4	2,0	3,0	-	-	-	-	3,0	1,4
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	152,0	146,0	214,0	139,0	89,6	-	-	-	-	214,0	89,6
		T ₁ : após 5min	4,5	3,7	5,3	6,7	6,1	-	-	-	-	6,7	3,7
		T ₂ : - 10min	2,2	2,3	2,3	3,7	4,0	-	-	-	-	4,0	2,2
		T ₃ : - 15min	1,9	2,0	2,0	2,9	3,2	-	-	-	-	3,2	1,9
		T ₄ : - 20min	1,6	1,7	1,8	2,6	2,9	-	-	-	-	2,9	1,6
		T ₅ : - 25min	1,4	1,6	1,4	2,3	2,4	-	-	-	-	2,4	1,4

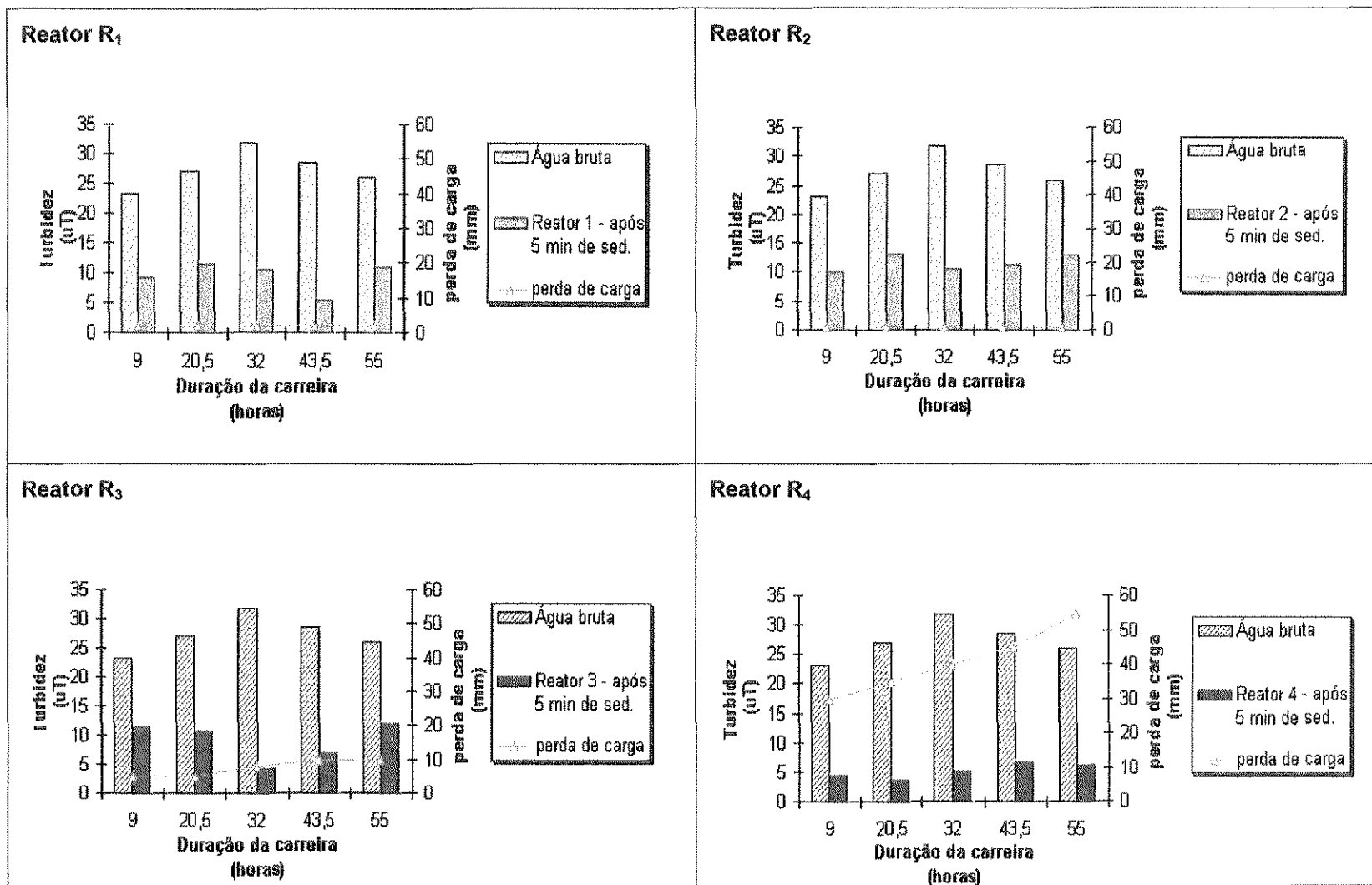


FIGURA C.8 -Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 8 (taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.9 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

9ª CARREIRA		TAXA: 120 m ³ / m ² .dia											
DATA		16/Nov	17/Nov	17/Nov	18/Nov	18/Nov	19/Nov	19/Nov	20/Nov	-	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	43,5	55,0	66,5	78,0	89,5	-			
TEMP. °C	Ar	16	27	18	-	-	31	22	31	-	-	-	
	Água	-	23,5	24	23,5	25	24	25,5	24,5	-	-	-	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	2	2	2	4	4	4	-	4	2	
	Reator 2	1	1	1	1	1	2	2	3	-	3	1	
	Reator 3	5	5	8	10	11	12	15	15	-	15	5	
	Reator 4	15	30	40	45	50	55	65	70	-	70	15	
pH	Bruta	-	7,2	7,2	7,1	7,1	7,1	7,1	7,0	-	7,2	7,0	
	Alcalina	-	10,3	9,9	10,2	9,9	9,7	10,0	9,3	-	10,3	9,3	
	Coagulada	9,3	9,6	8,6	9,8	9,3	8,7	9,2	7,5	-	9,7	7,5	
	Reator 1	9,1	9,6	8,8	9,7	9,2	8,9	9,2	7,4	-	9,7	7,4	
	Reator 2	9,2	9,7	8,9	9,8	9,2	8,9	9,2	7,4	-	9,8	7,4	
	Reator 3	9,2	9,7	9,0	9,8	9,2	9,0	9,2	7,5	-	9,8	7,5	
	Reator 4	9,3	9,6	9,0	9,8	9,2	9,0	9,2	7,8	-	9,8	7,8	
Turbidez (NTU)	Bruta	-	23,0	23,4	18,1	23,4	20,9	19,0	14,1	-	-	-	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	30,0	240,0	207,0	234,0	230,0	242,0	195,0	74,1	-	242,0	30,0
		T ₁ : após 5min	4,5	1,7	2,2	1,5	2,5	1,4	1,8	3,8	-	4,5	1,4
		T ₂ : - 10min	3,9	1,5	1,9	1,4	1,5	1,4	1,6	3,6	-	3,9	1,4
		T ₃ : - 15min	3,5	1,5	1,8	1,4	1,6	1,5	1,5	3,6	-	3,6	1,4
		T ₄ : - 20min	3,4	1,5	1,9	1,4	1,5	1,5	1,5	3,3	-	3,4	1,4
	T ₅ : - 25min	3,5	1,6	1,8	1,3	1,5	1,5	1,7	3,1	-	3,5	1,3	
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	22,0	16,5	17,7	24,1	19,4	15,9	126,0	9,0	-	126,0	9,0
		T ₁ : após 5min	11,6	11,8	13,0	18,7	10,1	7,9	1,9	3,2	-	18,7	1,9
		T ₂ : - 10min	9,5	8,2	11,2	15,7	9,1	5,8	1,9	2,9	-	15,7	1,9
		T ₃ : - 15min	8,0	6,9	9,9	13,2	8,0	5,0	1,9	2,7	-	13,2	1,9
		T ₄ : - 20min	7,1	5,9	8,4	10,9	6,7	3,9	1,8	2,6	-	10,9	1,8
	T ₅ : - 25min	6,3	5,0	7,1	10,4	5,7	3,2	1,8	2,5	-	10,4	1,8	
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	21,1	18,6	18,0	28,6	24,7	21,6	21,7	11,6	-	28,6	11,6
		T ₁ : após 5min	8,6	5,3	9,9	7,5	11,5	3,9	9,9	1,4	-	11,5	1,4
		T ₂ : - 10min	5,0	3,0	5,9	4,1	6,2	2,0	6,2	1,1	-	6,2	1,1
		T ₃ : - 15min	3,5	1,6	3,7	2,0	3,6	1,4	3,9	1,1	-	3,9	1,1
		T ₄ : - 20min	2,6	1,3	2,8	1,5	2,8	1,3	2,7	1,0	-	2,8	1,0
	T ₅ : - 25min	3,5	1,3	2,9	1,2	2,1	1,2	2,1	1,0	-	3,5	1,0	
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	22,7	21,3	28,8	28,7	21,9	29,2	105,0	12,5	-	105,0	12,5
T ₁ : após 5min		12,8	11,4	15,3	14,3	16,5	10,8	6,6	3,5	-	16,5	3,5	
T ₂ : - 10min		9,2	5,0	10,6	7,0	12,4	4,6	4,6	1,7	-	12,4	1,7	
T ₃ : - 15min		6,3	3,3	7,7	4,9	8,5	2,5	4,1	1,1	-	8,5	1,1	
T ₄ : - 20min		4,6	2,1	6,0	2,9	6,5	1,4	3,6	0,7	-	6,5	0,7	
T ₅ : - 25min	3,6	1,5	4,8	1,4	5,0	1,0	3,0	0,6	-	5,0	0,6		

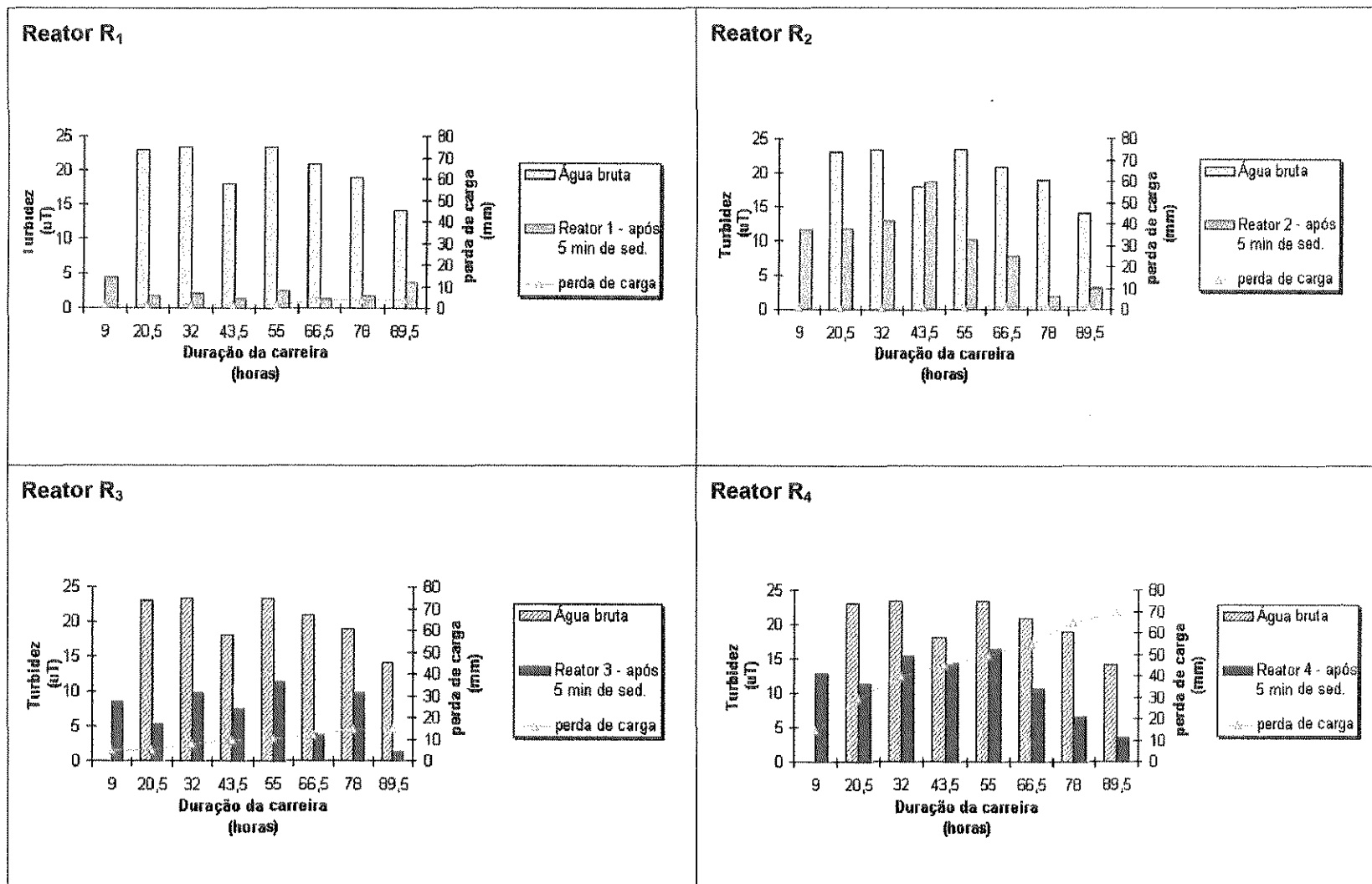


FIGURA C.9 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 9 (taxa = $120\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.10 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

10ª CARREIRA		TAXA: 150 m ³ / m ² .dia												
DATA		22/Nov	23/Nov	23/Nov	-	-	-	-	-	-	-	-		
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	-	-	-	-	-	-	-	-		
TEMP. °C	Ar	18	31	19	-	-	-	-	-	-	-	31	18	
	Água	24	23,5	25	-	-	-	-	-	-	-	25	23,5	
Δh (mm)	Reator 1	2	3	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	
	Reator 2	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	2	1	
	Reator 3	5	8	10	-	-	-	-	-	-	-	10	5	
	Reator 4	20	30	35	-	-	-	-	-	-	-	35	20	
pH	Bruta	7,1	7,0	7,2	-	-	-	-	-	-	-	7,2	7,0	
	Alcalina	10,5	9,5	10,3	-	-	-	-	-	-	-	10,5	10,3	
	Coagulada	9,8	7,0	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,8	7,0	
	Reator 1	9,8	7,1	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,8	7,1	
	Reator 2	9,8	7,1	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,8	7,1	
	Reator 3	9,8	7,3	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,8	7,3	
	Reator 4	9,8	7,4	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,8	7,4	
Turbidez (NTU)	Bruta	20,7	36,9	44,4	-	-	-	-	-	-	-	44,4	20,7	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	19,8	14,5	34,7	-	-	-	-	-	-	-	34,7	14,5
		T ₁ : após 5min	12,9	6,8	12,2	-	-	-	-	-	-	-	12,9	6,8
		T ₂ : - 10min	9,8	4,9	7,1	-	-	-	-	-	-	-	9,8	4,9
		T ₃ : - 15min	8,5	5,2	5,4	-	-	-	-	-	-	-	8,5	5,2
		T ₄ : - 20min	7,3	3,7	4,5	-	-	-	-	-	-	-	7,3	3,7
	T ₅ : - 25min	6,7	3,3	4,5	-	-	-	-	-	-	-	6,7	3,3	
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	31,7	15,0	38,0	-	-	-	-	-	-	-	38,0	15,0
		T ₁ : após 5min	16,5	9,2	8,6	-	-	-	-	-	-	-	16,5	8,6
		T ₂ : - 10min	12,4	7,6	8,8	-	-	-	-	-	-	-	12,4	7,6
		T ₃ : - 15min	11,2	6,1	4,7	-	-	-	-	-	-	-	11,2	4,7
		T ₄ : - 20min	9,4	4,8	4,0	-	-	-	-	-	-	-	9,4	4,0
	T ₅ : - 25min	8,1	4,0	3,7	-	-	-	-	-	-	-	8,1	3,7	
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	31,2	7,9	57,0	-	-	-	-	-	-	-	57,0	7,9
		T ₁ : após 5min	5,7	1,5	15,1	-	-	-	-	-	-	-	15,1	1,5
		T ₂ : - 10min	3,9	0,8	8,0	-	-	-	-	-	-	-	8,0	0,8
		T ₃ : - 15min	2,8	0,8	4,3	-	-	-	-	-	-	-	4,3	0,8
		T ₄ : - 20min	2,3	0,7	2,7	-	-	-	-	-	-	-	2,7	0,7
	T ₅ : - 25min	2,0	0,7	2,5	-	-	-	-	-	-	-	2,5	0,7	
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	19,4	27,9	40,2	-	-	-	-	-	-	-	40,2	0,7
T ₁ : após 5min		17,0	5,5	24,6	-	-	-	-	-	-	-	24,6	5,5	
T ₂ : - 10min		11,5	2,9	15,9	-	-	-	-	-	-	-	15,9	2,9	
T ₃ : - 15min		7,5	1,5	10,0	-	-	-	-	-	-	-	10,0	1,5	
T ₄ : - 20min		5,1	0,9	6,3	-	-	-	-	-	-	-	6,3	0,9	
T ₅ : - 25min	4,0	0,7	5,4	-	-	-	-	-	-	-	5,4	0,7		

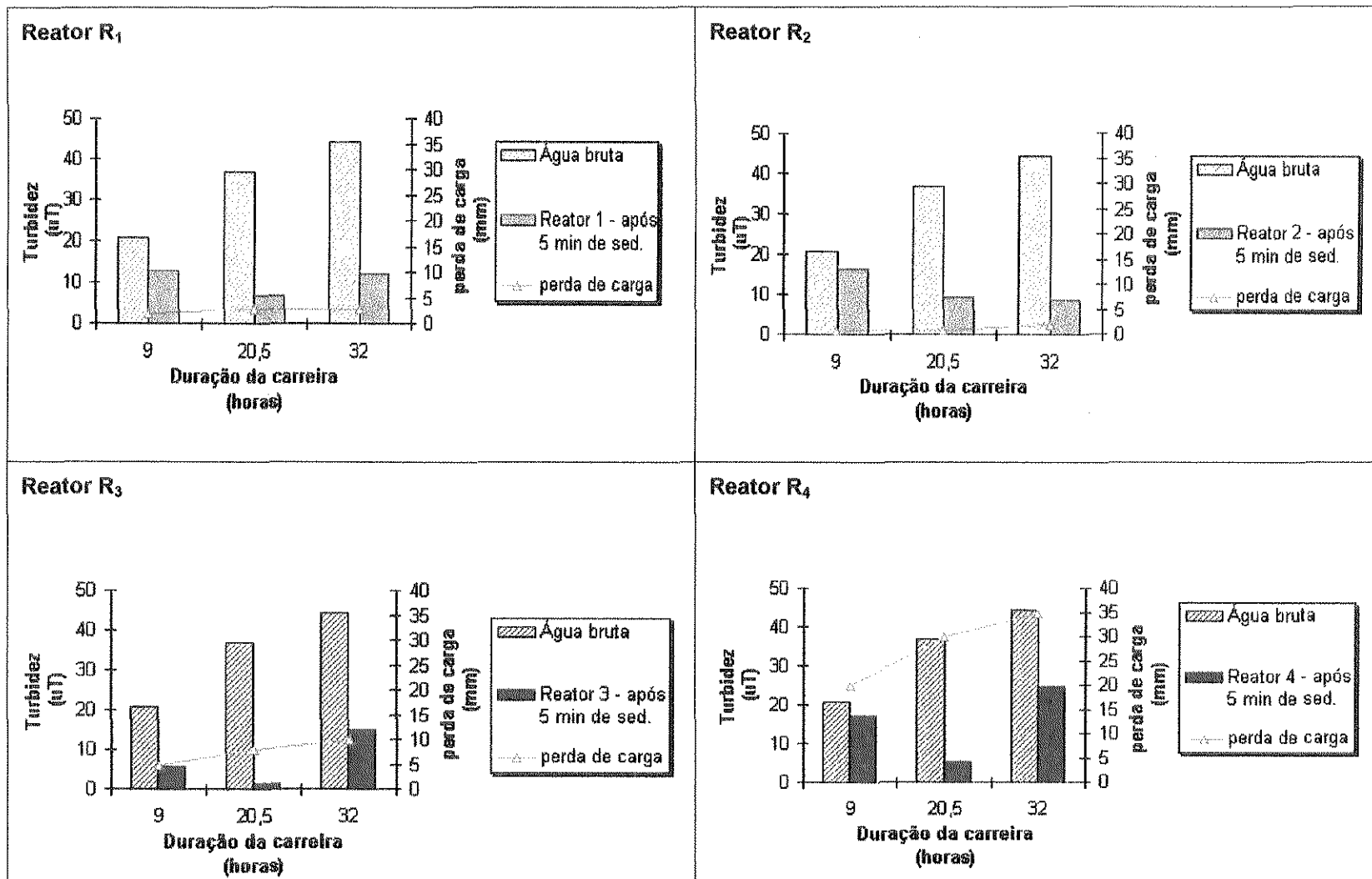


FIGURA C.10- Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 10 (taxa = $150\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.11 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

11ª CARREIRA		TAXA: 150 m ³ / m ² .dia												
DATA		24/Nov	25/Nov	25/Nov	-	-	-	-	-	-	-	MAX	MIN	
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	-	-	-	-	-	-	-			
TEMP. °C	Ar	23	30	24	-	-	-	-	-	-	-	30	23	
	Água	26,5	25	27	-	-	-	-	-	-	-	27	25	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	3	-	-	-	-	-	-	-	3	2	
	Reator 2	1	1	2	-	-	-	-	-	-	-	2	1	
	Reator 3	7	10	13	-	-	-	-	-	-	-	13	7	
	Reator 4	20	30	50	-	-	-	-	-	-	-	50	20	
pH	Bruta	7,1	7,0	7,0	-	-	-	-	-	-	-	7,1	7,0	
	Alcalina	10,4	10,0	10,1	-	-	-	-	-	-	-	10,4	10,0	
	Coagulada	8,3	8,9	9,2	-	-	-	-	-	-	-	9,2	8,3	
	Reator 1	8,2	8,8	9,1	-	-	-	-	-	-	-	9,1	8,2	
	Reator 2	8,1	8,9	9,0	-	-	-	-	-	-	-	9,0	8,1	
	Reator 3	8,2	8,9	9,0	-	-	-	-	-	-	-	9,0	8,2	
	Reator 4	8,3	8,9	8,9	-	-	-	-	-	-	-	8,9	8,3	
Turbidez (NTU)	Bruta	32,8	21,7	17,0	-	-	-	-	-	-	-	32,8	17,0	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	18,6	17,1	16,0	-	-	-	-	-	-	-	18,6	16,0
		T ₁ : após 5min	4,6	7,1	5,5	-	-	-	-	-	-	-	7,1	4,6
		T ₂ : - 10min	3,7	4,7	4,0	-	-	-	-	-	-	-	4,7	3,7
		T ₃ : - 15min	3,2	3,9	3,3	-	-	-	-	-	-	-	3,9	3,2
		T ₄ : - 20min	2,8	3,7	3,0	-	-	-	-	-	-	-	3,7	2,8
		T ₅ : - 25min	2,7	3,1	2,7	-	-	-	-	-	-	-	3,1	2,7
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	8,9	157,0	10,7	-	-	-	-	-	-	-	157,0	8,9
		T ₁ : após 5min	4,2	3,0	3,1	-	-	-	-	-	-	-	4,2	3,0
		T ₂ : - 10min	3,6	2,5	2,8	-	-	-	-	-	-	-	3,6	2,5
		T ₃ : - 15min	3,5	2,4	2,4	-	-	-	-	-	-	-	3,5	2,4
		T ₄ : - 20min	3,3	2,4	2,4	-	-	-	-	-	-	-	3,3	2,4
		T ₅ : - 25min	3,0	2,2	2,3	-	-	-	-	-	-	-	3,0	2,2
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	205,0	90,7	19,8	-	-	-	-	-	-	-	205,0	19,8
		T ₁ : após 5min	1,5	3,0	6,3	-	-	-	-	-	-	-	6,3	1,5
		T ₂ : - 10min	1,2	1,8	2,4	-	-	-	-	-	-	-	2,4	1,2
		T ₃ : - 15min	1,1	1,6	1,7	-	-	-	-	-	-	-	1,7	1,1
		T ₄ : - 20min	1,1	1,5	1,3	-	-	-	-	-	-	-	1,5	1,1
		T ₅ : - 25min	1,1	1,5	1,5	-	-	-	-	-	-	-	1,5	1,1
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	254,0	118,0	19,1	-	-	-	-	-	-	-	254,0	19,1
T ₁ : após 5min		2,5	3,3	10,4	-	-	-	-	-	-	-	10,4	2,5	
T ₂ : - 10min		1,4	1,4	4,0	-	-	-	-	-	-	-	4,0	1,4	
T ₃ : - 15min		1,0	1,3	2,7	-	-	-	-	-	-	-	2,7	1,0	
T ₄ : - 20min		0,8	1,2	2,1	-	-	-	-	-	-	-	2,1	0,8	
T ₅ : - 25min		0,9	1,0	1,7	-	-	-	-	-	-	-	1,7	0,9	

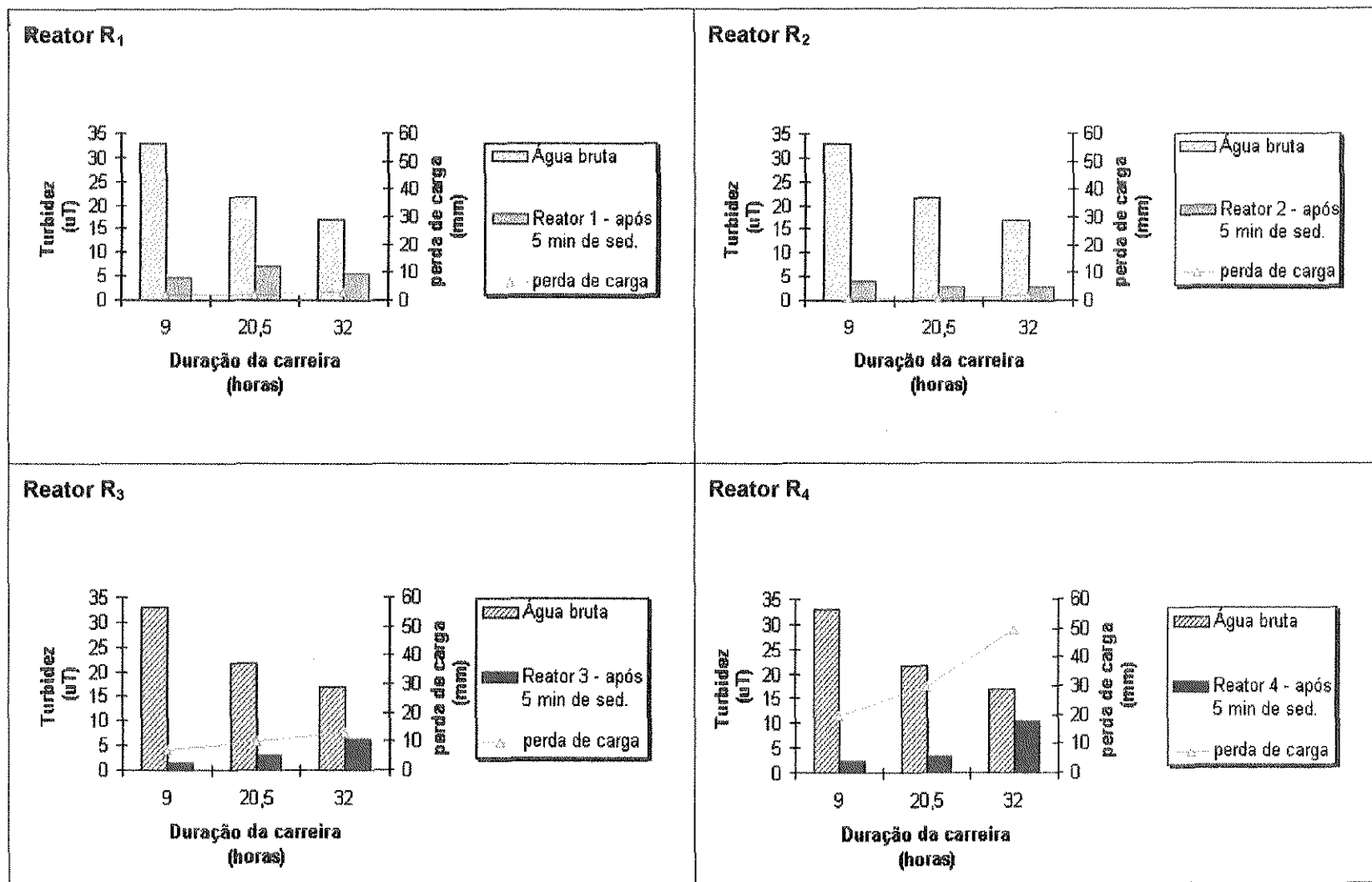


FIGURA C.11 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 11 (taxa = $150\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

TABELA C.12 Valores obtidos a partir da leitura das amostras que foram coletas em função do tempo de funcionamento dos reatores de floculação: temperatura do ar e da água bruta afluente; pH da água bruta, alcalina e coagulada; pH, perda de carga total e turbidez da água floculada.

12ª CARREIRA		TAXA: 90 m ³ / m ² .dia												
DATA		29/Nov	30/Nov	30/Nov	-	-	-	-	-	-	-	-		
HORAS DE FUNCIONAMENTO		9,0	20,5	32,0	-	-	-	-	-	-	-	MAX	MIN	
TEMP. °C	Ar	20	32	19	-	-	-	-	-	-	-	32	19	
	Água	27	25,5	25,5	-	-	-	-	-	-	-	27	25,5	
Δh (mm)	Reator 1	2	2	2	-	-	-	-	-	-	-	2	2	
	Reator 2	1	1	1	-	-	-	-	-	-	-	1	1	
	Reator 3	5	6	7	-	-	-	-	-	-	-	7	5	
	Reator 4	15	20	25	-	-	-	-	-	-	-	25	15	
pH	Bruta	7,1	7,3	7,3	-	-	-	-	-	-	-	7,3	7,1	
	Alcalina	9,9	9,9	9,6	-	-	-	-	-	-	-	9,9	9,6	
	Coagulada	9,3	9,0	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,4	9,0	
	Reator 1	9,2	9,0	9,1	-	-	-	-	-	-	-	9,2	9,0	
	Reator 2	9,3	9,0	9,1	-	-	-	-	-	-	-	9,3	9,0	
	Reator 3	9,1	9,0	9,0	-	-	-	-	-	-	-	9,1	9,0	
	Reator 4	8,9	9,0	9,0	-	-	-	-	-	-	-	9,0	8,9	
Turbidez (NTU)	Bruta	21,1	20,1	17,7	-	-	-	-	-	-	-	21,1	17,7	
	Reator 1	T ₀ : sem sedimentação	9,2	10,0	13,9	-	-	-	-	-	-	-	13,9	9,2
		T ₁ : após 5min	7,4	6,4	9,8	-	-	-	-	-	-	-	9,8	6,4
		T ₂ : - 10min	5,5	4,8	7,3	-	-	-	-	-	-	-	7,3	4,8
		T ₃ : - 15min	5,3	4,3	6,1	-	-	-	-	-	-	-	6,1	4,3
		T ₄ : - 20min	4,8	3,9	5,8	-	-	-	-	-	-	-	5,8	3,9
		T ₅ : - 25min	4,5	3,5	4,8	-	-	-	-	-	-	-	4,8	3,5
	Reator 2	T ₀ : sem sedimentação	11,6	14,2	15,2	-	-	-	-	-	-	-	15,2	11,6
		T ₁ : após 5min	8,4	8,1	9,4	-	-	-	-	-	-	-	9,4	8,1
		T ₂ : - 10min	7,0	6,0	8,0	-	-	-	-	-	-	-	8,0	6,0
		T ₃ : - 15min	6,4	5,4	7,8	-	-	-	-	-	-	-	7,8	5,4
		T ₄ : - 20min	5,9	4,8	6,7	-	-	-	-	-	-	-	6,7	4,8
		T ₅ : - 25min	5,4	4,2	5,9	-	-	-	-	-	-	-	5,9	4,2
	Reator 3	T ₀ : sem sedimentação	10,6	14,7	237,0	-	-	-	-	-	-	-	237,0	10,6
		T ₁ : após 5min	4,1	3,4	3,8	-	-	-	-	-	-	-	4,1	1,4
		T ₂ : - 10min	2,7	1,7	1,4	-	-	-	-	-	-	-	2,7	1,4
		T ₃ : - 15min	2,0	1,2	1,1	-	-	-	-	-	-	-	2,0	1,1
		T ₄ : - 20min	1,6	1,1	1,1	-	-	-	-	-	-	-	1,6	1,1
		T ₅ : - 25min	1,6	1,0	0,9	-	-	-	-	-	-	-	1,6	0,9
	Reator 4	T ₀ : sem sedimentação	12,7	10,7	30,5	-	-	-	-	-	-	-	30,5	10,7
T ₁ : após 5min		5,9	2,7	7,2	-	-	-	-	-	-	-	7,2	2,7	
T ₂ : - 10min		4,0	1,5	4,1	-	-	-	-	-	-	-	4,1	1,5	
T ₃ : - 15min		2,6	1,0	3,0	-	-	-	-	-	-	-	3,0	1,0	
T ₄ : - 20min		2,1	0,8	2,5	-	-	-	-	-	-	-	2,5	0,8	
T ₅ : - 25min		1,8	0,7	1,9	-	-	-	-	-	-	-	1,9	0,7	

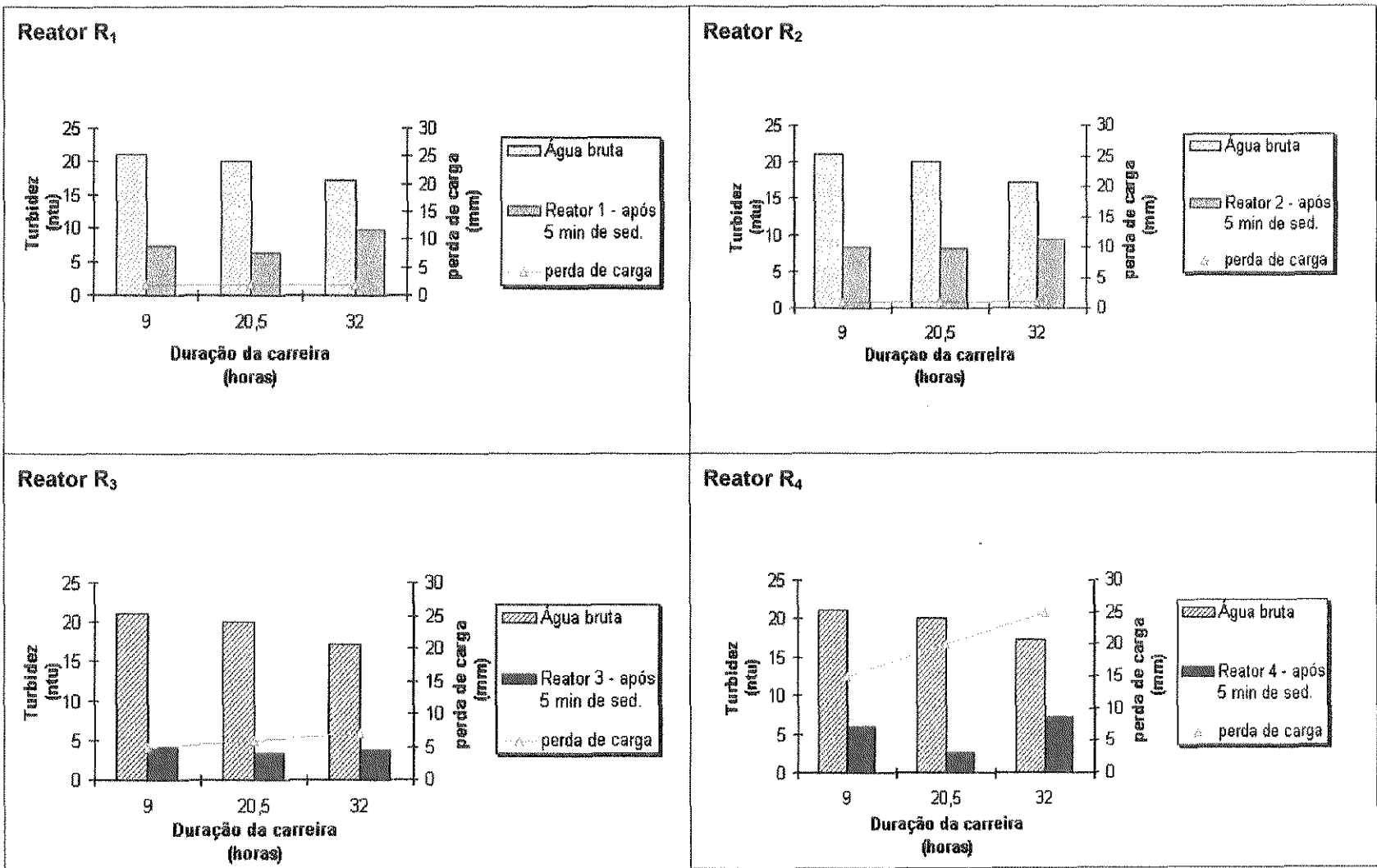


FIGURA C.12 - Turbidez da água bruta, do sobrenadante após 5 minutos de sedimentação e perda de carga total em função do tempo de operação na CARREIRA 12 (taxa = $90\text{m}^3/\text{m}^2.\text{dia}$)

ANEXO D DADOS DAS PLANILHAS DOS OPERADORES DA ETA: DOSAGENS DE COAGULANTE
E VAZÕES AFLUENTES

Anexo D

13/ SET / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	20	20	6,7	10,0	9,5	46	5	8	2
04:00	20	20	6,6	10,0	9,4	42	5	8	2
06:00	20	21	6,9	10,2	8,3	209	5	39	3
08:00	20	20	6,8	10,2	7,3	277	5	55	4
10:00	21	21	6,8	10,0	8,5	243	5	47	5
12:00	22	22	6,8	10,0	7,3	234	10	44	4
14:00	23	22	6,9	10,1	7,6	207	10	39	5
16:00	25	23	6,9	10,3	8,0	209	10	38	5
18:00	25	23	6,9	10,2	7,8	199	5	35	4
20:00	25	23	6,9	10,0	8,6	195	5	35	4
22:00	25	23	6,9	9,6	8,6	192	5	36	4
24:00	25	23	6,9	10,2	8,7	191	5	35	4
Max	25	23	6,9	10,3	9,5	277	10	55	5
Min	20	20	6,6	9,6	7,3	42	5	8	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
5:00	331	110
6:30	474	200
12:00	474	185
17:30	330	130
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

14 / SET / 1999

Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	22	6,9	10,2	8,7	166	5	30	3
04:00	24	22	6,9	10,6	9,5	165	5	30	2
06:00	23	21	6,9	10,1	8,4	162	5	29	3
08:00	24	22	6,9	10,0	7,6	150	5	26	5
10:00	24	23	6,9	10,0	7,0	127	5	25	3
12:00	25	24	6,8	10,1	7,9	132	5	25	4
14:00	26	24	7,0	10,1	7,6	127	5	26	4
16:00	28	24	7,0	10,3	9,0	125	5	24	4
18:00	28	25	6,9	10,5	9,6	126	5	24	4
20:00	28	25	6,9	10,4	9,8	128	5	25	4
22:00	26	24	6,9	9,9	8,5	140	5	28	2
24:00	26	24	6,9	10,2	8,7	154	5	29	3
Max	28	25	7,0	10,6	9,8	166	5	30	5
Min	23	21	6,8	9,9	7,0	125	5	24	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
01:50	170	65
6:35	341	110
7:00	460	165
9:50	460	135
17:50	343	110
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

20 / SET / 1999

Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	23	7,0	10,6	8,8	1082	5	202	3
04:00	24	20	6,9	10,6	8,6	1025	5	195	2
06:00	23	22	6,9	10,8	9,4	974	5	182	3
08:00	24	24	6,8	10,6	9,1	702	10	130	4
10:00	23	23	6,8	10,3	9,0	528	15	105	4
12:00	24	23	6,9	10,2	8,3	580	10	114	5
14:00	26	23	6,8	10,2	8,3	610	10	121	6
16:00	26	24	6,9	10,4	9,1	686	10	127	6
18:00	26	24	6,9	10,3	8,9	670	10	124	5
20:00	27	25	6,9	10,3	8,6	540	10	102	4
22:00	26	25	6,9	10,2	8,4	580	5	112	3
24:00	25	24	6,9	10,2	8,4	570	5	110	3
Max	27	25	7,0	10,8	9,4	1082	10	202	6
Min	23	20	6,8	10,2	8,3	528	5	105	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
00:25	130	70
6:40	316	180
7:35	437	230
9:45	437	200
18:00	316	160
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

21 / SET / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	24	6,9	10,1	8,4	504	5	94	4
04:00	24	23	6,8	9,9	8,1	265	10	49	5
06:00	25	23	6,6	10,2	9,7	96	5	16	2
08:00	25	23	6,8	10,4	8,7	294	10	55	5
10:00	24	24	6,7	10,0	7,8	234	5	43	3
12:00	26	24	6,7	9,9	7,8	214	5	40	4
14:00	27	24	6,8	9,7	7,7	206	5	39	4
16:00	28	25	6,7	10,0	8,2	237	10	45	5
18:00	28	26	6,9	10,5	9,6	244	5	49	4
20:00	27	25	6,9	10,2	8,4	235	5	45	4
22:00	27	25	6,9	10,0	7,8	268	5	49	4
24:00	26	24	6,9	10,3	8,5	259	5	46	4
Max	28	26	6,9	10,5	9,6	504	10	94	5
Min	24	23	6,6	9,7	7,7	96	5	16	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
1:40	317	140
2:10	182	80
2:40	300	130
2:50	382	160
4:10	200	60
6:40	419	185
9:25	419	170
18:00	353	150

Anexo D

27 / SET / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	22	6,7	9,8	8,4	51	5	9	3
04:00	24	21	6,7	10,0	8,5	55	5	10	2
06:00	23	21	6,7	10,1	8,6	52	5	9	2
08:00	24	21	6,8	10,0	7,9	115	5	21	4
10:00	25	22	6,9	9,7	7,4	111	5	20	5
12:00	25	23	6,9	9,8	7,7	118	5	21	6
14:00	28	24	6,9	9,8	8,7	119	5	23	4
16:00	27	24	6,9	9,8	8,0	121	5	22	5
18:00	27	24	6,9	10,0	8,2	119	5	22	6
20:00	26	23	7,0	9,8	7,9	106	10	19	6
22:00	25	23	7,0	10,3	8,3	106	10	19	6
24:00	25	22	7,0	10,0	8,4	110	5	22	5
Max	28	24	7,0	10,3	8,6	121	10	22	6
Min	23	21	6,7	9,7	7,4	51	5	09	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
6:25	315	90
7:00	438	135
23:30	393	120
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

28 / SET / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	22	6,9	10,1	9,0	93	10	16	5
04:00	24	22	6,9	9,9	8,7	94	10	16	4
06:00	24	22	6,9	10,2	8,5	90	5	16	4
08:00	23	22	6,7	10,0	8,5	86	10	17	4
10:00	25	23	6,8	10,0	7,9	111	5	21	4
12:00	26	24	6,8	10,3	8,7	115	10	21	5
14:00	27	24	6,9	9,9	7,5	122	5	23	4
16:00	27	24	6,9	9,8	7,8	120	5	22	4
18:00	28	24	6,8	9,8	7,6	113	5	21	5
20:00	28	24	7,1	10,4	9,4	124	5	21	5
22:00	28	24	7,1	10,3	8,9	122	5	22	5
24:00	27	24	6,8	10,3	8,8	102	5	18	5
Max	28	24	7,1	10,4	9,4	124	10	23	5
Min	23	22	6,8	9,8	7,5	86	5	16	4

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
1:30	393	100
8:00	440	125
17:50	356	100
18:50	356	115
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

29 / SET / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	27	24	6,6	10,3	8,5	51	5	9	4
04:00	26	24	6,6	10,2	8,4	52	5	9	3
06:00	26	24	6,6	10,4	8,8	50	5	9	2
08:00	27	23	6,8	10,2	9,4	121	5	30	4
10:00	27	24	6,8	10,3	9,5	117	5	24	4
12:00	28	26	6,8	9,9	9,1	109	5	23	6
14:00	30	26	6,9	9,9	8,9	114	10	24	6
16:00	30	26	6,8	10,2	9,4	106	5	22	5
18:00	30	25	7,1	10,1	8,6	142	5	25	5
20:00	28	24	7,3	9,9	8,2	152	5	28	5
22:00	28	24	7,3	10,2	8,2	153	5	28	5
24:00	27	24	7,0	10,0	8,1	153	5	28	5
Max	30	26	7,3	10,4	9,4	153	10	30	6
Min	26	23	6,6	9,9	8,1	50	5	9	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
2:20	203	36
6:15	426	120
11:40	517	146
18:00	308	90
21:50	423	125
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

30 / SET / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	28	24	6,9	10,1	9,1	51	5	19	5
04:00	27	24	6,9	9,9	8,4	52	5	18	4
06:00	26	24	6,9	10,0	8,3	50	5	20	4
08:00	26	24	6,9	10,1	9,6	121	10	28	5
10:00	25	24	6,9	9,6	7,3	117	15	27	6
12:00	27	24	6,9	10,2	9,2	109	10	27	5
14:00	29	25	6,9	10,0	8,6	114	10	30	6
16:00	29	25	6,9	10,2	9,3	106	10	29	5
18:00	29	25	6,9	10,1	9,3	142	5	28	4
20:00	29	25	6,9	9,8	8,1	152	5	28	5
22:00	28	25	6,9	10,1	8,1	153	5	27	5
24:00	28	25	6,9	10,0	8,2	153	5	27	5
Max	29	25	6,9	10,2	9,6	153	15	30	6
Min	25	24	6,9	9,6	7,3	50	5	18	4

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
0:00	500	150
0:35	336	105
6:45	428	140
7:30	445	140
10:00	449	140
23:40	396	125
-	-	-
-	-	-

Anexo D

01 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	26	24	6,9	9,6	7,2	122	10	21	5
04:00	26	24	6,9	10,2	8,5	117	5	20	3
06:00	25	23	6,9	10,2	8,4	124	5	21	2
08:00	26	23	6,9	10,0	8,3	126	5	23	4
10:00	29	24	6,9	9,8	7,4	120	5	21	5
12:00	30	26	6,8	9,7	7,4	128	15	25	6
14:00	32	27	6,9	9,9	7,5	126	10	26	6
16:00	32	27	6,8	9,8	7,4	132	10	25	6
18:00	32	27	6,9	9,6	7,3	121	10	23	5
20:00	32	27	7,0	9,8	7,8	138	5	25	4
22:00	32	27	7,0	9,9	8,0	138	5	25	4
24:00	31	26	6,9	10,1	9,4	122	5	24	4
Max	32	27	7,0	10,2	9,4	138	15	26	6
Min	25	23	6,8	9,6	7,2	117	5	20	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
2:50	200	35
6:20	413	116
6:25	531	150
18:00	450	135
22:25	523	160
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

14 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	28	25	6,9	9,8	7,6	101	10	19	6
04:00	28	25	6,9	10,1	8,3	101	10	19	5
06:00	27	24	6,9	10,2	8,6	86	5	16	4
08:00	28	25	6,9	9,6	8,1	98	10	18	6
10:00	29	25	6,9	9,9	8,4	86	5	19	3
12:00	30	26	6,9	10,4	10,0	82	10	19	4
14:00	30	26	6,9	10,2	9,9	102	10	19	6
16:00	31	26	6,9	10,3	9,5	110	10	22	5
18:00	31	26	6,9	10,2	9,6	100	10	20	6
20:00	30	26	6,9	10,3	8,6	110	10	25	6
22:00	30	26	7,0	9,8	8,3	120	10	23	4
24:00	30	26	6,8	10,3	8,6	98	10	18	4
Max	31	26	7,0	10,4	10,0	120	10	25	6
Min	27	24	6,8	9,6	7,6	82	5	16	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
4:50	400	120
18:30	453	125
22:20	345	100
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

15 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	29	25	6,8	9,8	7,8	106	10	20	4
04:00	28	25	6,8	9,9	7,8	101	10	20	4
06:00	27	24	6,8	9,8	8,0	117	10	22	4
08:00	26	24	6,8	10,6	9,4	110	10	20	5
10:00	28	25	6,8	10,1	9,8	105	10	19	3
12:00	28	26	6,8	9,8	9,3	119	10	22	4
14:00	31	26	6,9	10,4	9,5	134	10	25	6
16:00	31	26	6,8	10,2	9,2	131	10	23	6
18:00	31	26	6,9	10,3	9,6	129	10	21	5
20:00	31	26	6,9	10,1	8,5	126	10	21	6
22:00	31	27	7,1	10,0	7,8	142	10	21	5
24:00	30	27	6,9	10,0	8,1	113	10	16	6
Max	31	27	7,1	10,6	9,8	142	10	25	6
Min	26	24	6,8	9,8	7,8	101	10	16	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
6:00	345	100
11:10	239	70
13:30	416	125
14:00	290	100
23:00	392	120
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

18 / OUT / 1999

Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	23	6,9	10,7	9,8	1101	5	204	4
04:00	24	23	6,9	10,5	8,9	1128	5	207	3
06:00	24	23	6,9	10,5	9,0	1164	5	219	2
08:00	24	23	6,9	10,4	8,9	1020	5	211	4
10:00	25	23	6,9	10,3	9,3	730	10	170	6
12:00	26	24	6,8	10,3	9,3	796	10	160	8
14:00	27	25	6,3	10,2	9,2	720	10	140	8
16:00	28	26	6,8	10,1	9,1	680	10	132	7
18:00	28	26	6,8	10,2	9,0	640	10	131	6
20:00	27	25	6,8	10,2	8,3	720	5	139	5
22:00	27	25	6,9	9,8	7,3	780	5	140	5
24:00	26	24	6,9	10,4	8,8	618	10	98	7
Max	28	26	6,9	10,7	9,3	1164	10	219	8
Min	24	23	6,8	9,8	7,3	618	5	98	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
8:10	305	175
8:30	415	240
8:45	415	230
19:00	310	160
22:20	415	220
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

19 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	24	6,8	10,2	8,3	578	5	106	4
04:00	25	23	6,8	10,2	8,1	519	5	98	4
06:00	24	23	6,5	10,5	9,9	88	5	16	3
08:00	24	23	6,6	10,1	8,9	83	5	15	3
10:00	25	24	6,6	10,0	8,5	86	5	16	4
12:00	26	24	6,8	10,4	9,1	312	5	59	4
14:00	27	24	6,8	10,0	8,6	236	5	44	4
16:00	27	24	6,9	10,2	8,9	244	5	46	5
18:00	25	23	6,9	10,4	9,0	352	10	69	6
20:00	25	23	6,9	10,2	8,4	297	10	55	7
22:00	25	23	6,9	10,0	7,7	248	10	46	6
24:00	24	23	6,9	10,3	8,5	268	5	48	4
Max	27	24	6,9	10,5	9,9	578	10	106	7
Min	24	23	6,5	10,0	7,7	83	5	25	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
3:50	200	60
10:30	371	160
17:00	574	250
18:55	467	180
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

20 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	23	21	7,0	10,0	7,6	282	10	52	6
04:00	23	21	6,9	9,9	7,2	312	5	58	4
06:00	22	20	6,9	10,5	8,9	314	5	58	4
08:00	22	23	7,0	10,8	9,9	349	5	64	4
10:00	25	23	6,8	10,0	8,4	254	10	44	9
12:00	25	24	6,9	10,4	8,4	222	10	41	7
14:00	26	25	6,8	10,4	9,8	230	5	44	5
16:00	27	26	6,8	10,1	8,1	231	5	43	5
18:00	27	25	6,8	10,1	8,0	219	5	39	4
20:00	27	25	6,9	10,2	7,5	230	5	43	4
22:00	26	24	6,9	10,2	7,8	215	5	41	4
24:00	26	24	7,1	9,9	8,0	215	5	40	4
Max	22	20	7,1	10,8	9,9	349	10	64	9
Min	22	20	6,8	10,8	7,2	215	5	39	4

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL / 10s)
3:30	198	100
6:40	352	155
8:40	461	200
10:15	461	190
18:55	353	145
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

26 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	23	6,9	10,0	9,2	138	10	25	5
04:00	24	23	6,9	10,2	8,7	128	5	24	3
06:00	23	23	6,8	9,9	8,1	124	5	22	3
08:00	22	22	*	*	*	*	*	*	2
10:00	22	22	6,8	10,2	9,5	135	5	25	4
12:00	23	23	6,8	10,0	8,0	134	10	24	5
14:00	23	22	6,9	10,8	10,0	134	5	24	4
16:00	23	22	6,8	10,4	9,9	132	5	24	3,5
18:00	22	22	6,9	10,3	9,7	144	5	29	4
20:00	22	22	6,9	10,2	8,6	128	5	24	4
22:00	22	22	6,9	10,1	8,8	137	10	25	5
24:00	22	22	6,9	10,0	8,1	146	5	27	4
Max	24	23	6,9	10,8	10,0	146	10	29	5
Min	22	22	6,8	9,9	8,0	124	5	22	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
8:50	339	110
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

27 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	22	21	6,9	10,6	9,2	568	10	123	5
04:00	21	20	6,9	10,2	8,0	752	10	149	5
06:00	21	20	6,9	10,2	7,8	710	5	130	5
08:00	21	21	6,7	10,4	8,5	670	5	122	4
10:00	21	21	6,6	10,4	9,5	86	5	16	2
12:00	22	23	6,6	9,8	8,5	89	5	16	2
14:00	23	23	6,7	10,3	9,0	782	15	135	8
16:00	24	23	6,8	10,6	9,9	840	15	168	7
18:00	24	23	6,8	10,5	9,9	852	15	172	7
20:00	24	23	6,8	10,2	8,6	782	10	151	5
22:00	24	23	6,8	10,1	7,3	800	10	149	6
24:00	23	23	6,8	10,3	9,2	620	5	109	5
Max	24	23	6,9	10,6	9,9	840	15	168	8
Min	21	20	6,7	9,8	7,3	86	5	16	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
6:00	341	180
7:45	196	60
13:25	554	300
18:50	451	230
22:00	325	160
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

28 / OUT / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	22	21	6,8	10,5	8,8	656	10	116	5
04:00	21	20	6,9	10,4	8,6	714	5	126	4
06:00	20	20	6,8	10,3	8,5	782	5	144	4
08:00	21	22	6,9	10,4	9,6	530	10	102	5
10:00	22	22	6,9	10,6	9,0	549	10	101	5
12:00	23	23	6,9	9,9	6,9	493	15	93	6
14:00	26	23	6,9	10,7	9,6	527	10	98	6
16:00	26	24	6,8	10,4	9,4	491	10	93	5
18:00	26	24	6,9	10,5	9,5	486	10	92	4
20:00	26	24	6,8	10,1	8,1	479	5	87	3
22:00	26	24	6,8	10,2	8,4	426	5	81	4
24:00	25	24	6,8	10,2	8,2	409	5	76	4
Max	26	24	6,9	10,7	9,6	782	15	144	6
Min	20	20	6,8	9,9	8,1	409	5	76	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
9:45	457	220
18:50	332	180
23:10	332	170
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

01 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	23	6,9	10,3	9,0	148	5	28	4
04:00	23	22	6,8	10,4	9,2	87	5	16	2
06:00	22	21	6,8	10,2	8,9	85	5	16	2
08:00	22	23	6,9	10,0	8,3	191	5	34	4
10:00	23	23	6,9	9,6	8,3	171	5	31	4
12:00	24	23	6,9	10,0	8,4	183	5	33	4
14:00	26	23	6,9	10,0	8,4	194	10	35	5
16:00	27	24	6,9	9,9	8,0	211	10	39	5
18:00	27	24	6,8	9,9	8,2	187	10	33	5
20:00	27	24	6,8	10,2	8,5	169	10	32	6
22:00	27	24	7,0	9,8	9,0	159	10	29	6
24:00	26	23	7,2	10,3	9,3	126	10	23	5
Max	27	24	7,2	10,4	9,3	191	10	39	6
Min	22	21	6,8	9,6	8,0	85	5	16	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
2:50	127	40
7:50	282	100
7:55	455	160
22:20	370	135
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

02 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	24	6,9	9,8	8,7	122	10	23	4
04:00	25	24	7,0	10,2	9,2	129	10	24	4
06:00	24	24	6,7	10,2	9,5	93	5	17	3
08:00	23	23	6,6	10,0	9,5	87	5	17	2
10:00	24	23	6,6	10,3	9,4	107	5	18	3
12:00	26	24	6,6	10,1	9,3	94	5	17	3
14:00	26	24	6,6	10,0	9,0	89	5	17	3
16:00	27	24	6,6	10,0	9,2	135	5	24	3
18:00	27	24	6,8	10,3	9,0	128	5	25	4
20:00	28	25	7,1	10,0	9,1	153	5	28	5
22:00	28	25	6,9	10,1	9,2	141	10	27	5
24:00	26	24	7,0	10,1	8,3	139	10	26	4
Max	28	25	7,1	10,3	9,5	153	10	28	5
Min	23	23	6,6	9,8	8,3	87	5	17	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
4:45	192	50
15:50	330	100
18:55	475	170
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

03 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	24	7,0	10,0	7,8	145	5	27	4
04:00	25	23	7,0	10,2	8,6	153	5	28	2
06:00	24	23	7,0	10,4	9,1	171	5	31	2
08:00	24	23	6,9	10,1	8,9	174	5	34	3
10:00	25	23	6,9	10,0	8,4	195	5	35	3
12:00	26	24	6,9	10,0	8,5	173	5	32	3
14:00	27	24	7,1	10,2	9,3	159	10	29	6
16:00	28	24	6,9	9,9	8,6	157	10	29	6
18:00	28	24	6,9	10,0	8,7	149	10	28	5
20:00	29	26	7,1	9,8	8,3	181	5	33	4
22:00	28	25	7,1	9,7	7,3	171	5	31	5
24:00	27	25	7,0	10,0	8,5	138	5	25	5
Max	29	26	7,1	10,4	9,1	181	10	34	6
Min	24	23	6,9	9,7	7,3	138	5	25	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
3:45	160	60
6:15	348	125
13:20	472	170
18:50	346	125
22:50	405	135
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

04 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	27	25	6,9	9,9	8,2	140	10	25	5
04:00	27	24	6,7	10,3	9,1	113	5	21	3
06:00	26	24	6,7	10,3	9,3	110	5	21	3
08:00	26	24	6,8	10,0	8,6	133	5	24	4
10:00	26	24	6,8	10,8	9,9	131	5	25	4
12:00	27	24	6,7	10,1	9,2	98	5	17	3
14:00	27	25	6,8	9,9	8,4	138	10	27	6
16:00	28	25	6,6	9,9	8,3	102	5	19	2
18:00	28	25	6,6	9,9	7,5	103	5	20	2
20:00	28	25	6,7	10,0	7,9	119	5	23	3
22:00	28	25	6,9	9,6	8,1	139	20	26	7
24:00	27	25	7,0	9,9	7,4	147	15	27	7
Max	28	25	7,0	10,8	9,9	147	20	27	7
Min	26	24	6,6	9,6	7,4	98	5	17	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
4:15	188	55
6:30	406	130
9:30	333	100
11:00	190	60
12:00	332	100
14:45	193	60
21:10	550	185
-	-	-

Anexo D

05 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	27	24	6,9	10,0	8,1	154	10	28	5
04:00	27	24	7,0	9,8	7,8	149	5	26	5
06:00	26	23	7,0	10,0	8,0	141	5	26	4
08:00	26	24	7,0	10,2	9,2	144	5	26	4
10:00	24	24	6,9	10,4	9,0	145	5	26	4
12:00	25	24	6,9	10,0	8,4	150	5	27	3
14:00	28	24	7,0	9,9	8,1	148	5	26	3
16:00	26	24	7,0	10,3	9,2	157	5	32	3
18:00	26	25	7,0	10,5	9,5	172	5	31	3
20:00	25	24	7,0	10,6	9,7	191	5	35	3
22:00	25	24	7,0	10,2	8,6	199	5	36	3
24:00	24	24	7,0	10,4	8,5	196	5	36	3
Max	28	25	7,0	10,6	9,7	199	10	36	5
Min	24	23	6,9	9,8	7,8	141	5	26	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
1:00	460	180
7:55	460	170
14:10	347	130
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

11 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	21	21	6,9	9,9	8,2	234	5	44	3
04:00	21	20	7,0	9,9	8,1	205	5	38	3
06:00	20	20	7,0	10,3	8,8	208	5	38	2
08:00	20	20	7,0	10,3	9,1	315	5	56	2
10:00	21	20	6,8	10,0	8,5	202	10	37	5
12:00	22	20	6,8	10,0	8,3	196	10	35	4
14:00	23	23	6,9	10,0	8,3	179	10	33	4
16:00	24	24	6,9	10,1	8,3	172	10	31	5
18:00	25	24	6,9	10,1	8,6	170	10	30	5
20:00	25	24	7,0	10,4	8,3	167	5	30	4
22:00	24	23	7,3	10,5	9,2	170	5	29	4
24:00	22	23	7,2	10,5	9,5	158	5	29	4
Max	25	24	7,3	10,5	9,5	208	10	56	5
Min	20	20	6,8	9,9	8,1	158	5	29	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
3:45	160	60
6:35	325	145
7:45	456	200
10:00	456	160
18:50	328	140
19:30	328	125
-	-	-
-	-	-

Anexo D

12 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	22	22	7,0	10,4	9,3	176	5	32	4
04:00	22	21	7,0	10,2	8,9	184	5	34	4
06:00	21	20	7,1	10,2	8,9	178	5	33	3
08:00	21	22	7,0	10,5	9,1	171	5	31	3
10:00	21	22	7,0	10,3	8,4	158	10	28	5
12:00	20	22	6,9	10,3	9,2	138	5	25	4
14:00	23	23	6,9	10,1	8,0	181	10	33	6
16:00	23	24	6,9	10,3	8,6	176	10	32	5
18:00	23	24	6,9	10,1	8,3	190	10	33	5
20:00	23	23	7,1	10,8	9,6	200	5	36	4
22:00	23	23	7,1	10,7	9,8	198	5	38	2
24:00	23	23	7,0	10,0	7,7	196	5	37	3
Max	23	24	7,1	10,8	9,8	198	10	38	6
Min	20	20	6,9	10,0	7,7	138	5	25	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
8:15	448	160
18:55	315	130
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

13 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	22	22	7,0	10,0	7,4	211	5	38	4
04:00	22	22	6,9	10,0	7,5	209	5	38	3
06:00	22	21	6,8	10,3	8,7	219	5	40	3
08:00	22	21	6,8	10,2	8,4	215	5	39	2
10:00	22	21	6,9	10,4	8,6	185	10	36	7
12:00	23	23	6,9	10,5	9,4	197	10	36	6
14:00	23	23	6,9	10,1	8,4	173	15	33	6
16:00	24	24	6,9	10,3	8,9	168	15	32	5
18:00	24	24	6,9	10,3	8,9	163	5	31	4
20:00	25	24	6,9	10,3	8,6	163	5	29	5
22:00	24	23	6,9	10,0	9,2	168	5	30	4
24:00	24	23	6,9	10,3	9,2	169	15	30	8
Max	25	24	7,0	10,5	9,4	219	15	40	8
Min	22	21	6,8	10,0	7,4	163	5	29	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
7:30	434	170
9:25	434	145
14:15	433	130
23:30	318	120
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

16 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	22	22	7,1	10,4	8,6	170	10	30	5
04:00	21	20	7,0	9,8	7,6	174	5	32	4
06:00	21	20	7,0	10,0	8,1	181	5	33	4
08:00	21	20	7,0	10,7	10,0	179	5	34	4
10:00	22	21	6,9	10,2	9,0	166	10	30	6
12:00	23	23	6,9	10,1	9,0	166	10	32	6
14:00	25	24	6,9	10,3	9,4	177	10	33	7
16:00	25	24	6,9	10,1	8,6	154	10	28	6
18:00	25	24	6,9	10,0	8,5	162	10	30	5
20:00	25	24	6,9	10,3	8,4	168	5	32	4
22:00	25	24	6,9	10,3	8,7	171	5	31	4
24:00	23	23	6,8	10,4	9,5	94	5	17	2
Max	25	24	7,1	10,4	10,0	181	10	34	7
Min	21	20	6,8	9,8	7,6	94	5	17	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
7:10	447	160
18:50	335	125
55:45	122	45
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

17 / NOV / 1999

Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	22	22	6,9	10,2	8,9	138	5	23	4
04:00	22	21	7,0	9,8	8,1	135	5	25	4
06:00	21	21	6,9	10,1	8,5	144	5	27	3
08:00	21	21	6,9	10,3	8,3	210	5	38	4
10:00	22	22	6,9	10,2	8,0	167	10	30	6
12:00	23	22	6,9	10,4	9,7	161	10	29	6
14:00	25	24	6,9	10,1	8,6	165	10	31	7
16:00	25	24	7,0	10,2	9,3	168	10	31	6
18:00	25	24	6,9	10,2	9,3	151	10	30	5
20:00	25	24	6,9	10,3	8,8	159	5	31	4
22:00	25	24	6,9	10,6	9,9	170	5	31	5
24:00	23	23	6,9	9,8	9,0	169	5	30	4
Max	25	24	7,0	10,6	9,9	210	10	38	7
Min	21	21	6,9	9,8	8,0	135	5	23	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
0:20	330	100
6:45	478	165
10:00	469	150
19:05	342	110
23:30	469	150
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

18 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	23	22	7,1	10,1	8,9	155	10	29	5
04:00	22	22	7,1	9,8	8,2	147	5	27	4
06:00	22	21	7,1	9,9	8,3	157	5	28	4
08:00	22	21	7,0	10,0	8,3	195	10	30	7
10:00	22	22	7,0	10,2	8,3	150	10	28	7
12:00	23	23	7,0	10,4	9,4	151	15	28	9
14:00	25	24	7,0	10,2	8,7	154	15	29	7
16:00	26	25	7,0	9,9	8,8	158	10	29	6
18:00	28	25	7,1	9,8	8,1	171	10	34	5
20:00	28	25	7,1	10,1	9,5	160	10	29	7
22:00	26	25	7,0	10,1	9,3	159	10	29	7
24:00	26	24	7,0	10,1	9,2	156	10	28	5
Max	28	25	7,1	10,4	9,4	195	15	30	9
Min	22	21	7,0	9,8	8,1	147	5	27	4

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
3:10	324	115
6:40	479	160
7:00	536	185
12:00	572	190
13:45	453	160
15:00	480	160
18:50	362	125
-	-	-

Anexo D

19 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	24	7,0	10,2	9,2	165	10	30	5
04:00	24	23	7,0	10,1	9,0	172	5	31	4
06:00	23	22	7,0	9,8	8,1	185	5	34	4
08:00	23	23	7,1	9,9	9,5	161	5	29	3
10:00	24	24	7,0	9,9	9,4	144	10	26	7
12:00	24	24	7,0	10,0	8,7	153	15	27	6
14:00	26	25	6,9	9,9	8,6	169	10	31	6
16:00	27	25	6,9	10,0	8,5	160	10	30	5
18:00	27	25	6,9	9,9	9,1	163	10	31	6
20:00	27	25	6,9	10,1	8,9	162	10	31	6
22:00	27	24	7,0	9,6	8,9	160	5	29	5
24:00	27	24	6,9	10,0	9,3	130	5	24	4
Max	27	25	7,1	10,2	9,5	185	15	34	7
Min	23	22	6,9	9,6	8,1	130	5	24	3

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
8:00	468	160
10:15	468	170
22:55	414	135
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

20 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	25	23	6,9	10,1	9,1	133	10	24	5
04:00	24	23	6,9	10,0	8,9	102	5	20	3
06:00	23	22	6,7	10,1	9,0	112	5	21	2
08:00	23	23	7,0	10,1	9,4	122	10	21	3
10:00	24	24	6,9	9,8	8,4	123	5	22	4
12:00	24	24	6,9	9,9	8,6	120	10	22	4
14:00	27	25	6,9	9,9	9,4	133	10	24	6
16:00	27	25	6,9	9,8	8,5	144	10	26	6
18:00	27	25	6,9	10,1	9,5	145	10	27	5
20:00	27	25	6,9	10,0	8,8	138	10	25	6
22:00	26	24	6,9	10,2	9,3	124	5	24	4
24:00	23	24	7,0	10,0	9,3	144	5	29	4
Max	27	25	7,0	10,2	9,5	144	10	29	6
Min	23	22	6,9	9,8	8,4	102	5	20	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
2:30	205	65
7:10	368	100
7:25	467	170
12:00	424	130
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

22 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	24	24	7,0	10,3	9,5	115	5	22	3
04:00	23	24	7,0	10,2	9,3	136	5	25	2
06:00	23	24	7,0	10,1	9,8	132	5	23	4
08:00	25	24	7,0	9,8	8,3	148	10	28	6
10:00	27	25	7,0	9,8	8,4	144	10	28	6
12:00	27	25	7,0	9,6	8,2	157	5	29	3
14:00	27	26	6,9	10,0	9,0	164	10	29	4
16:00	26	26	7,0	10,1	9,2	139	10	25	4
18:00	25	25	6,9	10,2	9,4	144	10	26	4
20:00	26	25	6,9	10,3	9,2	138	5	29	4
22:00	24	24	7,1	10,4	9,5	150	5	27	3
24:00	24	23	7,1	10,2	9,5	173	5	31	3
Max	27	26	7,1	10,4	9,8	173	10	31	6
Min	23	23	6,9	9,6	8,2	115	5	22	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
0:30	287	90
6:30	415	125
18:55	319	100
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Anexo D

23 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	23	23	7,0	10,2	9,4	175	5	32	3
04:00	22	22	6,9	10,0	8,7	178	5	32	3
06:00	22	21	6,9	9,6	7,8	195	10	31	4
08:00	23	21	6,9	9,8	8,0	191	10	31	4
10:00	24	22	6,9	9,8	8,0	183	10	33	6
12:00	25	23	6,9	9,9	8,7	170	10	31	8
14:00	26	25	6,9	9,9	8,5	190	10	36	8
16:00	28	24	7,0	10,3	9,3	158	10	31	5
18:00	27	24	7,0	10,0	8,8	153	5	28	4
20:00	26	25	7,0	10,1	8,7	163	5	30	4
22:00	24	24	7,0	10,5	9,5	473	5	88	3
24:00	24	23	6,9	10,3	8,7	102	5	18	2
Max	28	25	7,0	10,5	9,5	473	10	88	8
Min	22	21	6,9	9,6	8,0	102	5	18	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
4:10	192	65
8:45	360	125
10:40	486	170
18:55	362	125
21:30	362	180
23:30	190	50
-	-	-
-	-	-

Anexo D

24 / NOV / 1999

Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	23	22	6,7	10,2	8,8	86	5	16	2
04:00	23	22	7,5	10,2	8,7	211	10	39	6
06:00	22	22	7,1	10,1	-	356	-	75	-
08:00	24	22	7,0	10,0	-	375	-	78	-
10:00	24	23	7,0	10,1	-	369	-	68	-
12:00	26	24	7,0	10,1	8,0	276	15	53	7
14:00	26	25	6,9	10,4	8,5	274	10	54	5
16:00	28	26	7,1	10,4	9,4	262	10	46	5
18:00	28	26	7,0	10,2	8,5	221	10	42	5
20:00	28	26	7,0	10,2	8,5	267	10	49	4
22:00	28	26	7,0	10,3	8,6	262	10	49	6
24:00	28	26	7,0	10,5	9,1	260	10	47	4
Max	28	26	7,5	10,5	9,4	375	15	78	7
Min	22	22	6,7	10,0	8,0	86	5	16	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
3:00	468	140
4:30	276	120
8:20	375	160
10:05	480	200
10:25	561	250
18:00	565	225
18:50	360	155
-	-	-

Anexo D

29 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	26	24	6,9	10,3	9,4	167	5	30	4
04:00	25	23	6,7	9,9	8,8	112	5	21	2
06:00	25	23	6,7	9,6	8,4	110	5	21	2
08:00	25	24	6,9	10,1	8,6	167	15	32	5
10:00	25	25	7,0	10,0	8,2	160	15	30	8
12:00	27	25	7,0	10,2	8,4	152	10	29	6
14:00	28	26	6,9	10,4	8,5	176	5	33	4
16:00	29	26	7,0	10,3	9,3	151	5	28	4
18:00	29	26	7,0	10,2	9,2	162	5	28	3
20:00	29	26	6,9	10,0	8,5	159	5	28	5
22:00	29	26	6,9	10,1	9,5	149	5	27	5
24:00	28	25	6,9	10,0	9,0	142	5	27	4
Max	29	26	7,0	10,2	9,5	176	15	33	8
Min	25	23	6,7	9,6	8,2	110	5	21	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
2:35	130	40
6:50	293	100
7:15	487	170
8:20	489	170
9:00	491	170
22:50	418	145
-	-	-
-	-	-

Anexo D

30 / NOV / 1999									
Hora	Temperatura °C		pH			Cor aparente		Turbidez	
	Ar (ambiente)	Água	Bruta	Alcalina	Floculada	Bruta	Decantada	Bruta	Decantada
02:00	26	25	6,9	9,9	8,4	140	10	26	5
04:00	26	25	6,9	10,2	8,8	132	5	25	4
06:00	25	25	6,7	10,1	9,3	114	5	21	3
08:00	26	25	6,7	10,1	8,0	168	10	30	9
10:00	26	25	6,9	10,1	9,1	156	10	29	6
12:00	26	25	6,9	9,8	8,0	156	10	31	5
14:00	29	25	6,9	10,0	9,4	178	10	31	5
16:00	28	26	6,9	9,6	8,5	168	5	31	3
18:00	28	26	6,9	9,9	8,9	172	5	30	4
20:00	28	26	6,9	10,0	8,7	178	5	33	4
22:00	28	26	6,9	10,0	9,1	187	5	33	4
24:00	28	26	6,9	10,1	9,4	177	5	32	2
Max	29	26	6,9	10,2	9,4	187	10	33	9
Min	25	25	6,7	9,6	8,0	114	5	21	2

HORA	VAZÃO (L/s)	FeCl ₃ (mL/10s)
4:15	199	60
6:50	575	205
6:55	498	175
18:40	332	125
-	-	-
-	-	-
-	-	-
-	-	-

Abstract

The present work aims at to present an alternative solution of supplying water handling, from the job of the flocculation in porous way, also called for static or laminar flocculation, as function of the pattern of hydraulic reactors of flocculation and it stream that crosses them. Of this form, objective to reduce the time of flocculation with perspective of reduction of the implantation cost and conventional operation of ETAs.

For in such a way, an inquiry has been proposed of reactors filled with beams of pipe of weldable rigid PVC, whose performance, was compared and analyzed with reactors filled with pebble. Assays with rate of superficial application of 60, 90, 120, 150 and 180 m³/m²day had been carried through in order to determine the operational conditions, in view of the period of flocculation, the evolution of the loss of load and conditions of accumulation of sludge in its inward, using water, coagulate with ferric chloride.

Keywords: WATER SUPPLY; WATER PURIFICATION; FLOCCULATION.