

3

**INFLUÊNCIA DA VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO
NA DETERMINAÇÃO DOS COEFICIENTES DE
AGREGAÇÃO E RUPTURA DURANTE A
FLOCULAÇÃO**

Seussy Andrade Brito



Dissertação apresentada à Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para obtenção do título de Mestre em Hidráulica e Saneamento.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo

DEDALUS - Acervo - EESC



31100017174

São Carlos

1998

Class.	TESE
Cod.	0974
Tombo	T0141198

31100017174

0979279

Ficha catalográfica preparada pela Seção de Tratamento da Informação do Serviço de Biblioteca - EESC-USP

B862i
Brito, Seussy Andrade
Influência da velocidade de sedimentação na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura durante a floculação / Seussy Andrade Brito. -- São Carlos, 1998.

Dissertação (Mestrado) -- Escola de Engenharia de São Carlos-Universidade de São Paulo, 1998.
Área: Hidráulica e Saneamento.
Orientador: Prof. Dr. Luiz Di Bernardo.

Hidráulica e Saneamento

1. Coagulação. 2. Floculação. 3. Coeficientes de agregação e ruptura. 4. Velocidade de sedimentação. 5. Contagem de partículas.
I. Título.

FOLHA DE APROVAÇÃO

Candidata: Engenheira **SEUSSY ANDRADE BRITO**

Dissertação defendida e aprovada em 17-4-1998
pela Comissão Julgadora:

Luiz Di Bernardo

Prof. Titular **LUIZ DI BERNARDO (Orientador)**
(Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **SIDNEY SECKLER FERREIRA FILHO**
(Escola Politécnica - Universidade de São Paulo)

Prof. Doutor **CARLOS GOMES DA NAVE MENDES**
(Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP)

Prof. Titular **FAZAL HUSSAIN CHAUDHRY**
Coordenador da Área de Hidráulica e Saneamento

José Carlos A. Cintra
JOSÉ CARLOS A. CINTRA
Presidente da Comissão de Pós-Graduação da EESC

Á minha família:

*meus pais Wallace e Mércia, meu
irmão Wagner e minha segunda mãe
D. Isabel, e também ao Emerson
minha futura família...*

AGRADECIMENTOS

A Deus, acima de tudo, pelas oportunidades, sustento e sabedoria;

Ao professor Luiz Di Bernardo pela orientação e ensino não só durante a realização deste trabalho, mas também ao longo do curso das disciplinas por ele ministradas;

À Ana Maria Roberto Moreira pela amizade, companheirismo e troca de idéias durante a execução de todos os ensaios desta pesquisa;

Ao Valter Lúcio de Pádua, pelo exemplo de dignidade e responsabilidade, além das inúmeras horas de conversa e sugestões para o melhor andamento deste trabalho;

Ao geólogo Tony Carlos Dias da Costa, que gentil e atenciosamente escaneou as fotografias e algumas figuras apresentadas no texto;

Aos professores e funcionários do Departamento de Hidráulica e Saneamento da EESC/USP pelos conhecimentos transmitidos ao longo do curso;

Aos técnicos do Laboratório de Saneamento Júlio, Paulo, Maria Aparecida e Eliana pela paciência e ajuda no aprendizado dos ensaios; ao Wagner, técnico do Laboratório de Fenômenos de Transporte e ao Francisco, pela ajuda durante a coleta da água;

Aos amigos Suzy, Tony, Luciana, Claudinha, Neyson, Luciane, Kelly, Herlane, Lília, Paulo, André, Ricardo, Adelino, Sissy, Leila, Luci, Rogério, Marilu, Richard, Adriana, João, Silvia e Milene que tornaram mais prazerosos estes últimos dois anos em São Carlos;

Aos professores e amigos do curso de Engenharia Civil da UNESP - Bauru pela minha formação e pelo incentivo a subir mais este degrau;

A minha família pelo amor, apoio e incentivo;

Ao Emerson pela paciência de me esperar;

Aos amigos de Suzano que mesmo à distância fazem parte da minha vida de forma intensa e inesquecível;

À CAPES (Coordenadoria de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior) pela concessão do auxílio financeiro através da bolsa de mestrado;

A todos os que colaboraram não só para a realização deste trabalho, mas para minha formação como ser humano.

SUMÁRIO

LISTA DE FIGURAS	i
LISTA DE TABELAS.....	xiii
LISTA DE SÍMBOLOS.....	xix
RESUMO	xxi
ABSTRACT	xxii
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. OBJETIVOS.....	4
3. REVISÃO DA LITERATURA	5
3.1. Introdução	5
3.2. Coagulação	5
3.3. Flocculação.....	9
3.4. Modelação Matemática na Flocculação	12
3.5. Cálculo dos coeficientes de agregação e ruptura, K_A e K_B , com resultados obtidos em reatores estáticos.....	19
3.6. Número de Partículas e Turbidez da água decantada.....	25
4. MATERIAIS E MÉTODOS	28
4.1. Introdução.....	28

4.2. Equipamentos	28
4.3. Materiais	29
4.4. Procedimentos.....	30
4.4.1. Preparo da Água de Estudo	30
4.4.2. Confecção do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez.....	31
4.4.3. Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida	35
4.4.4. Otimização dos Parâmetros de Flocculação.....	37
4.4.5. Ensaio para Contagem de Partículas	38
5. RESULTADOS E DISCUSSÃO	42
5.1. Considerações Gerais.....	42
5.2. Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez	42
5.3. Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.....	43
5.4. Otimização dos Parâmetros de Flocculação.....	44
5.5. Ensaio para Contagem de Partículas	47
5.5.1. Medidas de pH e Turbidez Remanescente	47
5.5.2. Contagem de Partículas	48
5.6. Cálculo dos Coeficientes de Agregação e Ruptura (K_A e K_B).....	49
5.6.1. Método da Primeira Derivada Parcial da equação da flocculação desenvolvida para reatores estáticos, em relação ao parâmetro Gf - MPDPG.....	49
5.6.2. Método da Equação de Agregação e Ruptura - MEAR	52
6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES	58
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	61
ANEXO A - Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez - Sulfato de Alumínio	65

ANEXO B - Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez - Cloreto Férrico..	71
ANEXO C - Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida - Sulfato de Alumínio ...	77
ANEXO D - Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida - Cloreto Férrico	87
ANEXO E - Otimização dos Parâmetros de Flocculação - Sulfato de Alumínio.....	97
ANEXO F - Otimização dos Parâmetros de Flocculação - Cloreto Férrico	125
ANEXO G - Ensaio para Contagem de Partículas - Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico	149
ANEXO H - Resultados da Contagem de Partículas - Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico	157
ANEXO I - Curvas de N_0/N x Tempo de flocculação - Sulfato de Alumínio.....	167
ANEXO J - Curvas de N_0/N x Tempo de flocculação - Cloreto Férrico	179
APÊNDICE A - Desenvolvimento da primeira derivada parcial da equação da flocculação em relação ao parâmetro G_f	189

LISTA DE FIGURAS

- Figura 3.1 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio.9
Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982).
- Figura 3.2 - Desempenho da floculação (N_0/N) para uma faixa de valores de T_f e G_f quando utilizado Sulfato de Alumínio. Dosagem = 15mg/L; pH = 7,6; $N_0 = 3,14ftu$; $G_{mr} = 500s^{-1}$ e $T_{mr} = 10s$21
Fonte: BRATBY (1981).
- Figura 3.3 - Relação N_0/N em função do tempo de floculação após ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos de 2,0L, utilizando-se Sulfato de Alumínio como coagulante. $V_s = 3,5cm/min$23
Fonte: PÁDUA (1994).
- Figura 3.4 - Relação N_0/N em função do tempo de floculação após ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos de 2,0L, utilizando-se Sulfato de Alumínio como coagulante. $V_s = 3,5cm/min$23
Fonte: PÁDUA (1994).
- Figura 4.1 - Ponto de coleta de amostra situado a 70mm abaixo do nível d'água.32
- Figura 4.2 - Fotografia do equipamento de coagulação, floculação e sedimentação.33
- Figura 4.3 - Fotografia do equipamento de coagulação, floculação e sedimentação mostrando especificamente os dispositivos de adição de coagulante e coleta de amostra simultâneas.33

- Figura A-1 - Diagrama de Coagulação - Turbidez Remanescente em função da dosagem de Sulfato de Alumínio e pH de coagulação. ($V_s = 2,5\text{cm/min}$, $T_{mr} = 15\text{s}$, $G_{mr} = 1100\text{s}^{-1}$, $T_f = 20\text{min}$ e $G_f = 25\text{s}^{-1}$).67
- Figura B-1 - Diagrama de Coagulação - Turbidez Remanescente em função da dosagem de Cloreto Férrico e pH de coagulação. ($V_s = 2,5\text{cm/min}$, $T_{mr} = 15\text{s}$, $G_{mr} = 1100\text{s}^{-1}$, $T_f = 20\text{min}$ e $G_f = 25\text{s}^{-1}$).73
- Figura C-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dosagem = 20mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 5,0\text{cm/min}$79
- Figura C-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dosagem = 20mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 2,5\text{cm/min}$80
- Figura C-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dosagem = 20mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 0,5\text{cm/min}$81
- Figura D-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 5,0\text{cm/min}$89
- Figura D-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 2,5\text{cm/min}$90
- Figura D-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 0,5\text{cm/min}$91

Figura E-1	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 2,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	99
Figura E-2	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 5,0min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	99
Figura E-3	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 7,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	100
Figura E-4	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 10min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	100
Figura E-5	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 12,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	101
Figura E-6	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 15min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	101
Figura E-7	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 17,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	102
Figura E-8	- Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 20min; Tmr = 5s; Gmr = 400s ⁻¹	102

- Figura E-9 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 22,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.103
- Figura E-10 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 25min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.103
- Figura E-11 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 27,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.104
- Figura E-12 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 30min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.104
- Figura E-13 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 35min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.105
- Figura E-14 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 40min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.105
- Figura E-15 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 45min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.106
- Figura E-16 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 60min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.106

- Figura E-17 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 75min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹. 107
- Figura E-18 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 90min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹. 107
- Figura E-19 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N₀ X Tempo de Floculação (Tf). Coagulante = Sulfato de Alumínio (20mg/L); Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹; Vs = 5,0cm/min..... 120
- Figura E-20 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N₀ X Tempo de Floculação (Tf). Coagulante = Sulfato de Alumínio (20mg/L); Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹; Vs = 2,5cm/min..... 120
- Figura E-21 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N₀ X Tempo de Floculação (Tf). Coagulante = Sulfato de Alumínio (20mg/L); Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹; Vs = 0,5cm/min..... 121
- Figura F-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 2,5min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹. 127
- Figura F-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 5,0min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹. 127

- Figura F-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 7,5\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$128
- Figura F-4 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 10\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$128
- Figura F-5 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 12,5\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$129
- Figura F-6 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 15\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$129
- Figura F-7 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 17,5\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$130
- Figura F-8 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 20\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$130
- Figura F-9 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 22,5\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$131
- Figura F-10 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 25\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$131

- Figura F-11 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 27,5\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 132
- Figura F-12 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 30\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 132
- Figura F-13 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 35\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 133
- Figura F-14 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 40\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 133
- Figura F-15 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 45\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 134
- Figura F-16 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 60\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 134
- Figura F-17 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 75\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 135
- Figura F-18 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 90\text{min}$; $T_{mr} = 15\text{s}$; $G_{mr} = 400\text{s}^{-1}$ 135

- Figura F-19 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f). Coagulante = Cloreto Férrico (25mg/L); $T_{mr} = 15s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 5,0cm/min$ 144
- Figura F-20 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f). Coagulante = Cloreto Férrico (25mg/L); $T_{mr} = 15s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 2,5cm/min$ 144
- Figura F-21 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f). Coagulante = Cloreto Férrico (25mg/L); $T_{mr} = 15s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 0,5cm/min$ 145
- Figura G-1 - Turbidez Remanescente em função do Tempo de Sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$ 151
- Figura G-2 - Turbidez Remanescente em função do Tempo de Sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$ 151
- Figura H-1 - Resultados da Contagem de Partículas das amostras da água de estudo e dos sobrenadantes de diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio. 159
- Figura H-2 - Resultados da Contagem de Partículas das amostras da água de estudo e dos sobrenadantes de diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico. 159

- Figura I-1 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 20s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 169
- Figura I-2 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 20s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 169
- Figura I-3 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 20s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 169
- Figura I-4 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 30s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 170
- Figura I-5 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 30s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 170
- Figura I-6 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 30s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 170
- Figura I-7 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 171
- Figura I-8 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 171
- Figura I-9 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 171
- Figura I-10 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 50s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 172
- Figura I-11 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 50s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 172

- Figura I-12 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 50s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 172
- Figura I-13 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 173
- Figura I-14 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 173
- Figura I-15 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 173
- Figura I-16 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 70s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 174
- Figura I-17 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 70s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 174
- Figura I-18 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 70s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 174
- Figura I-19 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 80s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 175
- Figura I-20 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 80s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 175
- Figura I-21 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 80s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 175
- Figura I-22 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 90s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 176

- Figura I-23 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 90s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 176
- Figura I-24 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 90s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 176
- Figura I-25 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 100s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 177
- Figura I-26 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 100s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 177
- Figura I-27 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Sulfato de Alumínio. $Gf = 100s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 177
- Figura J-1 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 20s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 181
- Figura J-2 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 20s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 181
- Figura J-3 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 20s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 181
- Figura J-4 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 30s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 182
- Figura J-5 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 30s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 182
- Figura J-6 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 30s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 182

- Figura J-7 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 183
- Figura J-8 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 183
- Figura J-9 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 183
- Figura J-10 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 50s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 184
- Figura J-11 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 50s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 184
- Figura J-12 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 50s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 184
- Figura J-13 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$ 185
- Figura J-14 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$ 185
- Figura J-15 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$ 185

LISTA DE TABELAS

Tabela 4.1	- Características da água de estudo.....	31
Tabela 5.1	- Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação N_0/N , segundo o MPDPG, com os valores de turbidez remanescente obtidos no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Sulfato de Alumínio. Dosagem = 20mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 20\text{s}^{-1}$	50
Tabela 5.2	- Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação n_0/n , segundo o MPDPG, com o número de partículas obtido no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Sulfato de Alumínio. Dosagem = 20mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 20\text{s}^{-1}$	50
Tabela 5.3	- Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação N_0/N , segundo o MPDPG, com os valores de turbidez remanescente obtidos no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Cloreto Férrico. Dosagem = 25mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 35\text{s}^{-1}$	50
Tabela 5.4	- Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação n_0/n , segundo o MPDPG, com o número de partículas obtido no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Cloreto Férrico. Dosagem = 25mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 35\text{s}^{-1}$	51
Tabela 5.5	- Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação N_0/N , através do MEAR. Coagulante = Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L. $V_s = 5,0\text{cm/min}$	54

- Tabela 5.6 - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L. $V_s = 2,5\text{cm/min}$54
- Tabela 5.7 - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L. $V_s = 0,5\text{cm/min}$55
- Tabela 5.8 - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L. $V_s = 5,0\text{cm/min}$ 55
- Tabela 5.9 - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L. $V_s = 2,5\text{cm/min}$ 55
- Tabela 5.10 - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L. $V_s = 0,5\text{cm/min}$ 56
- Tabela 5.11 - Resumo dos valores extremos (mínimo e máximo) de K_A e K_B para os métodos MPDPG e MEAR. Coagulante: Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L.....57
- Tabela 5.12 - Resumo dos valores extremos (mínimo e máximo) de K_A e K_B para os métodos MPDPG e MEAR. Coagulante: Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L.57
- Tabela A-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para a construção do diagrama de coagulação para remoção de turbidez ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante e

	os parâmetros: $G_{mr} = 1100s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 25s^{-1}$; $T_f = 20min$ e $V_s = 2,5cm/min$	68
Tabela B-1	- Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para a construção do diagrama de coagulação para remoção de turbidez ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante e os parâmetros: $G_{mr} = 1100s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 25s^{-1}$; $T_f = 20min$ e $V_s = 2,5cm/min$	74
Tabela C-1	- Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros adotados: $G_f = 25s^{-1}$ e $T_f = 20min$	82
Tabela C-2	- Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L, $G_f = 25s^{-1}$ e $T_f = 20min$	86
Tabela D-1	- Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros adotados: $G_f = 25s^{-1}$ e $T_f = 20min$	92
Tabela D-2	- Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L e $G_f = 25s^{-1}$ e $T_f = 20min$	95
Tabela E-1	- Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar	

Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L.
Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$108

Tabela E-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L e os parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$122

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$136

Tabela F-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L e os parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$146

Tabela G-1 - Resultados do Ensaio Final: leituras de pH e turbidez remanescente dos sobrenadantes separados e após mistura, quando utilizado Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros fixados: $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$152

Tabela G-2 - Resultados do Ensaio Final: leituras de pH e turbidez remanescente dos sobrenadantes separados e após mistura, quando utilizado Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros fixados: $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação).....154

- Tabela H-1 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$ 160
- Tabela H-2 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$ 163



LISTA DE SÍMBOLOS

α	= raio de agregação-colisão (m)
μ	= viscosidade absoluta do fluido (Ns/m ²)
$\overline{\mu^2}$	= média dos quadrados das flutuações de velocidade (m/s)
ϕ	= fração de volume do floco (m ³)
B	= constante de ruptura (s)
D_{ij}	= coeficiente de difusão Browniana mútua de partículas i e j (m ² /s)
D_i	= diâmetro da partícula i (m)
D_j	= diâmetro da partícula j (m)
dn_1/dt	= variação do número de partículas primárias em relação ao tempo (1/s)
dv/dz	= gradiente de velocidade em escoamento laminar (s ⁻¹)
G_f	= gradiente de velocidade médio na floculação (s ⁻¹)
G_{f_i}	= gradiente de velocidade médio de floculação na câmara i (s ⁻¹)
G_m	= gradiente de velocidade médio (s ⁻¹)
G_{mr}	= gradiente de velocidade médio na mistura rápida (s ⁻¹)
H_{ij}	= número de contatos por unidade de tempo entre partículas de raio R_i e R_j (1/s)
K_1	= constante (s)
k_1	= constante determinada experimentalmente
k_2	= constante determinada experimentalmente (m ² /s)
K_A	= constante de agregação
K_B	= constante de ruptura (s)
K_F	= constante de floculação
K_P	= coeficiente de desempenho do tipo de arranjo dos dispositivos de agitação (m)
K_S	= constante do espectro de energia
m	= número de câmaras de mistura completa em série
N_0	= turbidez inicial do sobrenadante (uT)
N_1	= turbidez final do sobrenadante (uT)

xx

- n_0 = número de partículas primária por unidade de volume no tempo $T = 0$
($1/m^3$)
- n_1 = número de partículas primária por unidade de volume num tempo T ($1/m^3$)
- n_1^0 = número de partículas primárias por unidade de volume na água bruta (m^{-3})
- n_1^m = número de partículas primárias por unidade de volume na m -ésima câmara
(m^{-3})
- n_F = número de flocos por unidade de volume ($1/m^3$)
- n_i = número de partículas de raio i por unidade de volume ($1/m^3$)
- n_j = número de partículas de raio j por unidade de volume ($1/m^3$)
- P = potência útil introduzida no sistema (Nm/s)
- R_1 = raio da partícula primária (m)
- R_F = raio do floco (m)
- R_{ij} = raio de interação entre duas partículas i e j , isto é, a distância entre o centro
de duas partículas ($R_{ij} = R_i + R_j$) (m)
- R_i = raio da partícula i (m)
- R_j = raio da partícula j (m)
- T_d = tempo de detenção (s)
- T_f = tempo de floculação (s)
- T_{mr} = tempo de mistura rápida (s)
- V = volume útil do reator (m^3)
- V_s = velocidade de sedimentação (cm/min)

RESUMO

BRITO, S.A. (1998). *Influência da velocidade de sedimentação na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura durante a floculação*. São Carlos, 1998. 189p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

K_A e K_B / h₀ z

A modelação matemática da floculação visa estimar o desempenho desta operação em unidades em escala real. Para isso é necessária a determinação de alguns coeficientes para cada água em particular, através de experimentos executados em laboratório. Em 1970, ARGAMAN e KAUFMAN propuseram um modelo matemático cujos coeficientes de agregação e ruptura (K_A e K_B) foram calculados com os resultados obtidos em ensaios em escala piloto, com reatores de escoamento contínuo. Visando a simplificação da determinação destes coeficientes, BRATBY et al. (1977) apresentaram uma equação para prever o desempenho da floculação, que possibilitou a determinação dos valores de K_A e K_B com os resultados de ensaios realizados em reatores estáticos. Foram aplicados, no presente trabalho, dois métodos para calcular os valores de K_A e K_B : o MEAR (Método da Equação da Agregação e Ruptura) e o MPDPG (Método da Primeira Derivada Parcial da equação da floculação em relação ao Gf). Com os resultados do estudo experimental concluiu-se que a velocidade de sedimentação dos flocos influi na determinação dos coeficientes K_A e K_B para ambos métodos. Também foram feitas comparações entre os valores de turbidez e o número de partículas da água de estudo e dos sobrenadantes após os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos. Os resultados apresentaram diferenças na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura ao se utilizar os valores de turbidez remanescente em substituição ao número de partículas primárias.

Palavras-chave: coagulação, floculação, coeficientes de agregação e ruptura, velocidade de sedimentação, contagem de partículas.

ABSTRACT

BRITO, S.A. *Influence of settling velocity in the determination of values for the flocculation and breakup constants during flocculation*. São Carlos, 1998. 189p. Dissertação (mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.

The mathematical model of flocculation aims to estimate the performance of this operation in full-scale units. For this, it is necessary to determine some coefficients for each particular water through laboratory experiments. In 1970, ARGAMAN & KAUFMAN proposed a mathematical model whose flocculation and breakup constants (K_A and K_B) were calculated based on laboratory-scale continuous experiment results. Later on, BRATBY et al. (1977) presented results using laboratory batch assays that allowed determining the model constants. This study presents an application of two methods for calculating the values of flocculation and breakup constants: the first is the Method of Flocculation and Breakup Equation, and the second is the Method of the First Partial Derivative of flocculation equation regarding Gf parameter. From experiental study, it was concluded that floc settling velocity had influence on the determination of K_A and K_B . Comparisons between the values of turbidity and number of particles in raw water and in supernatants after coagulation, flocculation and settling in batch tests are also presented. The results indicated that the use of residual turbidity replacing particle counting presented differences in the determination of flocculation and breakup constants.

Keywords: coagulation, flocculation, flocculation and breakup constants, settling velocity, counting particles.

1. INTRODUÇÃO

A sobrevivência dos seres vivos está diretamente relacionada à presença de água em condições satisfatórias de consumo, pois sabe-se que a maioria das doenças que causam problemas à saúde do ser humano é de veiculação hídrica. Portanto, o tratamento da água que é fornecida à população é tarefa de grande responsabilidade, pois da sua qualidade depende a saúde pública.

Os registros históricos mostram a preocupação do homem em consumir água com qualidade aceitável desde os anos 2000 A.C., em que os escritos mais antigos, em sânscrito, relatam os cuidados que se deve ter com a água para beber (AZEVEDO NETTO, 1984).

Com o crescimento acentuado da população mundial e da industrialização, houve rápido aumento dos despejos e resíduos gerados, que, juntamente com a ocupação desordenada do solo, contribuíram para prejudicar cada vez mais a qualidade dos corpos d'água existentes. Desta forma, o tratamento da água tornou-se necessário à manutenção da vida humana.

Acompanhando o desenvolvimento da ciência e a descoberta de novas tecnologias, a produção de água potável teve grandes avanços e técnicas empíricas utilizadas antigamente, são merecedoras, atualmente, de estudos aprofundados resultando combinações diversas de processos e operações como coagulação, floculação, sedimentação, flotação e filtração empregados conforme a qualidade da água a ser tratada. Dentre as etapas do tratamento de água existentes em uma Estação, a coagulação e a floculação são de grande importância, pois delas depende a eficiência das unidades subseqüentes, como sedimentação ou flotação e filtração.

Para conhecer melhor o que se passa durante a coagulação e a floculação, vários estudos foram desenvolvidos com o objetivo de fornecer parâmetros de projeto aos profissionais da área para racionalizar a construção e operação destas

trabalho 2

unidades nas Estações de Tratamento de Água (ETA), pois os projetos eram idealizados de forma empírica. Pesquisadores passaram a utilizar equações matemáticas para representar os fenômenos envolvidos e prever o desempenho das unidades de mistura rápida e floculação. O primeiro a propor uma equação para descrever os encontros entre partículas foi SMOLUCHOWSKI, em 1916, mas foi somente a partir da introdução do conceito de gradiente de velocidade médio, definido por CAMP & STEIN, em 1943, que projetos racionais passaram a ser elaborados.

Visto que as impurezas a serem removidas durante o tratamento são de origem diversificada, cada água possui características particulares que devem ser levadas em consideração pelo projetista, pois estão diretamente relacionadas à operação e ao desempenho das unidades de tratamento. Desta forma, os modelos matemáticos que descrevem a coagulação e floculação dispõem de algumas variáveis que possuem relação intrínseca com cada tipo de água em particular, as quais têm de ser determinadas com base nos resultados de ensaios executados anteriormente à elaboração do projeto. Como na maioria das vezes as experiências em escala real são onerosas ou de difícil execução, foram desenvolvidos ensaios que utilizam unidades em escala de laboratório para a determinação do tipo e dosagem de coagulante, pH de coagulação, gradiente de velocidade médio e tempo de agitação (BRATBY et al, 1977).

Em 1970, ARGAMAN & KAUFMAN propuseram um modelo matemático envolvendo as constantes de agregação e ruptura (K_A e K_B) a serem determinadas a partir de ensaios em escala piloto, com reatores de escoamento contínuo. Conforme destacado por BRATBY et al (1977), tais experimentos requerem equipamentos de relativa complexidade e muitas vezes onerosos, além de tempo prolongado para sua execução. Baseado neste fato, esses autores propuseram um método para determinar K_A e K_B através dos resultados de ensaios em reatores estáticos, simplificando sua obtenção por tratar-se de um procedimento experimental rápido e de baixo custo.

HUDSON (1973) já havia enfatizado a importância dos ensaios em reatores estáticos ao criticar: "muitos especialistas em tratamento de água têm a idéia de que dados obtidos em reatores estáticos (tipo Jar-Test) fornecem resultados úteis e interessantes, mas não informações que podem ser aplicadas como critério de projeto

das unidades de uma estação ou avaliação operacional da mesma”, em um estudo sobre a aplicação dos resultados obtidos nestes ensaios.

No desenvolvimento da modelação proposta por BRATBY et al (1977) foi assumido que o tempo de sedimentação, após a coagulação e floculação realizadas em reatores estáticos, deveria ser relativamente longo, correspondendo a velocidades de sedimentação muito baixas, de forma a resultar somente partículas primárias no sobrenadante. Com isso, procurou-se relacionar o número de partículas aos valores de turbidez remanescente, visto que todos os modelos foram desenvolvidos tendo como base o número de partículas primárias presentes na água.

Em 1981, BRATBY propôs uma metodologia para otimizar os gradientes de velocidade de câmaras que compõem uma unidade de floculação mecanizada que empregava as equações mencionadas em seu trabalho anterior (1977), porém PÁDUA (1994) questionou a validade desta metodologia justificando que estudos realizados com tempo de sedimentação muito longo (velocidades de sedimentação baixas) não são aplicáveis à determinação de parâmetros de projeto, pois tal fato não ocorre nas estações de tratamento de água.

Com base neste questionamento, há necessidade da realização de um estudo referente à influência da velocidade de sedimentação de flocos na determinação dos coeficientes K_A e K_B e conseqüentemente, na previsão do desempenho de unidades de floculação, além de investigar se há algum valor de velocidade de sedimentação que permita relacionar o número de partículas presentes no sobrenadante com os valores de turbidez remanescente após ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos para aplicação dos resultados em modelos matemáticos de previsão do desempenho da floculação.

2. OBJETIVOS

Os objetivos do presente trabalho são:

- Estudar a influência da velocidade de sedimentação de flocos na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura (K_A e K_B) utilizando-se dados obtidos em ensaios realizados em reatores estáticos;
- Verificar se existe um valor para velocidade de sedimentação para a qual se pode utilizar os valores de turbidez remanescente do sobrenadante após ensaio de coagulação, floculação e sedimentação realizados em reatores estáticos, em substituição ao número de partículas primárias na determinação dos coeficientes K_A e K_B .

3. REVISÃO DA LITERATURA

3.1. Introdução

A coagulação e a floculação são etapas de grande importância pois suas eficiências apresentam relação direta com o desempenho da sedimentação e filtração.

Os objetivos do presente trabalho estão concentrados neste processo e nesta operação. Por isso, a seguir serão expostos os conceitos básicos decorrentes dos resultados de várias pesquisas para embasamento do estudo que ora é descrito.

3.2. Coagulação

“A água natural contém impurezas que variam amplamente em sua origem, concentração e tamanho. Algumas são constituintes do terreno ou fontes atmosféricas (por exemplo: argilas, siltes, detritos terrestres, organismos patogênicos, etc.) e outras são produzidas por processos químicos e biológicos dentro do corpo d’água (algas, precipitados químicos, detritos aquáticos). O tamanho das partículas pode ser de diversas ordens de grandeza: os vírus atingem cerca de 10^{-6} mm, as partículas coloidais encontram-se entre 10^{-6} e 10^{-3} mm e alguns zooplânctons chegam a 10^{-2} mm.”(AMERICAN WATERS WORKS ASSOCIATION, 1990). As partículas menores são de difícil remoção e, para tornar possível o tratamento, há necessidade de aglomerá-las para então efetuar sua remoção da água.

No entanto estas impurezas possuem cargas elétricas negativas em suas superfícies, gerando uma barreira repulsiva entre si e impossibilitando que aproximem-se umas das outras. Desta forma torna-se necessário promover a alteração das características das superfícies das partículas através da adição de

produtos químicos, geralmente sais de alumínio ou ferro, para vencer a barreira repulsiva. A este processo dá-se o nome de coagulação, e o produto químico adicionado é denominado coagulante.

Segundo ARGAMAN (1971) a fase de interação química entre o coagulante adicionado, a água e a superfície dos colóides ocorre em poucos segundos e envolve a hidrólise dos íons metálicos, formação de complexos, precipitação do hidróxido do metal e adsorção à superfície do colóide.

A coagulação depende das características das impurezas e da água, tais como pH, turbidez, alcalinidade, cor verdadeira, tamanho e distribuição de tamanhos das partículas, sólidos totais dissolvidos, etc...(DI BERNARDO, 1993).

De acordo com O'MELIA¹, apud JOHNSON & AMIRTHARAJAH (1983) existem, atualmente, quatro mecanismos distintos de coagulação: compressão da camada difusa, adsorção e neutralização de cargas, varredura e adsorção e formação de pontes. A seguir serão expostos breves comentários a respeito de cada um deles:

Compressão da camada difusa: sendo a superfície da partícula coloidal negativa, há a formação de uma outra camada de íons positivos que são atraídos pelo colóide formando a camada compacta. Na seqüência, íons negativos aproximam-se desta camada atraindo outros íons positivos, formando agora a camada difusa.

Este mecanismo de coagulação se dá pela introdução de um eletrólito indiferente (não têm características de hidrólise ou de adsorção) no meio coloidal causando um aumento na densidade de cargas e fazendo com que haja uma compressão da camada difusa, diminuindo a esfera de influência das partículas. Altas concentrações de íons positivos e negativos (força iônica elevada) na água acarretam um acréscimo no número de íons da camada difusa tendo seu volume reduzido para poder manter-se eletricamente neutra, de modo que as forças atrativas de Van der Waals passam a ser dominantes, eliminando assim a estabilização eletrostática. A quantidade de eletrólitos necessária para conseguir-se a coagulação pela compressão da camada difusa é praticamente independente da concentração

¹O'MELIA, C.R. (1972). *Coagulation and Flocculation - Physico chemical processes for water quality control*. W.J. Weber Jr., editor, Wiley Interscience, apud JOHNSON & AMIRTHARAJAH (1983).

coloidal na água e, nesse mecanismo é impossível causar a reestabilização da carga dos colóides.

Adsorção e neutralização de cargas: consiste na desestabilização das partículas através das reações entre coagulante-colóide, coagulante-solvente e colóide-solvente. Neste caso, coagulante é o nome dado a algumas espécies químicas que são capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais, as quais possuem carga elétrica contrária à dos colóides. Para elevadas concentrações de coagulante, dependendo de sua composição química, pode ocorrer o fenômeno da reestabilização de cargas, ou seja, os colóides tornam-se carregados positivamente pelo excesso de íons presentes no meio.

Segundo DI BERNARDO (1993) o mecanismo de adsorção e neutralização de cargas é muito importante quando se emprega uma das tecnologias de filtração direta, pois não há necessidade da formação de flocos para posterior sedimentação, mas de partículas desestabilizadas que são retidas no meio filtrante.

Varredura: este mecanismo é dependente da quantidade de coagulante adicionada, do pH da mistura e da concentração de algumas espécies de íons presentes na água, e ocorre quando há a formação de precipitados, $\text{Al}(\text{OH})_3(\text{p})$ ou $\text{Fe}(\text{OH})_3(\text{p})$, no caso da adição de sais de alumínio ou ferro, respectivamente, que envolvem as partículas coloidais, formando flocos que sedimentam rapidamente.

O mecanismo da varredura é intensivamente 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 comparado aos flocos obtidos com a coagulação realizada no mecanismo de adsorção-neutralização de cargas (DI BERNARDO, 1993).

Adsorção e formação de pontes: é obtido com a adição de polímeros, caracterizados por grande cadeia molecular, que apresentam cadeias com sítios ionizáveis que atuam como coagulantes. Os polímeros podem ser classificados como

aniônicos, catiônicos, anfóteros e não-iônicos, dependendo da característica do sítio ionizável que apresentam em solução.

Segundo MENDES (1989), a teoria de pontes químicas explica o comportamento de polímeros como coagulantes baseado na adsorção destes à superfície das partículas coloidais, seguida, ou pela redução da carga, ou pelo “entrelaçamento” das partículas pelos polímeros.

Como mencionado anteriormente, a escolha do mecanismo de coagulação a ser realizado em uma estação de tratamento de água é feita dependendo do tratamento efetuado posteriormente à coagulação.

Na Figura 3.1 é mostrado o diagrama de coagulação do sulfato de alumínio, desenvolvido por AMIRTHARAJAH & MILLS (1982), obtido através da realização de ensaios que forneceram pares de valores “dosagem de coagulante X pH de coagulação”. Após plotados, eles delimitaram as regiões de melhor eficiência da coagulação após floculação e sedimentação e tornaram possíveis as indicações dos mecanismos de coagulação ocorridos. Pode-se observar que a região na qual ocorre o mecanismo da adsorção e neutralização de cargas é caracterizada por valores de pH e dosagem de coagulante bem menores e abrangem uma faixa mais estreita quando comparados aos da região do mecanismo da varredura.

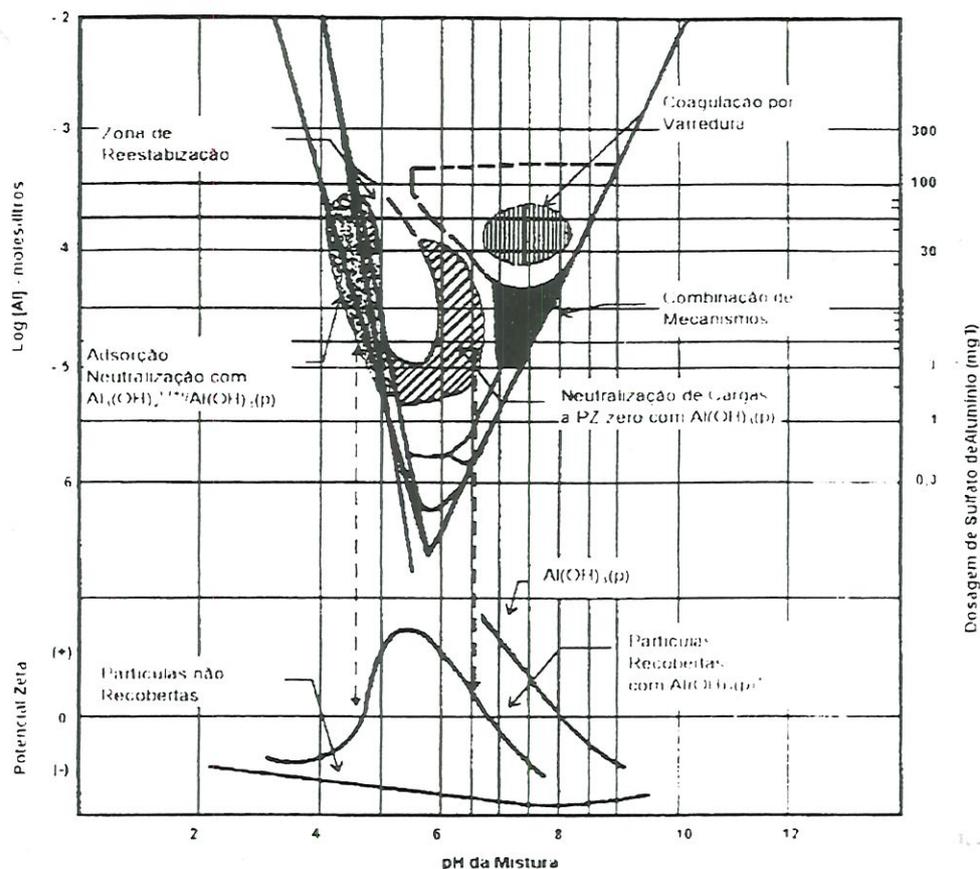


Figura 3.1 - Diagrama de coagulação do sulfato de alumínio.

Fonte: AMIRTHARAJAH & MILLS (1982).

3.3. Floculação

Após a coagulação, objetiva-se promover choques entre as partículas para que haja contato e, na seqüência, a aglomeração e formação dos flocos. Esta operação de proporcionar condições favoráveis à aglutinação dos colóides é denominada floculação.

Segundo STUMM & O'MELIA (1968), as duas etapas no processo de agregação entre as partículas em uma dispersão coloidal são distintas: a desestabilização é um processo de interação colóide-coagulante, controlado por parâmetros físicos e químicos; já o transporte de partículas num sistema aquoso é essencialmente físico, controlado por parâmetros como temperatura, gradiente de velocidade médio e tamanho da partícula.

A interação entre as partículas na água é decorrente de três mecanismos distintos: interação pericinetica, interação ortocinetica e sedimentação diferenciada.

Interação pericinetica: é provocada pelo movimento Browniano, ou seja, as partículas possuem um movimento errático gerado por sua energia térmica que possibilita a ocorrência de encontros entre si.

Interação ortocinetica: os encontros entre as partículas se dão em decorrência do gradiente de velocidade aplicado no meio, seja o escoamento laminar ou turbulento.

Sedimentação diferenciada: como cada partícula sedimenta com uma velocidade diferente, pode acontecer de elas se encontrarem durante a sedimentação.

Como a maioria das dispersões coloidais contém partículas relativamente grandes para movimentarem-se com energia própria, o movimento Browniano não é significativo, havendo a necessidade da introdução de energia externa aplicada por dispositivos de agitação hidráulicos ou mecânicos para proporcionar a colisão, HANNAH et al (1967). Entretanto, em alguns sistemas com partículas relativamente pequenas, o movimento Browniano será a maior fonte de energia (AWWA-Committee Report, 1971). Ainda segundo BRATBY et al (1977), até o diâmetro de aproximadamente $1,0\mu\text{m}$, as partículas são agregadas através da ação do movimento Browniano (floculação pericinetica) e a partir deste diâmetro, o crescimento dos flocos é obtido pela ação da floculação ortocinetica.

A eficiência da coagulação e floculação é influenciada por fatores como pH, temperatura, tempo e intensidade de agitação, geometria do equipamento de agitação, concentração do coagulante, idade da solução, ponto de aplicação do coagulante e características da água bruta, entre outros. A seguir é feita uma pequena abordagem dos principais fatores envolvidos neste trabalho:

- a) *pH*: é importante que a coagulação seja realizada em valores de pH adequados pois segundo CAMP et al (1940), se este fator não for levado em consideração, pode haver desperdício de coagulante quando da realização da coagulação. Atualmente ainda há que se levar em conta a preocupação dos profissionais de saúde com relação ao Alumínio residual, no caso da utilização de um sal de alumínio como coagulante, sendo que o pH também exerce influência neste parâmetro.
- b) *Temperatura*: várias pesquisas já foram executadas com o objetivo de verificar se a temperatura exerce influência sobre a coagulação e a floculação e os resultados foram os mais variados. Alguns pesquisadores como CAMP et al (1940) ao perceberem a diminuição da qualidade do efluente de uma estação de tratamento no inverno, chegaram à conclusão de que a temperatura interferia na viscosidade da água e esta, por sua vez, interferia na sedimentação dos flocos formados, pois no inverno a viscosidade da água aumentava e a velocidade de sedimentação dos mesmos diminuía, sendo necessário maior tempo de detenção nos decantadores para que eles fossem removidos. Como um longo período de sedimentação não era disponível na estação de tratamento de água, a remoção de partículas por sedimentação era menor no inverno. CLEASBY (1984) concordou com esta afirmação ao dizer que a idéia de que a floculação é prejudicada por temperaturas baixas pode ser induzida pela influência da viscosidade na velocidade de sedimentação dos flocos.
- c) *Tempo e intensidade de agitação*: a intensidade de agitação na mistura rápida é dependente do mecanismo de coagulação predominante, sendo mais importante na adsorção e neutralização de cargas do que na varredura, pois neste último mecanismo as condições químicas para a formação rápida do hidróxido amorfo, e posterior floculação e sedimentação são mais importantes do que as interações de transporte entre o colóide e os produtos de hidrólise durante a desestabilização (AMIRTHARAJAH & MILLS, 1982).

De acordo com ARGAMAN & KAUFMAN (1970) os parâmetros físicos que afetam a floculação são o tempo de detenção, a energia total introduzida e as propriedades do campo turbulento. Ainda segundo estudo feito por estes

pesquisadores, existe um tempo mínimo de floculação abaixo do qual não se consegue a eficiência desejada, qualquer que seja a energia introduzida, e também, para um determinado tempo de floculação, a eficiência aumenta com a quantidade de energia introduzida (expressa pelo gradiente de velocidade médio) até um valor máximo, abaixo do qual a eficiência diminui.

3.4. Modelação Matemática na Floculação

Com o objetivo de racionalizar os projetos das unidades de mistura rápida e floculação, vários pesquisadores desenvolveram trabalhos procurando interpretar o que acontece nestas unidades através do equacionamento de variáveis que representam os parâmetros de projeto utilizados pelos profissionais da área.

O primeiro pesquisador a apresentar um equacionamento para a floculação foi SMOLUCHOWSKI (1916)², apud HARRIS et al (1966) e BRATBY et al (1977), visando avaliar a floculação pericínética entre partículas de dois tamanhos através da equação:

$$H_{ij} = 4 \pi D_{ij} R_{ij} n_i n_j \quad (1)$$

em que:

H_{ij} = número de contatos por unidade de tempo entre partículas de raio R_i e R_j (1/s);

D_{ij} = coeficiente de difusão Browniana mútua de partículas i e j (aproximadamente $D_i + D_j$) (m^2/s);

D_i = diâmetro da partícula i (m);

D_j = diâmetro da partícula j (m);

R_{ij} = raio de interação entre duas partículas i e j , isto é, a distância entre o centro de duas partículas ($R_{ij} = R_i + R_j$) (m);

²Von SMOLUCHOWSKI, M. (1916). *Drei vorträge über diffusion, brownshe molekular beweging und koagulation von kolloidteilchen*. Physik. Z. 17:557 apud HARRIS et al (1966) e BRATBY et al (1977).

R_i = raio da partícula i (m);

R_j = raio da partícula j (m);

n_i = número de partículas de raio i por unidade de volume ($1/m^3$);

n_j = número de partículas de raio j por unidade de volume ($1/m^3$).

A hipótese da interação entre partículas de somente dois tamanhos foi criticada por HARRIS et al (1966) por ser uma limitação à equação, visto que não representa as condições encontradas nas estações de tratamento de água. Além disso, “a existência de efeitos hidrodinâmicos tendem a retardar ou até evitar que haja contato entre duas partículas pela ação do movimento Browniano (...). Assim, a interação pericinética não é significativa em tratamento de água”.(DI BERNARDO, 1993).

Estando a floculação pericinética completa, e não sendo suficiente para a formação de flocos para posterior remoção, a única maneira de promover contato entre as partículas é através da introdução de movimentos no líquido, ação que é conseguida pela indução de gradientes de velocidade na massa líquida. Em 1917, SMOLUCHOWSKI³ apud BRATBY et al (1977) propôs um modelo matemático para a floculação ortocinética representado pela eq.(2):

$$H_{ij} = \frac{4}{3} n_i n_j R_{ij}^3 \frac{dv}{dz} \quad (2)$$

em que:

$$\frac{dv}{dz} = \text{gradiente de velocidade em escoamento laminar (s}^{-1}\text{)}.$$

A aplicabilidade da eq.(2) para projeto de sistemas de floculação é limitada, pois seu desenvolvimento foi baseado em condições de escoamento laminar e, na prática, a floculação ocorre em regime turbulento.

³Von SMOLUCHOWSKI, M. (1917). *Versuch einer mathematischen theorie der koagulations-kinetic kolloid lösungen*. Z. Physic. Chem 92:155, apud BRATBY et al (1977).

Como os gradientes de velocidade locais não podem ser determinados em regime turbulento, CAMP & STEIN (1943) substituíram o termo $\frac{dv}{dz}$ por um valor médio mensurável denominado gradiente de velocidade médio, G_m , (BRATBY et al, 1977). Este valor foi definido como:

$$G_m = \sqrt{\frac{P}{\mu V}} \quad (3)$$

em que:

- G_m = gradiente de velocidade médio (s^{-1});
- P = potência útil introduzida no sistema (Nm/s);
- V = volume útil (m^3);
- μ = viscosidade absoluta do fluido (Ns/m^2).

Este parâmetro tem sido muito utilizado nos projetos de mistura rápida e floculação e em modelações matemáticas que descrevem a cinética da coagulação e floculação. Porém, vários pesquisadores têm feito críticas a esta definição, pois estudos feitos com diferentes equipamentos de mistura utilizando o mesmo valor de G_m , dosagem de coagulante e tempo de mistura rápida mostraram eficiências diferentes na remoção de turbidez (LETTERMAN et al, 1973).

ARGAMAN & KAUFMAN (1970) também teceram comentários à definição do gradiente de velocidade principalmente pelo fato de que ela não considera as flutuações no tempo e no espaço que podem ocorrer no regime turbulento, mostrando que valores de G_m de determinada escala de turbulência não contribuem significativamente para colisões de partículas que são muito maiores que esta escala.

Após a definição do conceito de gradiente de velocidade médio desenvolvido por CAMP & STEIN (1943), este passou a ser adotado como critério de projeto de unidades de mistura rápida e de floculação, mas até então, somente o efeito da agregação das partículas vinha sendo levado em consideração nos equacionamentos desenvolvidos.

trabalho 2

Kata / ho 2

Ocorre, no entanto, que ao aumentar a intensidade de agitação (o que corresponde ao aumento de G_m), eleva-se a taxa de encontros, mas também as forças de cisalhamento podem causar a ruptura dos flocos. Portanto, um modelo que expresse o que realmente acontece durante a floculação deve abranger tanto os efeitos de agregação como os de ruptura.

Segundo PARKER et al (1972), existem dois mecanismos de ruptura: erosão superficial de partículas primárias e fragmentação e deformação de flocos já formados.

Erosão superficial de partículas primárias: é provocado pelo arraste do fluido atuando por intermédio de forças cisalhantes nas superfícies dos flocos, quando estes encontram-se no regime turbulento.

Fragmentação de flocos já formados: é devida às diferenças de pressões dinâmicas em lados opostos do floco, resultando na deformação e posterior fragmentação dos flocos (THOMAS⁴ apud PARKER et al, 1972).

Somente em 1966, HARRIS & KAUFMAN⁵ apud BRATBY et al (1977) e HARRIS et al (1966) introduziram coeficientes nos modelos matemáticos para representar a ruptura dos flocos. Em 1970, ARGAMAN & KAUFMAN desenvolveram uma equação para representar a ruptura dos flocos, ou seja, o reaparecimento das partículas primárias:

$$\frac{dn_1}{dt} = BR_F^2 \frac{n_F}{R_1^2} \overline{\mu^2} \quad (4)$$

em que:

$\frac{dn_1}{dt}$ = variação do número de partículas primárias em relação ao tempo (1/s);

B = constante de ruptura (s);

R_F = raio do floco (m);

⁴ THOMAS, D.G. (1964). *Turbulent disruption of flocs in small particle size suspensions*. AICHE Journal, v.10, p.517-523, July.

⁵ HARRIS, H.S. and KAUFMAN, W.J. (1966). *Orthokinetic flocculation of polydispersed systems*. SERL Report n.66-2, Berkeley: SERL, Univ. of Calif., Berkeley, Calif. apud BRATBY et al (1977).

n_F = número de flocos por unidade de volume ($1/m^3$);

R_1 = raio da partícula primária (m);

$\overline{\mu^2}$ = média dos quadrados das flutuações de velocidade, a qual está relacionada ao gradiente de velocidade G_m e é uma medida da intensidade de turbulência (m/s).

Também em 1970, ARGAMAN & KAUFMAN propuseram um modelo para previsão do desempenho de sistemas de floculação, assumindo as seguintes hipóteses:

a) O tamanho do floco está estreitamente relacionado à média dos quadrados das flutuações de velocidade como segue:

$$R_F = \frac{K_2}{\mu^2} \quad (5)$$

em que: K_2 = constante (m^2/s);

Eles mostraram experimentalmente que para propósitos práticos esta hipótese é válida.

b) A média dos quadrados das flutuações de velocidade pode ser estimada a partir do gradiente de velocidade médio:

$$\overline{\mu^2} = K_p G_m \quad (6)$$

em que:

K_p = coeficiente de desempenho do tipo de arranjo dos dispositivos de agitação (m).

A diferença nos valores de K_p para diferentes agitadores embasa o argumento de que G_m é um parâmetro cuja influência é dependente de um arranjo particular dos dispositivos de agitação e configuração do reator.

c) Assumindo partículas esféricas, o volume total de flocos em um reator é dado por:

$$\phi = \frac{4}{3} \pi n_F R_F^3 \quad (7)$$

em que:

ϕ = fração de volume do floco (m^3).

d) O raio de agregação-colisão, α , é constante. Os autores chamam a atenção, entretanto, porque à medida que o tempo de floculação aumenta, os flocos tornam-se mais compactos e de forma mais regular e por isso a probabilidade de sucesso de aderência na colisão diminui.

Descrevendo a constante de floculação, K_F , como:

$$K_F = 3 \alpha \phi \quad (8)$$

em que:

α = raio de agregação-colisão (m).

e a constante de ruptura, K_B , como:

$$K_B = \frac{3B\phi K_p^2}{4\pi n_0 R_1^2 K_1} \quad (9)$$

em que:

K_1 = constante (s).

Trabalho 2

→ resultados da pesquisa

tem-se a equação da floculação proposta pelos autores:

$$\frac{n_0}{n_1} = \frac{1 + K_A G_f T_f}{1 + K_B G_f^2 T_f} \quad (10)$$

em que:

- n_0 = número de partículas primária por unidade de volume no tempo $T = 0$ ($1/m^3$);
- n_1 = número de partículas primária por unidade de volume num tempo T ($1/m^3$);
- G_f = gradiente de velocidade médio na floculação (s^{-1});
- T_f = tempo de floculação (s);
- $K_A = K_F K_S K_P$ = constante de agregação;
- K_F = constante de floculação;
- K_S = constante do espectro de energia;
- K_B = constante de ruptura (s);
- K_A e K_B são constantes fixas para um único tanque.

Trabalho 2

O modelo para previsão do desempenho de um sistema composto por m câmaras de floculação mecanizadas em série, supondo que os coeficientes de agregação e ruptura e o gradiente de velocidade médio permaneçam constantes nas m câmaras, proposto por ARGAMAN & KAUFMAN (1970) pode ser expresso pela equação:

$$\frac{n_1^0}{n_1^m} = \frac{\left(1 + K_A G_f \frac{T_d}{m}\right)^m}{1 + K_B G_f^2 \frac{T_d}{m} \sum_{i=0}^{m-1} \left(1 + K_A G_f \frac{T_d}{m}\right)^i} \quad (11)$$

em que:

- n_1^0 = número de partículas primárias por unidade de volume na água bruta (m^{-3});

n_1^m = número de partículas primárias por unidade de volume na m-ésima câmara (m^{-3});

K_A = constante de agregação, determinada experimentalmente em reatores com escoamento contínuo;

K_B = constante de ruptura, determinada experimentalmente em reatores com escoamento contínuo (s);

G_f = gradiente de velocidade médio de floculação (s^{-1});

T_d = tempo de detenção durante a floculação (s);

m = número de câmaras de mistura completa em série.

Trabalho 2 - misturas

De acordo com ARGAMAN & KAUFMAN (1970) a determinação dos valores dos coeficientes K_A e K_B deveria ser obtida através de ensaios em instalações piloto com escoamento contínuo. Tal fato dificultava a utilização do modelo devido ao custo envolvido e também ao tempo relativamente longo necessário à execução dos ensaios.

3.5. Cálculo dos coeficientes de agregação e ruptura, K_A e K_B , com resultados obtidos em reatores estáticos

A equação linear simplificada proposta por ARGAMAN & KAUFMAN (1970) para descrever a remoção de partículas primárias é a seguinte:

Trabalho

$$\frac{dn_1}{dt} = -K_A n_1 G_f + K_B n_0 G_f^2$$

$$0 = -K_A n_1 / 65 + K_B n_0 / 65 \quad (12)$$

em que:

$$\frac{dn_1}{dt} = \text{variação do número de partículas primárias em relação ao tempo (1/s)}.$$

O termo $-K_A n_1 G_f$ indica o desaparecimento de partículas primárias para dar origem aos flocos e o termo $+K_B n_0 G_f^2$ indica o aparecimento de partículas por

erosão dos flocos. A variação do número de partículas primárias em relação ao tempo é dada pelo somatório destes dois efeitos simultâneos.

Para facilitar o emprego da eq.(11), BRATBY et al (1977) apresentaram a eq.(13), para sistemas de floculação tipo batelada, visando possibilitar o cálculo dos coeficientes K_A e K_B a partir de ensaios realizados em reatores estáticos. Esta equação foi obtida integrando-se a eq.(12), e assumindo o número de partículas primárias igual à turbidez remanescente:

$$\frac{N_0}{N_1} = \left[\frac{K_B}{K_A} G_f + \left(1 - \frac{K_B}{K_A} G_f \right) e^{-K_A G_f T_f} \right]^{-1} \quad (13)$$

em que:

N_0 = turbidez inicial do sobrenadante (uT);

N_1 = turbidez final do sobrenadante (uT).

Para tanto, os autores estipularam que o tempo de sedimentação adotado durante os ensaios seria relativamente longo, visando utilizar os valores da turbidez remanescente para relacioná-los ao número de partículas primárias no sobrenadante. Os pesquisadores salientaram que a equação aplica-se perfeitamente a reatores de mistura completa para valores de G_f menores que $100s^{-1}$.

PÁDUA (1994) contestou esta metodologia ao questionar a validade dos dados encontrados pois com tempo de sedimentação 'infinito' tem-se uma velocidade de sedimentação correspondente muito baixa, diferente do que realmente acontece nas estações de tratamento de águas, nas quais se tem valores de velocidade de sedimentação nos decantadores da ordem de 1,0 a 5,0cm/min.

Com o sistema formado pelas eq.(12) e (13), é possível determinar os coeficientes K_A e K_B . Igualando-se a eq.(12) a zero, ou seja, supondo-se que não haja mais agregação e desagregação de partículas primárias, obtém-se a eq.(14):

$$\frac{K_B}{K_A} = \frac{1}{G_f \frac{N_0}{N}} \quad (14)$$

Para o cálculo de K_A e K_B .

BRATBY (1981) demonstrou o cálculo de K_A e K_B segundo procedimento descrito a seguir:

- A partir da porção horizontal da curva de melhor ajuste de todos os dados experimentais (os ensaios foram conduzidos até que uma porção horizontal significativa fosse produzida), conforme mostrado na Figura 3.2, tem-se o valor N_0/N . A razão K_B/K_A é determinada pela eq.(14).

sendo G conhecido.

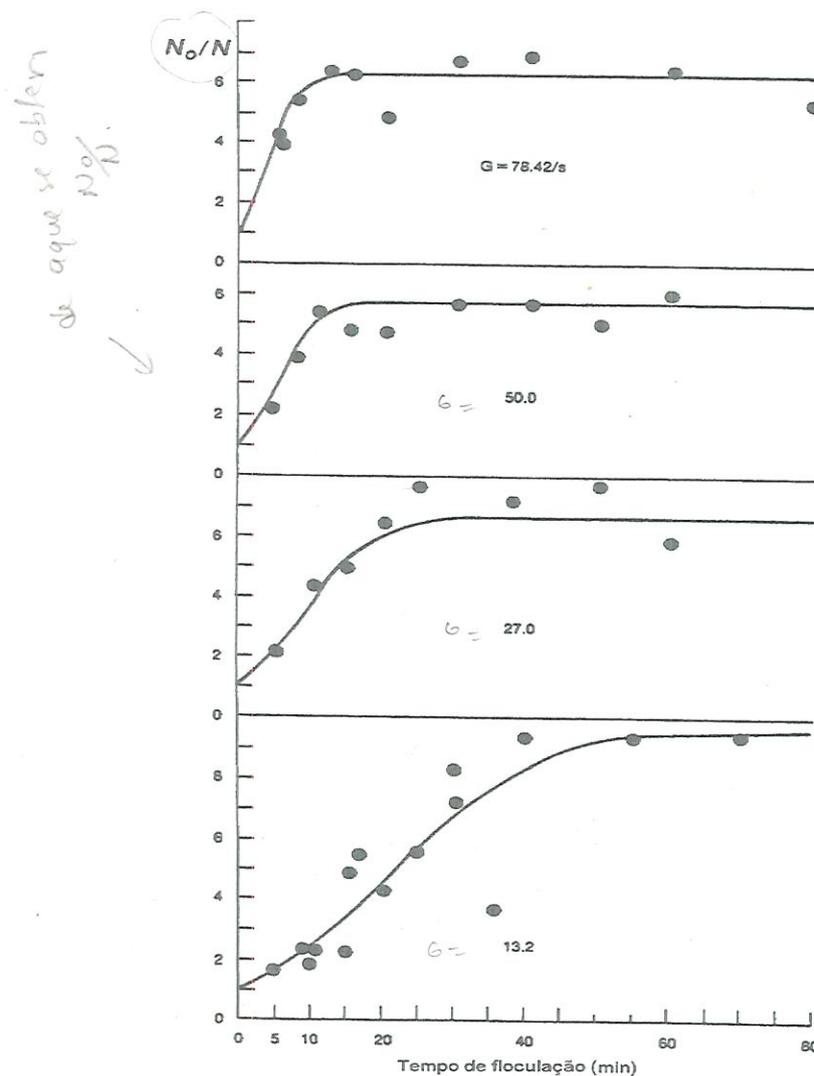


Figura 3.2 - Desempenho da floculação (N_0/N) para uma faixa de valores de T_f e G_f quando utilizado Sulfato de Alumínio. Dosagem = 15 mg/L; pH = 7,6; $N_0 = 3,14ftu$, $G_{mr} = 500s^{-1}$ e $T_{mr} = 10s$.

Fonte: BRATBY (1981).

- Tomando pontos sucessivos nas curvas de melhor ajuste para cada valor de G_f , os valores de K_A são determinados a partir do rearranjo da eq.(13), representado por:

$$K_A = \frac{1}{G_f T_f} \ln \left(\frac{\left(1 - \frac{K_B}{K_A} G_f \right)}{\left(\frac{1}{\frac{N_0}{N} - \frac{K_B}{K_A} G_f} \right)} \right) \quad (15)$$

- A partir dos valores de K_A calculados para cada ponto da curva e para cada valor de G_f em particular, o valor médio é calculado e, dos valores de K_B/K_A para cada curva, os valores de K_B são determinados.
- Constrói-se uma curva em que são plotados os valores de K_B na ordenada e $\ln G_f$ na abscissa. O valor de K_B para qualquer valor de G_f normalmente segue a relação da forma:

$$K_B = k_1 \ln G_f + k_2 \quad (16)$$

em que k_1 e k_2 são constantes para uma água em particular.

BRATBY (1981) mencionou ainda que a relação empírica entre a constante de ruptura K_B e o gradiente de velocidade médio G_f apresentada na eq.(16) foi admitida por conveniência da análise e ressaltou a inadequação do mecanismo de ruptura assumido (erosão superficial dos flocos). Entretanto, segundo o autor, esta inadequação não se torna importante desde que os resultados dos ensaios em reatores estáticos possam ser aplicados diretamente aos projetos de mistura completa com escoamento contínuo.

PÁDUA (1994) ao estudar a aplicabilidade da metodologia proposta por BRATBY (1981) e propor uma outra metodologia para a determinação de gradiente de velocidade médio em unidades de floculação de mistura completa com câmaras em série e escoamento contínuo, não pôde dar seqüência ao procedimento

recomendado por BRATBY (1981), pois na análise dos resultados obtidos pelo autor não foi observada a tendência assintótica da eficiência de remoção de turbidez com o aumento do tempo de floculação, conforme pode ser visto, por exemplo, nas Figuras 3.3 e 3.4 a seguir:

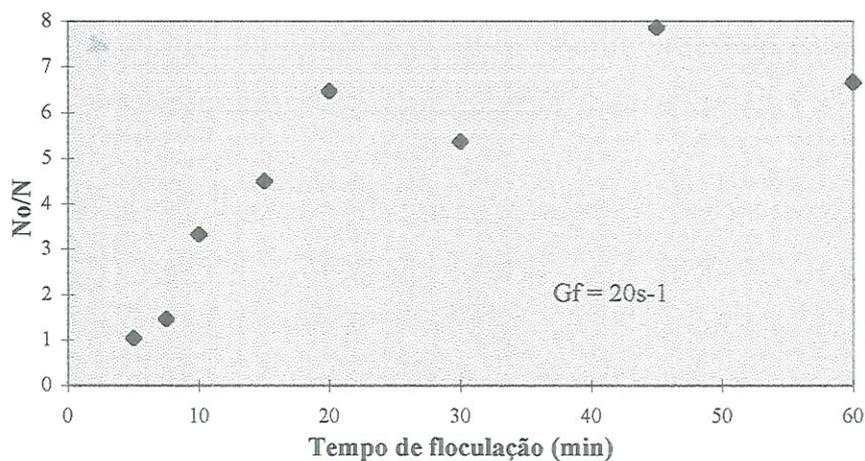


Figura 3.3 - Relação No/N em função do tempo de floculação após ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos de 2,0L, utilizando-se Sulfato de Alumínio como coagulante. $V_s = 3,5\text{cm/min}$.

Fonte: PÁDUA (1994).

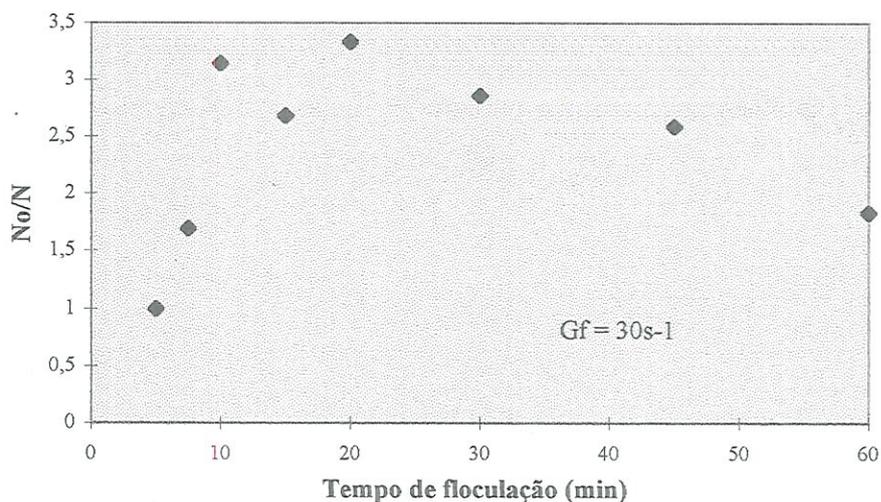


Figura 3.4 - Relação No/N em função do tempo de floculação após ensaio de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos de 2,0L, utilizando-se Sulfato de Alumínio como coagulante. $V_s = 3,5\text{cm/min}$.

Fonte: PÁDUA (1994).

$$\frac{K_b}{K_a} = \chi$$

LIBÂNIO (1995) também questionou a validade da metodologia proposta por BRATBY (1981) ao comentar que “diversos trabalhos experimentais têm confirmado nítida redução da eficiência da floculação com o contínuo aumento do período de agitação. Em função das características da água e das condições de mistura rápida e floculação, os flocos atingem seu tamanho máximo a partir do qual passa a prevalecer o mecanismo de ruptura. Desta forma, o aumento do período de floculação tende a reduzir as dimensões dos flocos e, conseqüentemente, a eficiência da floculação.”

Como conseqüência destes questionamentos, foi proposto um outro método para calcular os coeficientes de agregação e ruptura, denominado Método da Equação de Agregação e Ruptura - MEAR - com base nas eq.(12) e (13), cujo procedimento é semelhante ao descrito por BRATBY (1981), mas ao invés de obter o valor No/N da porção horizontal da curva de melhor ajuste dos dados experimentais, a relação No/N , para cada valor de Gf e Vs será correspondente ao ponto que fornecer maior eficiência para o menor tempo de floculação. A justificativa para tal decisão encontra-se no item 5.6.2..

Outra forma de calcular os coeficientes de agregação e ruptura foi proposta, a qual utiliza a primeira derivada parcial da eq.(13) em relação ao parâmetro Gf (gradiente de velocidade médio ótimo que produz a máxima eficiência para o tempo de floculação considerado), igualada a zero, fornecendo:

$$K_B = \frac{K_A^2 T_f e^{-K_A G_f T_f}}{1 + K_A G_f T_f e^{-K_A G_f T_f} - e^{-K_A G_f T_f}} \quad (17)$$

O desenvolvimento da primeira derivada parcial da eq.(13) em relação a Gf encontra-se no Apêndice A.

Os coeficientes K_A e K_B foram determinados através do sistema formado pelas eq.(13) e (17). cujo procedimento, no presente trabalho, foi denominado Método da Primeira Derivada Parcial em relação a Gf - MPDPG.

1/4 ba/ho. 2

porque do uso de MEAR

importante

outro método

os 2 métodos podem ser trabalhados

3.6. Número de Partículas e Turbidez da água decantada

A remoção de material particulado sempre foi um dos objetivos primários no tratamento de água, pois a presença de tais partículas, além de apresentar problemas estéticos, protege os microrganismos da desinfecção e fornece área superficial para aderência de compostos químicos tóxicos (LEWIS et al, 1993).

Há alguns anos atrás, a medida da quantidade de sólidos suspensos presentes na água era feita por meio da análise gravimétrica, um procedimento confiável, mas que consumia muito tempo na sua execução e por isso não foi considerado um parâmetro muito prático para se efetuar o monitoramento da água tratada. Assim, com o desenvolvimento da nefelometria, a turbidez passou a ser considerada um parâmetro de grande aceitação para refletir a clarificação da água, sendo uma medida de simples execução e interpretação.

A maioria dos instrumentos usados para a determinação da turbidez possui uma fonte de luz que emite um forte feixe luminoso. Materiais em suspensão refletem uma porção da luz incidente (proporcional à turbidez presente), e a luz refletida é recebida por um detector fotoelétrico. A energia luminosa é então convertida em um sinal elétrico e a turbidez expressa no painel do equipamento. O detector que mede a dispersão da luz fica situado a um certo ângulo relativo à incidência do feixe luminoso. Quando este ângulo é de aproximadamente 90° , o instrumento é chamado de turbidímetro (ou nefelômetro). A fonte de luz mais comum nos turbidímetros modernos é a lâmpada de filamento de tungstênio, podendo ser utilizada também lâmpadas de mercúrio, laser e diodos de emissão de luz (HART et al, 1992). Entretanto a turbidez fornece apenas o índice de refração da luz dispersa a 90° através das partículas presentes na amostra, e não informações específicas sobre as partículas que estão dispersas na luz.

Com o passar do tempo, novas técnicas de tratamento foram surgindo e os padrões de potabilidade fixados pelas autoridades sanitárias foram tornando-se mais rigorosos. Percebeu-se também que muitas águas que obedeciam o limite máximo de turbidez fixado nestes padrões ainda apresentavam microrganismos nocivos ao ser humano. Diagnosticado este fato, houve necessidade de se buscar outros parâmetros que suprissem esta necessidade de conhecer os tipos e tamanhos de partículas que

ainda encontravam-se na água fornecida à população, mesmo com pequenos valores de turbidez.

O equipamento para contagem de partículas não fornece o tipo de partícula presente na água, mas possibilita o conhecimento da distribuição de tamanhos e concentração (número absoluto de partículas) das impurezas, ou seja, informações quantitativas específicas que os turbidímetros não podem fornecer. A maioria dos contadores de partículas comumente usados em monitoramento de água utiliza luz dispersa ou sistema de medição de resistência elétrica para analisar partículas individuais.

Em geral, o contador de partículas opera segundo o princípio do bloqueio de luz. A amostra percorre um canal e passa por uma fenda cuja área é conhecida com precisão. Um raio de luz direcionado incide sobre o fluido em ângulo reto, transversal à direção do fluxo e passa através da fenda, onde é recebido por um detector fotoelétrico. Sempre que uma partícula atravessar em sentido transversal ao raio luminoso, uma porção de luz é bloqueada, produzindo uma redução específica na quantidade de luz que alcança o fotodetector. A amplitude resultante do pulso de voltagem é proporcional ao tamanho da partícula, o qual é registrado como o diâmetro de um círculo de área equivalente. A curva de calibração é fornecida pelo fabricante e indica o pulso elétrico respectivo ao diâmetro da partícula (BEARD II, 1977).

Várias pesquisas já foram feitas com o objetivo de relacionar os parâmetros turbidez e número de partículas. Em 1977, BEARD II realizou ensaios com água proveniente de duas estações de tratamento de água do Metropolitan Water Dist., California, e mediu a turbidez e o número de partículas em vários pontos de amostragem situados ao longo das unidades de tratamento. Segundo o autor, a tendência dos resultados produzida pelas duas técnicas de medição são similares, não havendo, entretanto boa correlação entre os valores encontrados. Ele atribui esta falta de correlação ao fato de que “resultados obtidos pela técnica de dispersão de luz são dependentes de fatores como forma da partícula, índice de refração e comprimento de onda da fonte de luz utilizada(...). A contagem de partículas não é relativamente afetada por estas mesmas variáveis.”

Alguns pesquisadores questionam a turbidez como parâmetro medidor da eficiência de unidades de tratamento, alegando que medidas como tamanho e distribuição de tamanho seriam mais adequadas. LAWLER et al (1984) ao analisar a eficiência de unidades de floculação, considera inadequada a análise da turbidez após a sedimentação de flocos, visto que fatores relativos à sedimentação de partículas já tiveram interferência no processo.

Segundo DI BERNARDO (1993) o tamanho e a distribuição de tamanho das partículas podem influir significativamente na escolha da tecnologia de tratamento, na eficiência da coagulação química, etc. O autor também comenta que, para um mesmo valor de turbidez, pode-se ter distribuições diferentes de tamanhos de partículas, ou para a mesma distribuição de tamanho de partículas pode-se ter valores diferentes de turbidez, não sendo recomendável a comparação de águas por meio destes parâmetros.

O contador de partículas tem alcançado grande aceitação por parte de entidades sanitárias dos Estados Unidos da América, pois foi detectado que água tratada com turbidez menor que 1,0uT poderia apresentar alguns organismos como Giardia e Cryptosporidium, que são muito resistentes à desinfecção. Em pesquisa realizada por LECHEVALLIER et al (1992), foram estudadas relações entre número de partículas, Giardia, Cryptosporidium e turbidez, com amostras água bruta, água decantada e o efluente final de três estações. Os autores obtiveram boa correlação entre a remoção de Giardia e Cryptosporidium e o número de partículas remanescentes e também entre a remoção de Giardia e Cryptosporidium e valores de turbidez remanescente, mas destacaram, entretanto, que os turbidímetros não são tão sensíveis para detectar pequenas mudanças na eficiência da filtração como os contadores de partículas.

Trabalho 2

Trabalho 2

4. MATERIAIS E MÉTODOS

4.1. Introdução

O presente trabalho foi realizado no Laboratório de Saneamento da Escola de Engenharia de São Carlos - Universidade de São Paulo, constituindo-se de vários ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos visando otimizar os parâmetros de mistura rápida e floculação de uma água de estudo preparada artificialmente para então ser realizado o ensaio cujos resultados foram utilizados no cálculo dos coeficientes de agregação e ruptura (K_A e K_B), objetivo principal desta pesquisa.

A seguir são descritos os equipamentos, materiais e os procedimentos utilizados na execução dos ensaios deste trabalho.

4.2. Equipamentos

Durante a preparação da água de estudo foram medidos os seguintes parâmetros: pH, turbidez, cor aparente, cor verdadeira, temperatura, condutividade elétrica, dureza e número de partículas. Na fase de execução dos ensaios os parâmetros medidos foram pH, turbidez, cor aparente e número de partículas.

Os equipamentos utilizados foram os seguintes:

- pHmetro modelo 420A, marca ORION;
- Turbidímetro modelo 2100N, marca HACH;
- Espectrofotômetro de leitura direta, modelo DR 4000, marca HACH;
- Centrífuga de bancada, modelo 215, marca FANEM;
- Condutivímetro modelo DS-15, marca HORIBA;

- Equipamento para contagem de partículas composto de um contador de partículas modelo 8000A, um sensor Microcount - 05 e um amostrador modelo 3000A, marca HIAC/ROYCO;
- Equipamento de agitação, floculação e sedimentação ('Jar-Test'), com rotação variável entre 10 e 600rpm marca NOVA ÉTICA;
- Balança eletrônica marca METTLER;
- Cronômetro;
- Termômetro.

Alguns equipamentos possuem certas limitações e cuidados especiais a serem tomados, descritos nas considerações abaixo:

- a) a maioria dos fabricantes recomenda que os aparelhos sejam usados 30 minutos após terem sido ligados;
- b) atenção especial deve ser tomada no manuseio das cubetas do turbidímetro e do espectrofotômetro de leitura direta para evitar que impurezas ou ainda impressões digitais interfiram no resultado da leitura das amostras;
- c) o sensor Microcount - 05 utilizado no contador de partículas é recomendado para concentrações da ordem de 7000 partículas/mL de amostra. Para amostras com maior concentração recomenda-se a diluição com água destilada e filtrada visando a obtenção de resultados mais precisos;
- d) o equipamento para contagem de partículas é muito sensível, devendo-se tomar o máximo de precauções e cuidados quanto à sua limpeza e manutenção. Os frascos que recebem as amostras para posterior medição neste equipamento devem ser bem limpos para evitar possíveis interferências de partículas de poeira no resultado final.

4.3. Materiais

Os materiais utilizados constituem, dentre outros, os coagulantes, acidulante, alcalinizante e a argila adicionada à água para conferir turbidez à água de estudo, os quais são:

- Sulfato de Alumínio PA - $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3 \cdot 14 \text{ a } 18 \text{ H}_2\text{O}$, da marca Synth;
- Cloreto Férrico PA - $\text{FeCl}_3 \cdot 6 \text{ H}_2\text{O}$, da marca Synth;
- Ácido Clorídrico - HCl a 0,1N;
- Hidróxido de Sódio - NaOH a 0,1N;
- Caulinita 'Kaolin - K5' - da Fisher Cientific Company (EUA);
- Reservatórios de PVC com capacidade de 500 litros para armazenamento da água de estudo;
- Vassoura para agitar a água de estudo;
- Ebulidor elétrico;
- Vidrarias de laboratório.

As soluções de Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico foram preparadas a cada 2 ou 3 dias, com água destilada, na concentração de 5mg/mL.

4.4. Procedimentos

O trabalho foi realizado com dois tipos de coagulante, configurando duas etapas: na primeira, o coagulante utilizado foi o Sulfato de Alumínio e na segunda o Cloreto Férrico. Cada etapa constituiu-se de cinco fases com procedimentos distintos:

- a) Preparo da água de estudo;
- b) Confecção do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez;
- c) Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida;
- d) Otimização dos Parâmetros de Flocculação;
- e) Ensaio para Contagem de Partículas.

As fases b), c) e d) foram executadas seguindo a metodologia proposta por MENDES (1989).

4.4.1. Preparo da Água de Estudo

Foram coletados 1000L de água em condições naturais (sem adição de produtos químicos) do poço artesiano existente na Escola de Engenharia de São

Carlos, os quais foram acondicionados em dois reservatórios de PVC, com capacidade de 500L cada.

Para a preparação da suspensão-mãe de caulinita foram colocados 22L da água coletada no poço em um recipiente, onde adicionou-se 220g da Caulinita K5 (em pó). Esta suspensão foi agitada por duas horas e em seguida deixada em repouso por 15 horas. O sobrenadante foi então coletado e armazenado em recipientes adequados.

Com o objetivo de conferir à água de estudo valores de turbidez da ordem de 25uT, foram adicionados aproximadamente 15L da suspensão-mãe de caulinita aos 1000L de água do poço, resultando as águas de estudo cujas características apresentadas na Tabela 4.1 foram observadas diariamente (ou semanalmente) durante o trabalho experimental.

Tabela 4.1 - Características da água de estudo.

Parâmetros	Água de estudo para Sulfato de Alumínio	Água de estudo para Cloreto Férrico
pH	7,5 ± 0,2	7,7 ± 0,2
Turbidez (uT)	25 ± 1	27 ± 1
Cor Aparente (uC)	140-160	200-220
Cor Verdadeira (uC)	5-15	15-25
Alcalinidade (mg/L de CaCO ₃)	33 ± 1	23 ± 1
Condutividade (µS/cm)	46 ± 0,5	46 ± 0,5
Dureza (mg/L de CaCO ₃)	16 ± 1	13 ± 1

Importante trabalho

Os parâmetros pH, turbidez, cor aparente e cor verdadeira foram medidos diariamente. Alcalinidade, condutividade e dureza foram medidos semanalmente. Procurou-se manter a temperatura da água durante os ensaios em 25 ± 1°C, sendo usado, quando necessário, ebulidor para aquecimento ou garrafas plásticas com água congelada para o resfriamento da água de estudo.

4.4.2. Confeção do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez

Os ensaios para a construção do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez e Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida e Floculação foram

realizados no equipamento de reatores estáticos ('Jar-Test'), composto de 6 recipientes construídos em acrílico transparente com capacidade de 2,0L cada, quadrados em planta, com lado de 115mm e altura útil de 151mm. O ponto de coleta situava-se a 70mm abaixo do nível de água e este equipamento era provido de um dispositivo que possibilitava a coleta do sobrenadante dos 6 frascos simultaneamente. A rotação era mostrada em um painel digital e a relação entre esta e o Gradiente de Velocidade Médio G_m foi observada segundo a curva obtida experimentalmente por MENDES (1989) para o equipamento de agitação descrito.



Figura 4.1 - Ponto de coleta de amostra situado a 70mm abaixo do nível d'água.



Figura 4.2 - Fotografia do equipamento de coagulação, floculação e sedimentação.



Figura 4.3 - Fotografia do equipamento de coagulação, floculação e sedimentação mostrando especificamente os dispositivos de adição de coagulante e coleta de amostra simultâneas.

Trabalho 2

O mecanismo de coagulação para este estudo foi o da varredura. Durante a realização dos ensaios para a elaboração do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez, foram adotados os seguintes parâmetros: tempo de mistura rápida (T_{mr}) = 15s, gradiente de velocidade médio (G_{mr}) = $1100s^{-1}$, tempo de floculação (T_f) = 20min, gradiente de velocidade médio na floculação (G_f) = $25s^{-1}$ e velocidade de sedimentação (V_s) = 2,5cm/min.

Em cada ensaio foram variadas as dosagens de coagulante e acidulante (HCl) ou alcalinizante (NaOH) visando obter vários pares de valores 'pH de coagulação X dosagem de coagulante', seguindo a seqüência descrita abaixo:

- a) Homogeneização da água de estudo contida nos dois reservatórios de PVC;
- b) Enchimento de um recipiente com capacidade de 25L com água proveniente dos dois reservatórios em quantidades aproximadamente iguais de cada um;
- c) Medição da temperatura da água de estudo e, quando necessário, ajuste da mesma com auxílio de ebulidor ou garrafas de água congelada para obter um valor entre 24 e 26°C;
- d) Medição do pH, turbidez e cor aparente da água de estudo;
- e) Enchimento dos 6 frascos do equipamento de agitação de forma aleatória visando garantir a homogeneidade da água de estudo em todos os recipientes;
- f) Acionamento dos agitadores e ajuste da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na mistura rápida;
- g) Adição dos volumes de HCl ou NaOH, com auxílio de pipetas, no caso de haver necessidade de alteração no pH original da água de estudo;
- h) Colocação da dosagem pré-determinada de coagulante nos frascos apropriados para este fim situados no suporte localizado no próprio equipamento de agitação;
- i) Acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida nos seis reatores;
- j) Após o tempo de mistura rápida, redução da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na floculação;

- k) Decorrido o tempo de floculação, paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores;
- l) Aproximadamente 15 segundos antes do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada, realização de descarte por 5 segundos;
- m) Coleta das amostras em frascos apropriados durante 10 segundos antes e 10 segundos depois do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada;
- n) Medição de pH, turbidez e cor aparente das amostras coletadas.

Os resultados obtidos foram plotados constituindo o Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez. Por meio de interpolação, foram construídas curvas de mesma turbidez remanescente, possibilitando a escolha do ponto que forneceu a dosagem de coagulante e o pH de coagulação para o qual se obteve a menor turbidez remanescente.

4.4.3. Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida

Com o par de valores de 'pH de coagulação X dosagem de coagulante' escolhido na etapa anterior, foram fixados os parâmetros da floculação em $T_f = 20\text{min}$ e $G_f = 25\text{s}^{-1}$. Como a velocidade de sedimentação é de grande importância no desenvolvimento deste estudo, julgou-se conveniente, a partir desta fase dos ensaios, a realização da coleta de amostras após o final da floculação em três velocidades de sedimentação distintas: 5,0; 2,5 e 0,5cm/min. Os parâmetros da mistura rápida foram de $T_{mr} = 5, 10, 15, 20, 30$ e 45s e $G_{mr} = 200, 400, 600, 800, 1000, 1200$ e 1400s^{-1} .

O procedimento dos ensaios desta fase foi:

- a) Homogeneização da água de estudo contida nos dois reservatórios de PVC;
- b) Enchimento de um recipiente com capacidade de 25L com água proveniente dos dois reservatórios em quantidades aproximadamente iguais de cada um;
- c) Medição da temperatura da água de estudo e, quando necessário, ajuste da mesma com auxílio de ebulidor ou garrafas de água congelada para obter um valor entre 24 e 26°C;

Trabalho 2

- d) Medição do pH, turbidez e cor aparente da água de estudo;
- e) Enchimento dos 6 frascos do equipamento de agitação de forma aleatória visando garantir a homogeneidade da água de estudo em todos os recipientes;
- f) Acionamento dos agitadores e ajuste da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na mistura rápida;
- g) Colocação do volume de solução correspondente à dosagem de coagulante (fixada na etapa anterior) em béquers. Os frascos do suporte não foram utilizados nessa etapa pois, como o tempo de mistura rápida era diferente de um frasco para outro, a solução de coagulante foi adicionada em momentos diferentes para que o início da floculação fosse simultâneo em todos os reatores;
- h) Acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida no reator de maior tempo de mistura rápida;
- i) A cada tempo pré-determinado, adição do coagulante no respectivo reator;
- j) Após o tempo de mistura rápida, redução da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na floculação;
- k) Decorrido o tempo de floculação, paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores;
- l) Aproximadamente 15 segundos antes do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada, realização de descarte por 5 segundos;
- m) Coleta das amostras em frascos apropriados durante 10 segundos antes e 10 segundos depois do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada;
- n) Repetição dos itens l) e m) para os tempos respectivos às outras duas velocidades de sedimentação;
- o) Medição de pH, turbidez e cor aparente das amostras coletadas.

Com os resultados obtidos foram traçadas curvas de Turbidez Remanescente X Tempo de Mistura Rápida para cada gradiente de velocidade médio na mistura rápida e para cada velocidade de sedimentação. Após análise dos dados foi escolhida a combinação de Tmr e Gmr que forneceu a menor turbidez remanescente.

4.4.4. Otimização dos Parâmetros de Floculação

Com o par de valores fixado em 4.4.2. e os parâmetros de mistura rápida escolhidos em 4.4.3., seguiu-se a execução dos ensaios para otimização da floculação, para valores de Tf de 2,5, 5,0, 10, 15, 20, 25, 30, 45, 60, 75 e 90min e Gf de 10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100s⁻¹. Conforme a realização dos ensaios e à medida que os resultados eram analisados, julgou-se necessário estudar os valores de Tf de 7,5, 12,5 e 17,5min e de Gf de 15, 25, 35 e 45s⁻¹. Na segunda etapa do trabalho experimental, na qual foi utilizado o cloreto férrico como coagulante, ao analisar os dados, dispensou-se a execução dos ensaios para valores de Gf maiores que 70 s⁻¹ por causa dos resultados obtidos com os demais valores de Gf.

Nesta etapa também foram coletadas amostras para três velocidades de sedimentação distintas, de 5,0, 2,5 e 0,5cm/min.

O procedimento para execução dos ensaios é descrito a seguir:

- a) Homogeneização da água de estudo contida nos dois reservatórios de PVC;
- b) Enchimento de um recipiente com capacidade de 25L com água proveniente dos dois reservatórios em quantidades aproximadamente iguais de cada um;
- c) Medição da temperatura da água de estudo e, quando necessário, ajuste com auxílio de ebulidor ou garrafas de água congelada para obter um valor entre 24 e 26°C;
- d) Medição do pH, turbidez e cor aparente da água de estudo;
- e) Enchimento dos 6 frascos do equipamento de agitação de forma aleatória visando garantir a homogeneidade da água de estudo em todos os recipientes;
- f) Acionamento dos agitadores e ajuste da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na mistura rápida, fixado em 4.4.3.;
- g) Colocação do volume de solução correspondente à dosagem de coagulante determinada na etapa 4.4.2. nos fracos apropriados para este fim situados no suporte localizado no próprio equipamento de agitação;

- h) Acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida nos seis reatores;
- i) Após o tempo de mistura rápida, redução da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na floculação;
- j) Paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores de cada reator separadamente, conforme decorrido o tempo de floculação de cada um;
- k) Aproximadamente 15 segundos antes do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada, realização de descarte por 5 segundos;
- l) Coleta das amostras em frascos apropriados durante 10 segundos antes e 10 segundos depois do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada;
- m) Repetição dos itens k) e l) para os tempos respectivos às outras duas velocidades de sedimentação;
- n) Medição de pH, turbidez e cor aparente das amostras coletadas.

Trabalho } Com os resultados obtidos foram traçadas curvas Turbidez Remanescente (N/No) X Tempo de floculação (Tf) para cada velocidade de sedimentação. Após análise dos dados foi escolhida a combinação de Tf e Gf que forneceu a menor turbidez remanescente.

4.4.5. Ensaio para Contagem de Partículas

Trabalho } Neste ensaio foram fixados os parâmetros otimizados nos itens 4.4.2., 4.4.3. e 4.4.4. e efetuadas coletas de amostras para sete valores de velocidade de sedimentação: 7,0; 3,5; 2,0; 1,0; 0,25; 0,10 e 0,05cm/min.

Cuidados especiais foram exigidos no preparo deste ensaio, pois além das medidas de turbidez e pH que usualmente eram feitas, foi realizada a contagem de partículas. Devido à necessidade de volume um pouco maior de água para a realização deste último ensaio, foi necessária a utilização dos seis reatores do equipamento de agitação para as mesmas dosagens de produtos químicos, ou seja, a água de estudo foi submetida a condições idênticas de coagulação, floculação e sedimentação nos seis reatores.

Segundo orientações do fabricante constantes no catálogo do equipamento de contagem de partículas, quando são obtidos valores acima de 7000 partículas/mL em um mesmo canal é recomendável a diluição da amostra com água isenta de impurezas. Tal artifício teve de ser utilizado quando foram ensaiadas amostras da água de estudo, sendo utilizada água destilada e filtrada. Foi feita a contagem de partículas com amostras da água de diluição e os valores encontrados foram subtraídos dos valores obtidos na contagem de partículas da água de estudo.

Os frascos de coleta foram bem lavados e enxaguados com água destilada e filtrada em membrana com poros de diâmetro nominal de $0,45\mu\text{m}$ antes de serem utilizados. Após a coleta, o primeiro ensaio a ser feito foi a contagem de partículas para evitar qualquer alteração nas características das amostras. Para tanto, cada amostra foi agitada energicamente para que os flocos remanescentes fossem rompidos, dando origem novamente a partículas primárias para que estas fossem detectadas pelo sensor.

Inicialmente fez-se a contagem de partículas primárias da amostra coletada em cada reator em separado, abrangendo somente a faixa de canais entre $1,0$ e $8,0\mu\text{m}$. Não havendo diferença significativa entre os resultados, os sobrenadantes dos seis reatores eram misturados para então a contagem de partículas primárias ser feita abrangendo a faixa de tamanho entre $1,0\mu\text{m}$ e o valor para o qual o número de partículas resultasse próximo de zero. Os valores de turbidez e pH foram lidos somente com o volume resultante da mistura dos sobrenadantes dos seis reatores. O parâmetro cor aparente não foi medido nesta fase por ser pequeno o volume de amostra restante e a temperatura foi medida a cada coleta de amostras.

A seguir é descrito o procedimento para a execução do ensaio:

- a) Homogeneização da água de estudo;
- b) Enchimento de um recipiente com capacidade de aproximadamente 25L com a água de estudo;
- c) Medição da temperatura da água de estudo e, quando necessário, ajuste da mesma com auxílio de ebulidor ou garrafas de água congelada para obter um valor entre 24 e 26°C ;
- d) Medição do pH, turbidez e cor aparente da água de estudo;

- e) Enchimento dos 6 frascos do equipamento de agitação de forma aleatória visando garantir a homogeneidade da água de estudo em todos os recipientes;
- f) Acionamento dos agitadores e ajuste da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na mistura rápida, fixado em 4.4.3.;
- g) Colocação do volume de solução correspondente à dosagem de coagulante determinada em 4.4.2. nos frascos apropriados para este fim situados no suporte localizado no próprio equipamento de agitação;
- h) Acionamento do cronômetro simultaneamente à adição do coagulante à água contida nos seis reatores;
- i) Após o tempo de mistura rápida, redução da rotação para o valor correspondente ao gradiente de velocidade médio na floculação determinado em 4.4.4.;
- j) Decorrido o tempo de floculação paralisação e suspensão das hastes e paletas dos agitadores;
- k) Aproximadamente 15 segundos antes do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada, realização de descarte por 5 segundos;
- l) Coleta das amostras em frascos apropriados durante 10 segundos antes e 10 segundos depois do tempo de coleta correspondente à velocidade de sedimentação fixada;
- m) Medição da temperatura da água do reator;
- n) Repetição dos itens k), l) e m) para os tempos respectivos às outras seis velocidades de sedimentação;
- o) Realização da contagem de partículas na faixa de 1,0 a 8,0 μ m com cada amostra em separado agitando-as de forma enérgica para romper os flocos remanescentes;
- p) Mistura e homogeneização das amostras coletadas nos seis reatores para as mesmas velocidades de sedimentação e realização da contagem de partículas na faixa de 1,0 μ m até o valor em que o número de partículas resultasse próximo de zero;

q) Medição de pH e turbidez das amostras de cada velocidade de sedimentação.

Com os valores de turbidez remanescente e número de partículas primárias no sobrenadante foram calculados os coeficientes de agregação e ruptura, K_A e K_B , segundo o Método da Primeira Derivada Parcial em relação a G_f - MPDPG.

Para aplicar o Método da equação da Agregação e Ruptura - MEAR- foram utilizados os resultados de turbidez remanescente dos ensaios de Otimização dos Parâmetros de Floculação, segundo procedimento descrito em 3.5..

laboratório 2

5. RESULTADOS E DISCUSSÃO

5.1. Considerações Gerais

Inicialmente torna-se importante ressaltar que as águas de estudo foram preparadas separadamente para o estudo com cada coagulante, não sendo possível, portanto, a comparação dos resultados obtidos com Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico por tratar-se de águas diferentes.

5.2. Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez

Conforme descrito anteriormente, durante a execução dos ensaios para a obtenção da turbidez remanescente para os pontos 'pH de coagulação X dosagem de coagulante' e posterior construção do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez foram utilizados HCl (solução a 0,1 N) como acidulante e NaOH (solução a 0,1 N) como alcalinizante para variação dos valores de pH.

No Anexo A, Figura A-1, é mostrado o Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez quando o Sulfato de Alumínio foi utilizado como coagulante. Observa-se que foi abrangida uma faixa de valores de pH com limites inferior e superior de aproximadamente 5,10 e 8,80, respectivamente, tendo a dosagem de coagulante variado de 10 a 80mg/L. A região onde os valores de turbidez remanescente foram menores, ou seja, em torno de 20 a 30% da turbidez inicial, situou-se na faixa de pH entre 6,00 e 7,00 e dosagem de coagulante entre 10 e 40mg/L.

O objetivo da construção do Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez é permitir ao operador ou projetista a escolha do par de valores 'dosagem de coagulante X pH de coagulação' que forneça bom desempenho ao tratamento da

então não como
pretendemos fazer
essa comparação?

água em estudo com custos racionais. Nesta análise de custos estão envolvidos diversos fatores, destacando-se o consumo de coagulante e necessidade ou não de uso de acidulante ou alcalinizante. Visando a simulação desta realidade, foi escolhido o ponto dosagem de coagulante = 20mg/L e pH de coagulação = 6,32 para o qual obteve-se turbidez remanescente igual a 20% da inicial. Além da dosagem de coagulante ser relativamente pequena, não houve necessidade da adição de acidulante ou alcalinizante.

No Anexo B, Figura B-1, apresenta-se o Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez quando foi utilizado o Cloreto Férrico como coagulante. Conforme visto, a faixa de pH variou de aproximadamente 3,75 a 8,75 e a dosagem de coagulante entre 10 e 60mg/L. A região que concentrou os melhores resultados, com valores de turbidez remanescente da ordem de 2 a 5% da turbidez inicial situou-se entre valores de pH de coagulação de 5,80 a 6,60 e dosagem de Cloreto Férrico de 20 a 50mg/L. Seguindo os mesmos critérios da escolha do ponto quando o Sulfato de Alumínio foi empregado como coagulante, a dosagem de Cloreto Férrico escolhida foi de 25mg/L para o respectivo pH de coagulação de 6,30.

5.3. Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida

Conforme mencionado anteriormente, a partir desta fase julgou-se conveniente (coletar amostras do sobrenadante após os ensaios de coagulação e floculação para três valores de velocidade de sedimentação, as quais são: 5,0, 2,5 e 0,5cm/min.

Durante a execução destes ensaios os valores adotados para tempo de mistura rápida (T_{mr}) foram de 5, 10, 15, 20, 30 e 45s e para gradiente de velocidade médio na mistura rápida (G_{mr}) de 200, 400, 600, 800, 1000, 1200 e $1400s^{-1}$.

Os resultados dos ensaios quando empregado Sulfato de Alumínio como coagulante estão no Anexo C, Tabela C-1 e representados graficamente nas Figuras C-1, C-2 e C-3 para as diferentes velocidades de sedimentação. Os menores valores de turbidez remanescente para cada gradiente de velocidade médio e para cada velocidade de sedimentação foram reunidos na Tabela C-2, Anexo C, na qual pode-se observar que tanto para $V_s = 5,0$ cm/min como para $V_s = 2,5$ cm/min os melhores resultados, com turbidez remanescente de aproximadamente 22,5 e 5,44% da

turbidez inicial, respectivamente, foram encontrados para $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. Já para V_s de 0,5cm/min o melhor resultado - $T_{rem} = 0,49uT$ (cerca de 1,96% da Turbidez inicial) - foi para $G_{mr} = 1000s^{-1}$ e $T_{mr} = 20s$. Comparando-se este último valor com o encontrado para $V_s = 0,5cm/min$, $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$, de $T_{rem} = 0,88uT$ (3,52% da turbidez inicial) pode-se considerar que a diferença entre eles é de pouco significado visto que ambos os resultados são bons. Desta forma, os parâmetros de mistura rápida escolhidos após os ensaios realizados foram $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$.

Ao se utilizar o Cloreto Férrico como coagulante foram obtidos os resultados apresentados no Anexo D, Tabela D-1, os quais foram representados graficamente nas Figuras D-1, D-2 e D-3. Seguindo o mesmo procedimento descrito anteriormente, os melhores resultados para cada velocidade de sedimentação e para cada gradiente de velocidade médio estão mostrados na Tabela D-2. Nesta tabela é possível verificar que dentre os melhores resultados apresentados, não houve diferença representativa entre as velocidades de sedimentação de 2,5 e 0,5cm/min (como observado quando empregado o Sulfato de Alumínio), pois os valores de turbidez remanescente corresponderam a menos de 2% da turbidez inicial. Para a escolha dos parâmetros desta etapa foram pré-selecionados os melhores resultados para $V_s = 5,0cm/min$:

→ ✖ - $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s \Rightarrow T_{rem} = 2,27uT$;

✖ - $G_{mr} = 600s^{-1}$; $T_{mr} = 45s \Rightarrow T_{rem} = 2,22uT$;

A seguir fez-se a verificação da eficiência destes dois pares de valores para $V_s = 2,5cm/min$, para a qual obteve-se para o primeiro par mencionado acima o valor de $T_{rem} = 0,2uT$ e para o segundo par, $T_{rem} = 1,47uT$. Devido a essa diferença nos resultados foi escolhido $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$ como os parâmetros que otimizaram a mistura rápida quando empregado o Cloreto Férrico como coagulante.

5.4. Otimização dos Parâmetros de Floculação

Inicialmente para a otimização dos parâmetros de floculação foram pré-fixados os valores de tempo de floculação (T_f) em 2,5, 5, 10, 15, 20, 25, 30, 35, 40, 45, 60, 75 e 90min e valores de gradiente médio de velocidade na floculação (G_f) em

10, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90 e 100s⁻¹. Após execução destes ensaios e análise dos resultados, julgou-se necessário, conforme a situação, utilizar os valores de T_f de 7,5, 12,5, 17,5, 22,5 e 27,5min e de G_f de 15, 25, 35, 45 e 55s⁻¹.

Os resultados para a utilização do Sulfato de Alumínio como coagulante estão apresentados na Tabela E-1, Anexo E, e representados graficamente nas Figuras E-1 a E-18, no mesmo Anexo.

Durante a execução dos ensaios quando se ajustou o Gradiente de Velocidade Médio na floculação para 10 e 15s⁻¹, verificou-se que houve deposição dos flocos no fundo do reator antes mesmo que a agitação fosse paralisada após o tempo de floculação pré-determinado. Na prática equivale a dizer que, nestas condições, os flocos sedimentariam na unidade de floculação, o que não é desejável pois, para o objetivo do presente trabalho, os flocos formados durante a floculação deverão depositar durante a sedimentação. Por esta razão, estes dados foram desprezados durante a análise dos resultados.

A seguir, foi construída a Tabela E-2, Anexo E, na qual, para cada velocidade de sedimentação e para cada tempo de floculação, foi escolhido o valor de G_f para o qual resultou a menor turbidez remanescente, representada pela razão N/N_0 , em que N é o valor da turbidez remanescente e N_0 é o valor da turbidez inicial. Com estes dados foram construídas as curvas apresentadas nas Figuras E-19, E-20 e E-21, Anexo E, para possibilitar melhor compreensão dos dados e facilitar a escolha dos parâmetros. Na Figura E-19, para $V_s = 5,0\text{cm/min}$, nota-se que a relação N/N_0 diminui à medida que cresce o valor de T_f tendo seu menor valor correspondido ao tempo de floculação de 30min. A partir daí a turbidez remanescente aumenta com o aumento de T_f . Para $V_s = 2,5\text{cm/min}$, Figura E-20, a partir do tempo de floculação de 7,5min, há relativa proximidade nos resultados obtidos para a relação N/N_0 , sendo a turbidez remanescente menor para valores de T_f de aproximadamente 10 a 40min, começando a apresentar ligeiro crescimento a partir de 45min. Já para $V_s = 0,5\text{cm/min}$, Figura E-21, uma vez estabilizados os resultados em valores de turbidez remanescente próximos de 0,5% da turbidez inicial, estes tenderam a permanecer constantes até o T_f de 90min.

Com base nesta análise foram escolhidos os valores de $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$, visto que para tempos de floculação maiores os resultados foram semelhantes.

→ Os resultados dos ensaios nos quais foi usado o Cloreto Férrico como coagulante estão no Anexo F, Tabela F-1, e representados graficamente nas Figuras F-1 a F-18. Assim como narrado anteriormente os resultados para $G_f = 15s^{-1}$ também foram desprezados no momento da análise por causa do depósito de flocos no fundo do recipiente de agitação mesmo durante o tempo de floculação em que as paletas estavam acionadas.

Após análise, os resultados mais satisfatórios para cada Tempo de Floculação, Gradiente de Velocidade Médio e Velocidade de Sedimentação foram compilados na Tabela F-2, Anexo F e plotados nas curvas referentes às Figuras F-19, F-20 e F-21. Na curva em que os resultados encontrados para $V_s = 5,0cm/min$ foram plotados, Figura F-19, observou-se um decréscimo na relação N/N_0 até $T_f = 15min$, quando os resultados permaneceram aproximadamente constantes até $T_f = 27,5min$, com valores de turbidez remanescente de cerca de 15% dos valores de turbidez inicial. O resultado correspondente a $T_f = 30min$, possivelmente, foi afetado por algum erro durante a coleta das amostras, sendo por isso desprezado. A partir do tempo de floculação de 35min houve pequeno aumento na turbidez remanescente, permanecendo estável até $T_f = 90min$. Já nas curvas de $V_s = 2,5$ e $0,5cm/min$, Figuras F-20 e F-21, respectivamente, a partir do momento em que detectou-se a estabilização dos valores de N/N_0 , estes permaneceram constantes até o T_f de 90min, com valores de turbidez remanescente de 10 e 5% dos valores de turbidez inicial para as respectivas velocidades de sedimentação de 2,5 e 0,5cm/min.

Com base nos dados referentes aos resultados apresentados, foi escolhido o tempo de floculação de 20min. Como para as curvas de V_s de 2,5 e de 0,5cm/min o gradiente de velocidade médio na floculação correspondente a este tempo foi de $35s^{-1}$, este foi selecionado. Portanto, os parâmetros de floculação otimizados para o Cloreto Férrico foram: $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$.

5.5. Ensaio para Contagem de Partículas

Como descrito em 4.3.5. o Ensaio para Contagem de Partículas foi realizado com todos os parâmetros otimizados anteriormente e foram coletadas amostras do sobrenadante para 7 valores diferentes de velocidade de sedimentação, de 7,0, 3,5, 2,0, 1,0, 0,25, 0,10 e 0,05cm/min. Esta fase foi bastante delicada em sua execução por incluir a realização da contagem de partículas, ensaio que requer bastante cuidado no manuseio e manutenção do equipamento para obtenção de resultados confiáveis.

Os resultados deste ensaio estão divididos em dois Anexos. No Anexo G estão os resultados das medidas de pH e turbidez remanescente, tanto para o ensaio que utilizou Sulfato de Alumínio como para o ensaio em que foi empregado o Cloreto Férrico. No Anexo H estão os resultados da contagem de partículas também de ambos ensaios.

A temperatura não apresentou variação significativa durante a realização dos ensaios, sendo o valor inicial de 25°C e final de 28°C.

5.5.1. Medidas de pH e Turbidez Remanescente

Na Tabela G-1, Anexo G apresentam-se os resultados do ensaio para o qual foi empregado o coagulante Sulfato de Alumínio. Inicialmente foi feita a leitura dos valores de turbidez remanescente da amostra do sobrenadante de cada reator individualmente. Após a verificação de que não havia diferenças significativas entre eles, visto que todos os parâmetros do ensaio eram iguais, as amostras de mesma velocidade de sedimentação foram misturadas e lido o valor de turbidez. Na Figura G-1 é possível observar o decréscimo da turbidez em função do tempo de sedimentação até o tempo correspondente à $V_s = 0,25\text{cm/min}$, não havendo diferença nos resultados para a faixa de valores de V_s de 0,25 a 0,05cm/min.

Os resultados referentes ao ensaio com Cloreto Férrico estão na Tabela G-2, Anexo G, que também contém os valores de turbidez remanescente para cada reator individual e para a mistura dos sobrenadantes coletados em diferentes velocidades de sedimentação. O decréscimo de turbidez também pode ser visto na Figura G-2, Anexo G, na qual pôde-se observar o mesmo comportamento do caso anterior, ou seja, a partir do valor de $V_s = 0,25\text{cm/min}$ os resultados permaneceram estabilizados

Tabela H02

T2

até $V_s = 0,05\text{cm/min}$, que foi o menor valor de velocidade de sedimentação utilizado no ensaio.

5.5.2. Contagem de Partículas

Inicialmente foi feita a limpeza do equipamento seguindo os procedimentos recomendados pelo fabricante. Em seguida foram feitos os ajustes e calibrações necessários e foi estipulado que os resultados seriam sempre considerados como a média de duas corridas, no caso dos valores serem próximos, ou média de três corridas se, nas duas primeiras, os valores fossem discrepantes.

A seguir, passou-se à realização da contagem de partículas da água de estudo. Os resultados para o canal de tamanho médio de $1,0\mu\text{m}$ ficaram na faixa de 8000 a 9000partículas/mL, superando a concentração limite do sensor utilizado que é de 7000partículas/mL. Houve então a necessidade de ser feita a diluição da amostra com água destilada e filtrada em membrana de poros com diâmetro nominal de $0,45\mu\text{m}$. O número de partículas da água de diluição foi determinado e subtraído dos valores resultantes da contagem de partículas da água de estudo diluída. O tamanho dos canais foi sendo incrementado até que o número de partículas resultante fosse próximo de zero.

Durante a execução do ensaio foi estabelecido que, logo após a coleta do sobrenadante dos reatores, a primeira medida a ser realizada seria a determinação do número de partículas, para evitar qualquer alteração nos resultados.

Na Tabela H-1 e Figura H-1, Anexo H, são mostrados os números de partículas da água de estudo e das amostras coletadas para cada velocidade de sedimentação no ensaio em que foi adicionado Sulfato de Alumínio. Como era de se esperar, a água de estudo apresentou o maior número de partículas e, à medida que o tempo de sedimentação foi aumentando (correspondendo a menores valores de velocidade de sedimentação) os valores foram diminuindo até que, como ocorreu com os valores de turbidez, houve estabilização a partir da $V_s = 0,25\text{cm/min}$ para a faixa de canais de $1,0$ a $19,0\mu\text{m}$. Alguns valores encontrados não estavam dentro de esperado, como por exemplo a amostra correspondente à $V_s = 2,0\text{cm/min}$ apresentar número de partículas maior que o encontrado para $V_s = 3,5\text{cm/min}$ dentro da faixa

de canais de 1,0 a 4,0 μ m; entretanto, tal fato pode ser atribuído a imprecisões do equipamento.

Os resultados do ensaio em que se utilizou Cloreto Férrico estão mostrados na Tabela H-2 e Figura H-2, Anexo H, e de forma geral seguem o mesmo comportamento comentado quando foi usado o Sulfato de Alumínio. Fato inesperado foi o que pôde-se observar a partir do canal de diâmetro 19 μ m até o canal de 48 μ m, para os quais o número de partículas para $V_s = 7,0\text{cm/min}$ foi maior do que o da água de estudo. Convém ressaltar, neste caso, que apesar de todos os cuidados relativos à limpeza do sensor, há sempre que levar em consideração alguma imprecisão do equipamento.

5.6. Cálculo dos Coeficientes de Agregação e Ruptura (K_A e K_B)

A partir dos resultados obtidos durante todo o procedimento experimental deu-se início ao principal objetivo do trabalho, que foi a determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e de ruptura (K_B).

Como visto na revisão da literatura, foram propostas duas formas de se calcular estes coeficientes: a primeira, referente ao MPDPG e a segunda, referente ao MEAR.

5.6.1. Método da Primeira Derivada Parcial da equação da floculação desenvolvida para reatores estáticos, em relação ao parâmetro Gf - MPDPG

Primeiramente são apresentados os resultados relativos ao MPDPG, no qual são utilizadas as eq.(13) e (17).

Os resultados estão expressos em planilha de cálculo, Tabelas 5.2., 5.3., 5.4. e 5.5. e foram determinados para os diferentes valores de velocidade de sedimentação, tanto em relação à turbidez remanescente como em relação ao número de partículas presentes no sobrenadante, sendo que este foi considerado como o somatório do número de partículas de todos os canais medidos para a mesma velocidade de sedimentação.

Tabela 5.1. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , segundo o MPDPG, com os valores de turbidez remanescente obtidos no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Sulfato de Alumínio. Dosagem = 20mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 20\text{s}^{-1}$.

	V_s (cm/min)	Turbidez remanescente (uT)	K_A	K_B (s)	No/N - eq.(13) $p/Gf = 20\text{s}^{-1}$ e $T_f = 20\text{min}$
$No = 25,3\text{uT}$	7,0	17,0	3,27E-5	6,49E-7	1,4880
	3,5	5,2	1,16E-4	8,96E-7	4,8373
	2,0	2,1	1,69E-4	5,64E-7	12,0616
	1,0	0,7	2,26E-4	2,64E-7	36,1412
	0,25	0,2	2,88E-4	9,93E-8	126,8274
	0,10	0,2	2,88E-4	9,93E-8	126,8274
	0,05	0,2	2,88E-4	9,93E-8	126,8274

Tabela 5.2. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação n_0/n , segundo o MPDPG, com o número de partículas obtido no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Sulfato de Alumínio. Dosagem = 20mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 20\text{s}^{-1}$.

	V_s (cm/min)	Número de partículas/mL	K_A	K_B (s)	n_0/n - eq.(13) $p/Gf = 20\text{s}^{-1}$ e $T_f = 20\text{min}$
$n_0 = 28795$ partículas/mL abrangendo a faixa de 1,0 μm até 72 μm	7,0	13209	6,22E-5	9,40E-7	2,1783
	3,5	4637	1,31E-4	8,11E-7	6,1885
	2,0	4429	1,34E-4	7,94E-7	6,4990
	1,0	3462	1,48E-4	7,00E-7	8,2953
	0,25	1130	2,08E-4	3,41E-7	25,4079
	0,10	908	2,20E-4	2,91E-7	31,8347
	0,05	1003	2,15E-4	3,13E-7	28,8261

Tabela 5.3. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , segundo o MPDPG, com os valores de turbidez remanescente obtidos no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Cloreto Férrico. Dosagem = 25mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 35\text{s}^{-1}$.

	V_s (cm/min)	Turbidez remanescente (uT)	K_A	K_B (s)	No/N - eq.(13) $p/Gf = 35\text{s}^{-1}$ e $T_f = 20\text{min}$
$No = 27,6\text{uT}$	7,0	16,0	2,54E-5	2,60E-7	1,7268
	3,5	5,9	6,52E-5	2,97E-7	4,6774
	2,0	1,5	1,09E-4	1,40E-7	18,2590
	1,0	1,4	1,12E-4	1,33E-7	19,9025
	0,25	0,3	1,56E-4	4,19E-8	92,4686
	0,10	0,3	1,56E-4	4,19E-8	92,4686
	0,05	0,3	1,56E-4	4,19E-8	92,4686



↑
obter ↑

Tabela 5.4. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação n_0/n , segundo o MPDPG, com o número de partículas obtido no Ensaio para Contagem de Partículas com o emprego do Cloreto Férrico. Dosagem = 25mg/L, $T_f = 20\text{min}$ e $Gf_{\text{ótimo}} = 35\text{s}^{-1}$.

	V_s (cm/min)	Número de partículas/mL	K_A	K_B (s)	n_0/n - eq.(13) p/ $Gf = 35\text{s}^{-1}$ e $T_f = 20\text{min}$
$n_0 = 27870$ partículas/mL abrangendo a faixa de 1,0 μm até 60 μm	7,0	8675	5,12E-5	3,23E-7	3,2100
	3,5	7652	5,60E-5	3,17E-7	3,6437
	2,0	2886	8,95E-5	2,10E-7	9,6604
	1,0	4174	7,75E-5	2,56E-7	6,6785
	0,25	1418	1,11E-4	1,34E-7	19,4929
	0,10	1305	1,14E-4	1,26E-7	21,4174
	0,05	1581	1,08E-4	1,44E-7	17,5800

Analisando os dados das Tabelas 5.1 a 5.4, pode-se observar que à medida em que foi maior o tempo de sedimentação (menores valores de V_s) os valores de K_A aumentaram e os valores de K_B diminuíram, havendo, aproximadamente, estabilização de ambos para $V_s = 0,25; 0,10$ e $0,05\text{cm/min}$, sugerindo que realmente a velocidade de sedimentação influi na determinação destes coeficientes e que possivelmente, na hora de apresentar os resultados calculados, haja necessidade de especificar quais valores de V_s foram usados no ensaio que forneceu os demais parâmetros para os cálculos.

Assim sendo, parece não ser recomendável afirmar que existe um único valor de K_A e K_B para cada água, a menos que se adote um valor relativamente baixo de V_s , o que poderá não ser compatível com o que ocorre nos decantadores das estações de tratamento de água.

Comparando-se os valores de K_A e K_B resultantes das Tabelas 5.1. e 5.2., em que foram utilizados nos cálculos os valores de turbidez remanescente e número de partículas primárias, respectivamente, observa-se que estes apresentaram diferença significativa para $V_s = 7,0$ e $1,0\text{cm/min}$. Para os demais valores de V_s , os resultados de K_A foram mais próximos que os de K_B .

Repetindo a mesma análise entre os dados das Tabelas 5.3. e 5.4. (resultados provenientes do ensaio com Cloreto Férrico), as diferenças foram mais significativas, excetuando-se os valores encontrados para $V_s = 3,5\text{cm/min}$. Neste caso houve também diferença nos valores de K_B para baixos valores de V_s quando comparado o

$$\frac{K_A}{N} = \frac{27}{92} = 92$$

$$x = \frac{27}{92}$$

cálculo feito com os valores de turbidez remanescente com o cálculo obtido com o número de partículas.

Para avaliar as diferenças existentes entre os valores de K_A e K_B obtidos com os resultados de turbidez remanescente e número de partículas, a eficiência da floculação foi estimada aplicando-se a eq.(13) para valores de Gf de $20s^{-1}$ e Tf de 20min, para os valores de K_A e K_B obtidos com os resultados dos ensaios com Sulfato de Alumínio, e Gf de $35s^{-1}$ e Tf de 20min para os ensaios com Cloreto Férrico, conforme visto nas Tabelas 5.1 a 5.4.

Observa-se que os valores estimados de No/N são próximos, quando determinados para as velocidades de sedimentação de 7,0 e 3,5cm/min, a partir dos resultados de turbidez remanescente e número de partículas primárias. No entanto, à medida que V_s diminui, a relação No/N apresenta valores muito diferentes, sendo necessário, portanto, especificar qual o parâmetro utilizado na determinação dos coeficientes K_A e K_B , quando estes forem utilizados na previsão do comportamento de unidades de floculação.

5.6.2. Método da Equação de Agregação e Ruptura - MEAR

A seguir são mostrados os resultados obtidos segundo o MEAR, no qual, ao invés de utilizar os resultados do Ensaio para Contagem de Partículas, foram utilizados os resultados dos ensaios de Otimização dos Parâmetros de Floculação, visto que este método aproxima-se da metodologia proposta por BRATBY (1981) para determinação dos coeficientes de agregação e ruptura.

Inicialmente, segundo procedimento proposto por BRATBY (1981), o primeiro passo para o início do cálculo é obter o valor da razão K_B/K_A dos dados referentes à Figura 3.2 em que se tem várias curvas, uma para cada gradiente de velocidade médio na floculação, e em cada uma delas representa-se no eixo das abcissas o período de floculação e no eixo das ordenadas os valores de No/N . Ainda segundo o autor, os dados são retirados da porção horizontal da curva que melhor ajusta os dados experimentais.

Os resultados obtidos durante este trabalho estão representados no Anexo I, Figuras I-1 a I-27, para os ensaios com Sulfato de Alumínio e no Anexo J, Figuras J-1 a J-15 para os resultados dos ensaios em que se utilizou Cloreto Férrico. Em todas

as figuras pode-se observar que o comportamento das curvas de eficiência da floculação não foi semelhante ao obtido por BRATBY (1981), sendo difícil encontrar a porção horizontal mencionada por ele. Ressalta-se que PÁDUA (1994) ao otimizar os parâmetros de floculação com ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, utilizando reatores estáticos idênticos aos usados no presente trabalho, também não obteve o comportamento previsto pelo autor da metodologia em questão, conforme visto nas Figuras 3.3 e 3.4.

Mesmo assim, foi dada seqüência ao método proposto pelo referido autor. No entanto, a relação No/N foi obtida, para cada valor de Gf e Vs , a partir do resultado que forneceu maior eficiência, ou seja, maior valor de No/N , para o menor tempo de floculação.

Tal fato pode ser explicado matematicamente analisando o desenvolvimento do método proposto:

A eq.(14), utilizada no primeiro passo da metodologia proposta por BRATBY (1981) é resultante da eq.(12) igualada a zero, ou seja, supõe-se que não há mais variação do número de partículas primárias em relação ao tempo de floculação T_f . Matematicamente tal fato equivale a dizer que a eq.(14) fornece a curva tangente ao ponto de máximo da curva que descreve o desempenho da floculação, representada pela eq.(13). Portanto, na ausência da assintoticidade mencionada pelo autor, torna-se razoável obter a relação No/N a partir do ponto de máximo da curva No/N x Tempo de floculação, para o menor tempo de floculação.

A seguir, nas Tabelas 5.5 a 5.10, serão mostrados os resultados dos cálculos de K_A e K_B , os quais foram obtidos com os resultados dos ensaios de Otimização dos Parâmetros de Floculação, tanto para o Sulfato de Alumínio como para o Cloreto Férrico, segundo o MEAR.

50' K_A / K_B com
Turb. dez
segundo pag 23
e. pag 52.
não
considra
contagem de
partículas.

Fazer $t_{0.5}$ / $t_{0.1}$, b

→

||

→

Tabela 5.5. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L. $V_s = 5,0$ cm/min.

$Gf (s^{-1})$	K_A	K_B (s)	No/N - eq.(13) p/ Gf = $20s^{-1}$ e $Tf = 20min$
20	6,59E-05	5,80E-07	2,90
30	4,39E-05	4,43E-07	2,08
40	5,26E-05	7,78E-07	2,02
50	3,64E-05	5,24E-07	1,71
60	2,47E-05	3,26E-07	1,49
70	2,36E-05	2,66E-07	1,50
80	2,18E-05	2,20E-07	1,48
90	4,53E-05	4,13E-07	2,18
100	1,53E-05	1,32E-07	1,34

Tabela 5.6. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L. $V_s = 2,5$ cm/min.

$Gf (s^{-1})$	K_A	K_B (s)	No/N - eq.(13) p/ Gf = $20s^{-1}$ e $Tf = 20min$
20	1,16E-04	4,64E-08	14,46
30	7,27E-05	3,28E-07	4,02
40	4,55E-05	1,76E-07	2,58
50	3,87E-05	2,34E-07	2,14
60	3,41E-05	2,48E-07	1,91
70	2,41E-05	1,63E-07	1,61
80	3,78E-05	2,78E-07	2,04
90	2,58E-05	1,67E-07	1,67
100	2,45E-05	1,66E-07	1,62

Tabela 5.7. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante = Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L. $V_s = 0,5\text{cm/min}$.

$Gf (s^{-1})$	K_A	$K_B (s)$	$No/N - \text{eq. (13) p/ } Gf = 20s^{-1} \text{ e } T_f = 20\text{min}$
20	1,70E-04	3,39E-08	47,62
30	1,71E-04	4,55E-08	45,56
40	9,01E-05	3,60E-08	8,18
50	5,14E-05	8,22E-09	3,41
60	5,70E-05	1,06E-07	3,54
70	5,95E-05	9,93E-08	3,77
80	4,45E-05	8,36E-08	2,71
90	4,13E-05	7,36E-08	2,54
100	4,92E-05	1,20E-07	2,93

Tabela 5.8. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante: Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L. $V_s = 5,0\text{cm/min}$.

$Gf (s^{-1})$	K_A	$K_B (s)$	$No/N - \text{eq. (13) p/ } Gf = 35s^{-1} \text{ e } T_f = 20\text{min}$
20	8,72E-05	1,95E-07	9,82
30	7,65E-05	4,49E-07	4,21
40	6,72E-05	6,46E-07	2,66
50	4,51E-05	3,83E-07	2,48
60	7,97E-05	5,46E-07	3,75

Tabela 5.9. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante: Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L. $V_s = 2,5 \text{ cm/min}$.

$Gf (s^{-1})$	K_A	$K_B (s)$	$No/N - \text{eq. (13) p/ } Gf = 35s^{-1} \text{ e } T_f = 20\text{min}$
20	1,27E-04	1,27E-07	25,20
30	9,83E-05	1,36E-07	15,69
40	7,19E-05	1,30E-07	9,18
50	5,60E-05	8,99E-08	6,84
60	9,28E-05	2,35E-07	9,35

Tabela 5.10. - Resultados da determinação dos coeficientes de agregação (K_A) e ruptura (K_B) e da relação No/N , através do MEAR. Coagulante: Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L. $V_s = 0,5$ cm/min.

Gf (s^{-1})	K_A	K_B (s)	No/N - eq.(13) p/ Gf = $35s^{-1}$ e $T_f = 20min$
20	1,54E-04	5,99E-08	66,07
30	1,02E-04	3,90E-08	37,04
40	1,23E-04	3,40E-08	64,53
50	9,20E-05	2,04E-08	34,97
60	1,02E-04	3,02E-08	41,53

Observa-se nas Tabelas 5.5 a 5.7, cujos resultados referem-se ao uso do Sulfato de Alumínio, e nas Tabelas 5.8 a 5.10, cujos resultados referem-se ao uso do Cloreto Férrico, que os resultados dos coeficientes de agregação e ruptura variaram com a velocidade de sedimentação e, de forma menos significativa, também foram influenciados pelo gradiente de velocidade médio na floculação (Gf).

Conforme os resultados apresentados por este método (MEAR), assim como ocorreu com os resultados do MPDPG, observa-se que realmente não existe coerência na afirmação de que os valores de K_A e K_B são constantes para cada tipo de água.

Para estabelecer comparação entre as constantes de agregação e ruptura obtidas pelos dois métodos, MPDPG e MEAR, foram fixados os parâmetros otimizados de mistura rápida e floculação e, com a aplicação destes na eq.(13), a eficiência da floculação foi estimada. Os resultados da eficiência da floculação, representada pela razão No/N estão mostrados nas Tabelas 5.1 a 5.4, para o MPDPG, e nas Tabelas 5.5 a 5.10, para o MEAR, e resumidos nas Tabelas 5.11 e 5.12, nas quais constam os valores extremos (mínimo e máximo) dos coeficientes K_A e K_B e da relação No/N . Ressalta-se que como os valores de velocidade de sedimentação foram diferentes para a obtenção dos resultados que foram utilizados nos cálculos de K_A e K_B para os dois métodos, a comparação será feita entre os valores próximos de

V_s .

Trabalha

↙

Tabela 5.11 - Resumo dos valores extremos (mínimo e máximo) de K_A e K_B para os métodos MPDPG e MEAR. Coagulante: Sulfato de Alumínio; dosagem = 20mg/L.

	MPDPG			MEAR		
	Velocidade de sedimentação (cm/min)			Velocidade de sedimentação (cm/min)		
	3,5	2,0	0,25	5,0	2,5	0,5
K_A	1,16E-4 a	1,34E-4 a	2,08E-4 a	1,53E-5 a	2,41E-5 a	4,13E-5 a
	1,31E-4	1,69E-4	2,88E-4	6,59E-5	1,16E-4	1,71E-4
K_B (s)	8,11E-7 a	5,64E-7 a	9,93E-8 a	1,32E-7 a	4,64E-8 a	8,22E-9 a
	8,96E-7	7,94E-7	3,41E-7	7,78E-7	3,28E-7	1,20E-7

Tabela 5.12 - Resumo dos valores extremos (mínimo e máximo) de K_A e K_B para os métodos MPDPG e MEAR. Coagulante: Cloreto Férrico; dosagem = 25mg/L.

	MPDPG			MEAR		
	Velocidade de sedimentação (cm/min)			Velocidade de sedimentação (cm/min)		
	3,5	2,0	0,25	5,0	2,5	0,5
K_A	5,60E-5 a	8,95E-5 a	1,11E-4 a	4,51E-5 a	5,60E-5 a	9,20E-5 a
	6,52E-5	1,09E-4	1,56E-4	8,72E-5	1,27E-4	1,54E-4
K_B (s)	2,97E-7 a	1,40E-7 a	4,19E-8 a	1,95E-7 a	8,99E-8 a	2,04E-8 a
	3,17E-7	2,10E-7	1,34E-7	6,46E-7	2,35E-7	5,99E-8

Apesar de se tratar de valores de V_s diferentes, pode-se observar nas Tabelas 5.11 e 5.12 que os valores de K_A e K_B apresentaram diferenças ao serem calculados pelos dois métodos, sendo que em se tratando do coeficiente de agregação, o MPDPG produziu resultados menores que o MEAR. Já em relação ao coeficiente de ruptura, ocorreu o inverso, ou seja, os valores obtidos pelo MPDPG resultaram maiores que os obtidos pelo MEAR.

6. CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, concluiu-se que:

- a) tanto para os resultados obtidos pelo Método da Equação de Agregação e Ruptura - MEAR-, quanto para os resultados obtidos pelo Método da Primeira Derivada Parcial em relação ao parâmetro Gf - MPDPG, houve influência da velocidade de sedimentação de flocos na determinação dos coeficientes de agregação e ruptura, K_A e K_B , para valores de V_s de 7,0 a 0,25cm/min. Para o intervalo de V_s entre 0,25 e 0,05cm/min, os resultados praticamente não apresentaram diferença significativa;
- b) ao comparar os coeficientes K_A e K_B obtidos segundo o MPDPG, a partir dos resultados da contagem de partículas primárias e dos resultados de turbidez remanescente, foram observadas diferenças entre os valores encontrados para mesma velocidade de sedimentação, sendo necessário, portanto, especificar qual o parâmetro utilizado na determinação dos coeficientes K_A e K_B , quando estes forem utilizados na previsão do comportamento de unidades de floculação;
- c) comparando-se os resultados obtidos segundo os dois métodos, MPDPG e MEAR, diferenças foram observadas nos valores dos coeficientes de agregação e ruptura, sendo necessária a realização de experimentos que venham a indicar qual o melhor método a ser empregado na previsão da eficiência da floculação;
- d) ao seguir o procedimento proposto por BRATBY (1981) para determinação dos coeficientes de agregação e ruptura, o qual utiliza os resultados dos ensaios de

otimização dos parâmetros de floculação, não foi possível a obtenção do comportamento previsto pelo autor, impossibilitando a continuidade dos cálculos e conseqüentemente a determinação de K_A e K_B . Convém destacar que PÁDUA (1994) ao otimizar os parâmetros de floculação através da realização de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos idênticos aos utilizados neste trabalho, também não obteve curvas com o mesmo comportamento previsto por BRATBY (1981);

- e) a execução de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação em reatores estáticos é uma ferramenta de grande utilidade no tratamento de água pois possibilita a determinação de dosagem e pH ótimos de coagulação, representando, em larga escala, economia no consumo de produtos químicos, facilidade de adequação das dosagens às mudanças nas características da água bruta e operação racionalizada;
- f) os ensaios em reatores estáticos também são úteis na determinação dos parâmetros de coagulação, floculação e sedimentação, colaborando para a racionalização do projeto e operação de Estações de Tratamento de Águas, visto que, produzindo a mesma eficiência, gradientes de velocidade menores acarretam economia no consumo de energia e tempos de agitação menores implicam na construção de unidades que ocupam menos espaço;
- g) os ensaios em reatores estáticos devem ser executados com valores de velocidade de sedimentação compatíveis com os utilizados nas estações de tratamento de águas.

Finalizando o presente trabalho são feitas as seguintes recomendações:

- a) cuidados e atenção durante a execução de ensaios em reatores estáticos no que se refere à configuração dos equipamentos de agitação devido à influência que este

fator exerce na relação entre a rotação das paletas e os valores de gradiente de velocidade médio;

- b) cuidado na preparação do ensaio para contagem de partículas e na manutenção do equipamento. Como sugestão, pode -se acidular a amostra antes do ensaio para neutralizar o efeito do coagulante utilizado, no caso de sais de alumínio ou ferro, desmanchando os flocos formados e produzindo novamente partículas primárias;
- c) a realização de pesquisas visando a reprodução e confirmação da metodologia proposta por BRATBY (1981) para determinação dos coeficientes de agregação e ruptura;
- d) a realização de pesquisas com o objetivo de relacionar parâmetros de ensaios em reatores estáticos com o projeto e operação de unidades de coagulação e floculação em escala piloto com escoamento contínuo;
- e) a realização de pesquisas para comparação dos dois métodos - MPDPG e MEAR - com o objetivo de verificar qual deles produz resultados confiáveis que possam ser utilizados no projeto de unidades reais.

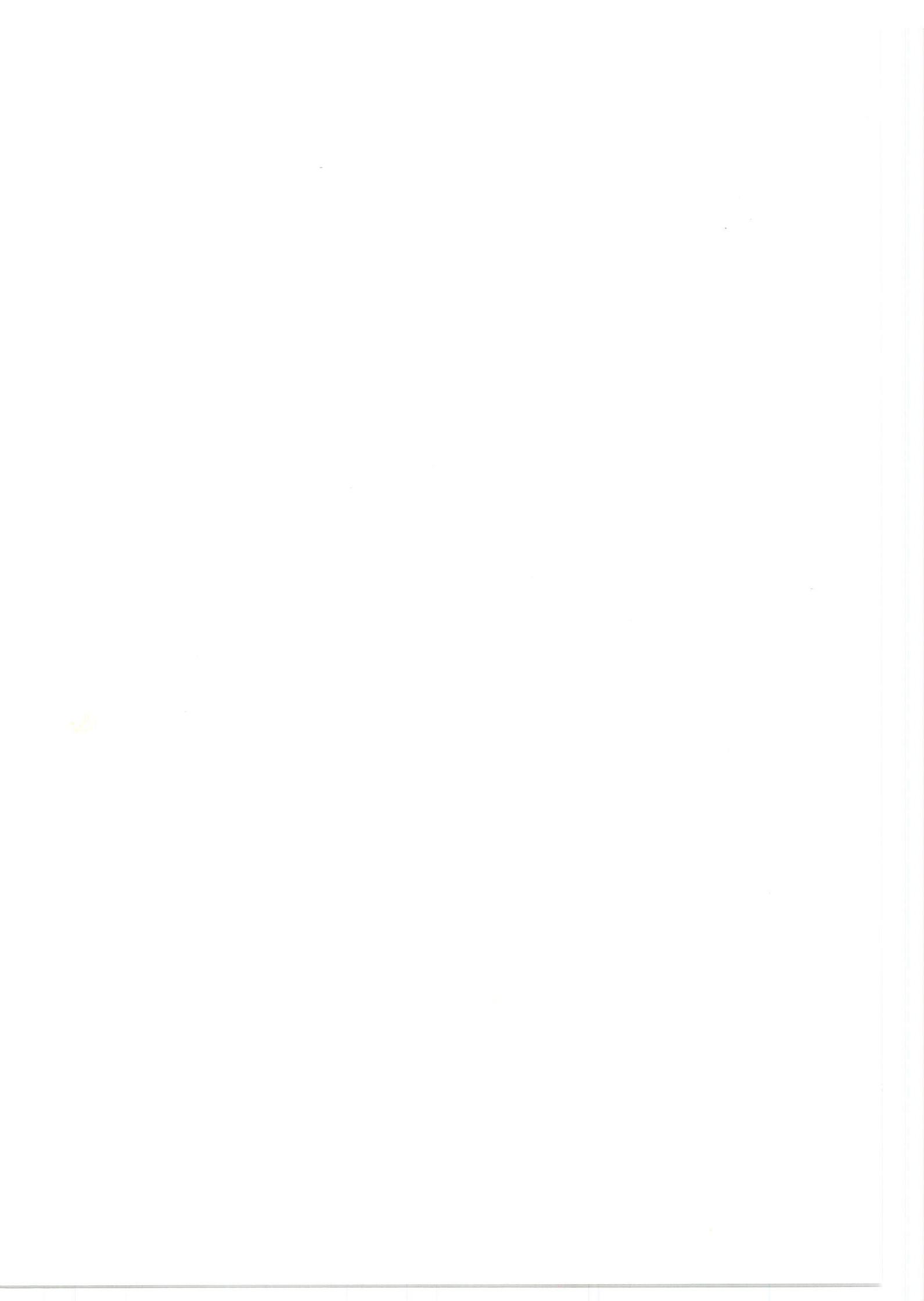
7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION (AWWA) (1990). *Water quality and treatment: a handbook of community water supplies*. 4th ed. United States of America. Cap.6, p.270.
- AMERICAN WATER WORKS ASSOCIATION - AWWA - Committee Report. (1971). *State of art of coagulation: mechanisms and stoichiometry*. Jour. AWWA, v.63, n.2, p.99-108, Feb.
- AMIRTHARAJAH, A.; MILLS, K.J. (1982). *Rapid-mix design for mechanisms of alum coagulation*. Jour. AWWA. v.74, n.4, p.210-216, Apr.
- ARGAMAN, Y. (1971). *Pilot-plant studies of flocculation*. Jour. AWWA, v.63, n.12, p.775-777, Dec.
- ARGAMAN, Y.; KAUFMAN, W.J. (1970). *Turbulence and flocculation*. Jour. Envir. Eng. ASCE, v.96, n.SA2, p.223-241, Apr.
- AZEVEDO NETTO, J.M. (1984). *Cronologia do abastecimento de água*. Revista DAE, v.44, n.137, p.106-111, Junho.
- BEARD II, J.D.; TANAKA, T.S. (1977). *A comparison of particle counting and nephelometry*. Jour. AWWA, v.69, n.10, p.533-538, Oct.

- BRATBY, J.R. (1981). *Interpreting laboratory results for the design of rapid mixing and flocculation systems*. Jour. AWWA, v.73, n.6, p.318-325, Jun.
- BRATBY, J.R.; MILLER, M.W; MARAIS, G v R. (1977). *Design of flocculation systems from batch test data*. Water S.A., v.3, n.4, p.173-182, Oct.
- CAMP, T.R.; ROOT, D.A.; BHOOTA, B.V. (1940). *Effects of temperature on rate of floc formation*. Jour. AWWA, v.32, n.11, p.1913-1927, Nov.
- CAMP, T.R.; STEIN, P.C. (1943). *Velocity Gradients and Internal Work in Fluid Motion*. Journal of the Boston Society of Civil Engineers, v. 30, n.4, p.219-237, Oct.
- CLEASBY, J.L. (1984). *Is velocity gradient a valid turbulent flocculation parameter?* Jour. Envir. Eng. - ASCE, v.110, n.5, p.875-897, Oct.
- DI BERNARDO, L. (1993). *Métodos e Técnicas de Tratamento de Água*. Rio de Janeiro: ABES. Vol.I, Cap. 7, p 159-261: Coagulação e Floculação.
- HANNAH, S.A.; COHEN, J.M.; ROBECK, G.G. (1967). *Measurement of floc strength by particle counting*. Jour. AWWA, v.59, p.843-858, Jul.
- HARRIS, H.S.; KAUFMAN, W.J.; KRONE, R.B. (1966). *Orthokinetic flocculation in water purification*. Jour. San. Eng. Div., Proc. ASCE, v.92, n.SA6, p.95-111, Dec.
- HART, V.S.; JOHNSON, C.E.; LETTERMAN, R.D. (1992). *An analysis of low-level turbidity measurements*. Jour AWWA, v.84, n.12, p.40-45, Dec.
- HUDSON, H.E. Jr. (1973). *Evaluation of plant operating and jar-test data*. Jour. AWWA, v.65, n.5, p.368-375, May.
- JOHNSON, P.N.; AMIRTHARAJAH, A. (1983). *Ferric chloride and alum as single and dual coagulants*. Jour. AWWA, v.75, n.5, p.232-239, May.

- LAWLER, D.F.; WILKES, D.R. (1984). *Flocculation model testing: particle sizes in a softening plant*. Jour. AWWA, v.76, n.7, p.90-97, July.
- LECHEVALLIER, M.W.; NORTON, W.D. (1992). *Examining relationships between particle counts and Giardia, Cryptosporidium and turbidity*. Jour AWWA, v.84, n.12, p.54-60, Dec.
- LETTERMAN, R.D.; QUON, J.E.; GEMMELL, R.S. (1973). *Influence of rapid-mix parameters on flocculation*. Jour. AWWA, v.65, p.716-722, Nov.
- LEWIS, C.M.; HARGESHEIMER, E.E.; YENTSCH, C.M. (1993). *Application of particle counters to treatment of drinking water*. American Laboratory News Edition, Apr.
- LIBÂNIO M. (1995). *Avaliação da floculação em reatores estáticos e de escoamento contínuo com gradientes de velocidade constante e variável*. São Carlos. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MENDES, C.G.N. (1989) *Estudo da coagulação de águas sintéticas e naturais com turbidez e cor variáveis*. São Carlos. 2v. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PÁDUA, V.L. (1994). *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*. São Carlos. 165p. Dissertação (Mestrado) - Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- PARKER, D.S.; KAUFMAN, W.J.; JENKINS, D. (1972). *Floc breakup in turbulent flocculation processes*. Jour. San. Eng. Div.-ASCE, v.98, n.SA1, p.79-99, Feb.
- STUMM, W.; O'MELIA, C.R. (1968). *Stoichiometry of coagulation*. Jour. AWWA, v.60, n.5, p.514-539, May.

ANEXO A
Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez
Sulfato de Alumínio



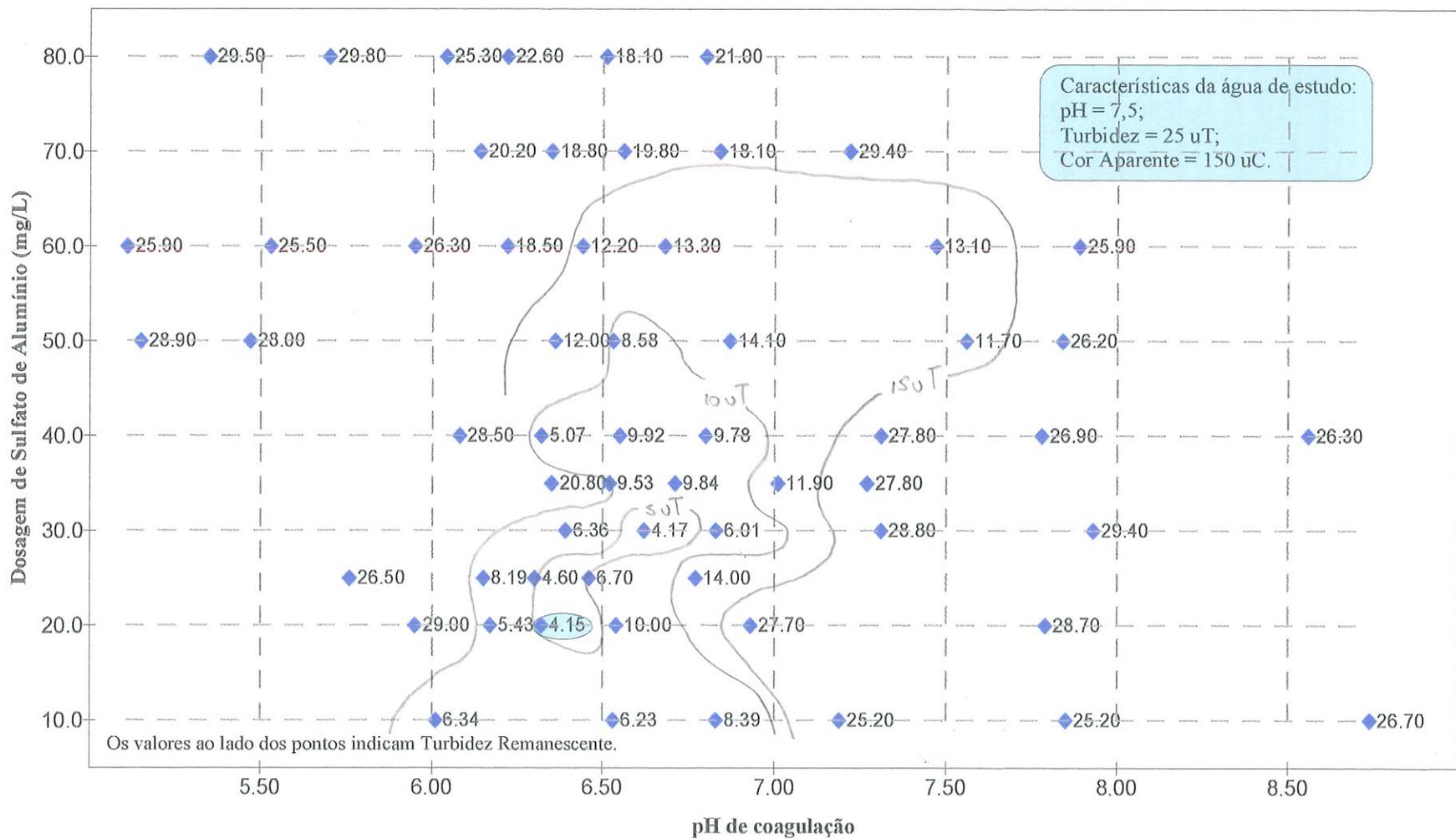


Figura A-1 - Diagrama de Coagulação - Turbidez remanescente em função da dosagem de Sulfato de Alumínio e pH de coagulação. (Vs = 2,5cm/min, Tmr = 15s, Gmr = 1100s-1, Tf = 20min e Gf = 25s-1).
 Fonte: Tabela A-1.

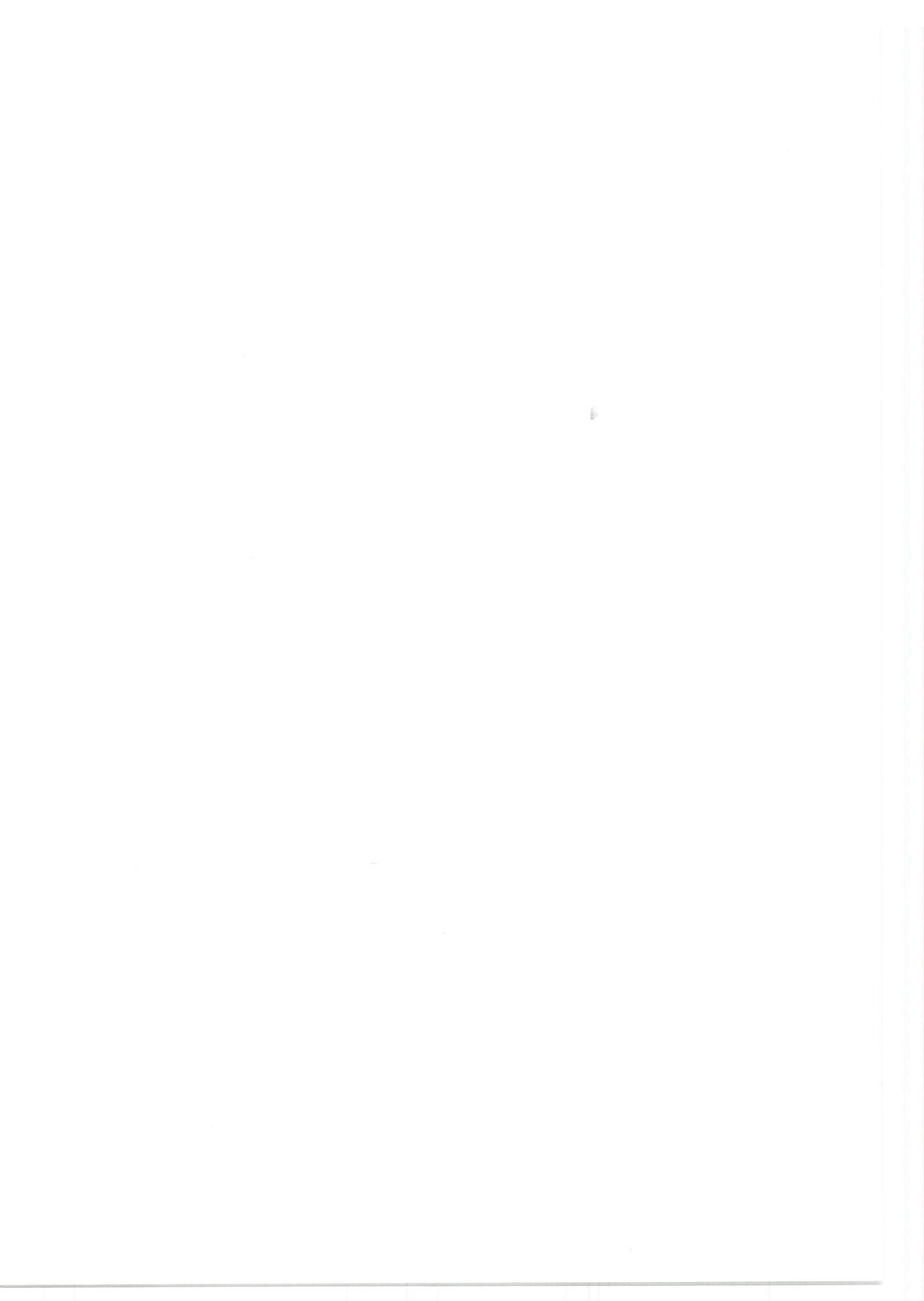
Tabela A-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para a construção do diagrama de coagulação para remoção de turbidez ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante e os parâmetros: $G_{mr} = 1100s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 25s^{-1}$; $T_f = 20min$ e $V_s = 2,5cm/min$.

Dosagem de Produtos Químicos			pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
NaOH 0,1N (mL/L)	HCl 0,1N (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)			
-	2,25	5	6,69	13,4	67
-	1,50	5	6,76	14,7	68
-	0,75	5	6,90	20,7	110
-	-	5	7,04	26,2	149
1,0	-	5	7,64	26,7	167
2,0	-	5	8,63	26,7	172
-	1,50	10	6,01	6,34	138
-	0,75	10	6,53	6,23	119
-	-	10	6,83	8,39	65
1,0	-	10	7,19	25,2	127
2,0	-	10	7,85	25,2	73
3,0	-	10	8,74	26,7	131
-	1,50	15	6,19	9,92	52
-	0,75	15	6,37	10,1	47
-	-	15	6,53	12,8	66
1,0	-	15	6,71	17,0	84
2,0	-	15	7,10	27,2	166
3,0	-	15	8,05	27,4	170
-	1,50	20	5,95	29,0	118
-	0,75	20	6,17	5,43	27
-	-	20	6,32	4,15	23
1,0	-	20	6,54	10,0	56
2,0	-	20	6,93	27,7	158
3,0	-	20	7,79	28,7	176
-	1,50	25	5,76	26,5	149
-	1,00	25	6,05	26,1	130
-	0,50	25	6,22	8,19	50
-	-	25	6,35	4,60	33
1,0	-	25	6,46	6,70	40
2,0	-	25	6,77	14,0	81
-	0,75	30	6,33	28,8	138
-	-	30	6,39	6,36	31
1,0	-	30	6,62	4,17	25
2,0	-	30	6,83	6,01	34
3,0	-	30	7,31	28,8	172
4,0	-	30	7,93	29,4	189
-	0,75	35	6,31	29,5	160
-	-	35	6,35	20,8	130
1,0	-	35	6,52	9,53	62
2,0	-	35	6,71	9,84	60
3,0	-	35	7,01	11,9	74
4,0	-	35	7,27	27,8	176
-	0,75	40	5,94	30,2	182

Tabela A-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para a construção do diagrama de remoção de turbidez ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante e os parâmetros: $G_{mr} = 1100s^{-1}$; $T_{mr} = 15 s$; $G_f = 25s^{-1}$; $T_f = 20min$ e $V_s = 2,5cm/min$. (continuação)

Dosagem de Produtos Químicos			pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
NaOH 0,1N (mL/L)	HCl 0,1N (mL/L)	Sulfato de Alumínio (mg/L)			
-	-	40	6,08	28,5	163
1,0	-	40	6,32	5,07	37
2,0	-	40	6,55	9,92	58
3,0	-	40	6,80	9,78	62
4,0	-	40	7,31	27,8	170
5,0	-	40	7,78	26,9	138
6,0	-	40	8,56	26,3	119
-	0,75	50	5,15	28,9	166
-	-	50	5,47	28,0	157
1,0	-	50	6,23	28,6	155
2,0	-	50	6,36	12,0	69
3,0	-	50	6,53	8,58	49
4,0	-	50	6,87	14,1	81
5,0	-	50	7,56	11,7	65
6,0	-	50	7,84	26,2	127
-	-	60	5,11	25,9	144
1,0	-	60	5,53	25,5	142
2,0	-	60	5,95	26,3	153
3,0	-	60	6,22	18,5	116
4,0	-	60	6,44	12,2	76
5,0	-	60	6,68	13,3	81
5,0	-	60	7,47	13,1	73
6,0	-	60	7,89	25,9	131
2,0	-	70	6,02	28,8	161
3,0	-	70	6,14	20,2	121
4,0	-	70	6,35	18,8	116
5,0	-	70	6,56	19,8	114
6,0	-	70	6,84	18,1	110
7,0	-	70	7,22	29,4	182
2,0	-	80	5,35	29,5	174
3,0	-	80	5,70	29,8	170
4,0	-	80	6,04	25,3	145
5,0	-	80	6,22	22,6	135
6,0	-	80	6,51	18,1	110
7,0	-	80	6,80	21,0	126

ANEXO B
Diagrama de Coagulação para Remoção de Turbidez
Cloreto Férrico



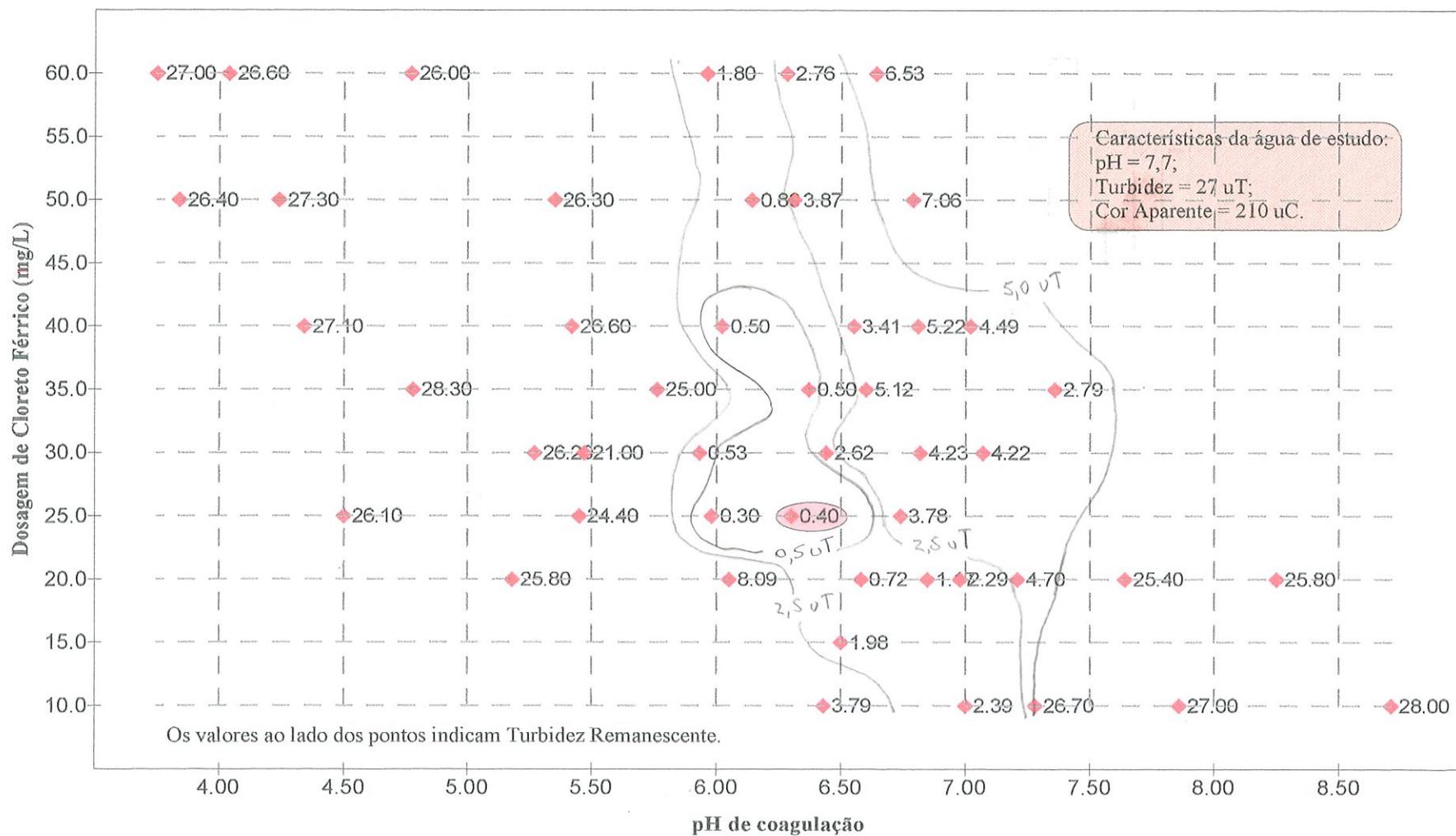


Figura B-1 - Diagrama de Coagulação - Turbidez remanescente em função da dosagem de Cloreto Férrico e pH de coagulação. (Vs = 2,5cm/min, Tmr = 15s, Gmr = 1100s-1, Tf = 20min e Gf = 25s-1).
 Fonte: Tabela B-1.

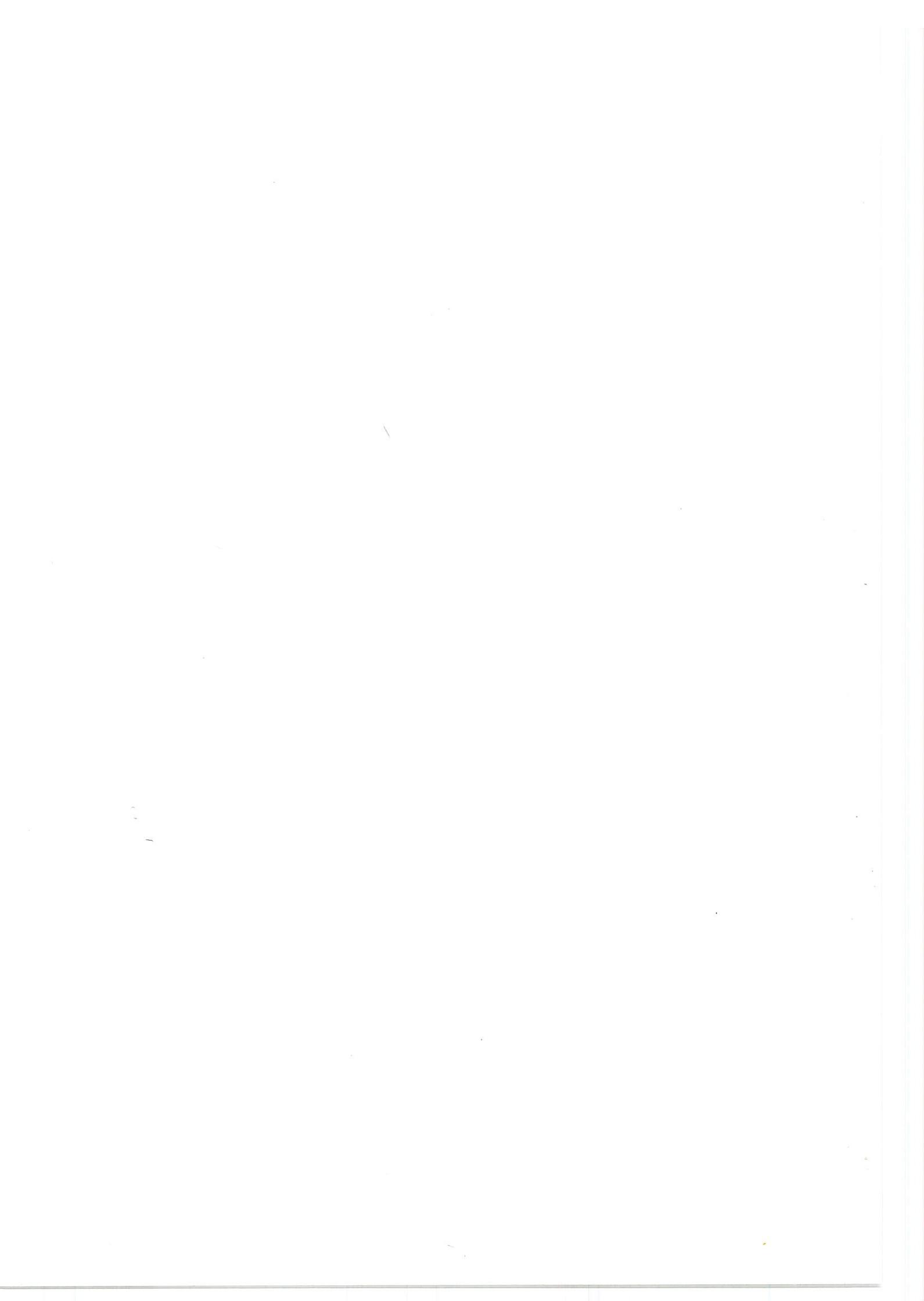
Tabela B-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para a construção do diagrama de coagulação para remoção de turbidez ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante e os parâmetros: $G_{mr} = 1100s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 25s^{-1}$; $T_f = 20min$ e $V_s = 2,5cm/min$.

Dosagem de Produtos Químicos			pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
NaOH 0,1N (mL/L)	HCl 0,1N (mL/L)	Cloreto Férrico (mg/L)			
-	1,5	10	6,92	2,89	19
-	0,75	10	7,00	2,39	19
-	-	10	7,03	2,48	22
1,0	-	10	7,28	26,7	231
2,0	-	10	7,86	27,0	233
3,0	-	10	8,71	28,0	242
-	2,25	10	6,46	4,02	33
-	2,75	10	6,43	3,79	29
-	1,50	15	6,50	1,98	17
-	2,25	15	6,55	3,74	36
-	1,75	20	6,05	8,09	67
-	1,5	20	6,58	0,72	10
-	0,75	20	6,85	1,17	10
-	-	20	6,98	2,29	20
1,0	-	20	7,21	4,70	35
2,0	-	20	7,64	25,4	254
3,0	-	20	8,25	25,8	247
-	2,25	20	5,18	25,8	-
-	2,25	25	4,50	26,1	-
-	1,5	25	5,45	24,4	-
-	0,75	25	5,98	0,30	-
-	-	25	6,30	0,40	-
1,0	-	25	6,74	3,78	-
-	1,5	30	5,27	26,2	289
-	0,75	30	5,47	21,0	271
-	-	30	5,93	0,53	9
1,0	-	30	6,44	2,62	26
2,0	-	30	6,82	4,23	35
3,0	-	30	7,07	4,22	40
-	0,75	40	4,34	27,1	308
-	-	40	5,42	26,6	299
1,0	-	40	6,02	0,50	12
2,0	-	40	6,55	3,41	33
3,0	-	40	6,81	5,22	48
4,0	-	40	7,02	4,49	37
-	0,75	50	3,84	26,4	324
-	-	50	4,24	27,3	330
1,0	-	50	5,35	26,3	326
2,0	-	50	6,14	0,80	16
3,0	-	50	6,31	3,87	39
4,0	-	50	6,79	7,06	67

Tabela B-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para a construção do diagrama decoagulação para remoção de turbidez ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante e os parâmetros: $G_{mr} = 1100s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 25s^{-1}$; $T_f = 20min$ e $V_s = 2,5cm/min$. (continuação)

Dosagem de Produtos Químicos			pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
NaOH 0,1N (mL/L)	HCl 0,1N (mL/L)	Cloreto Férrico (mg/L)			
-	-	60	3,75	27,0	342
1,0	-	60	4,04	26,6	343
2,0	-	60	4,77	26,0	343
3,0	-	60	5,96	1,80	34
4,0	-	60	6,28	2,76	33
5,0	-	60	6,64	6,53	68

ANEXO C
Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida
Sulfato de Alumínio



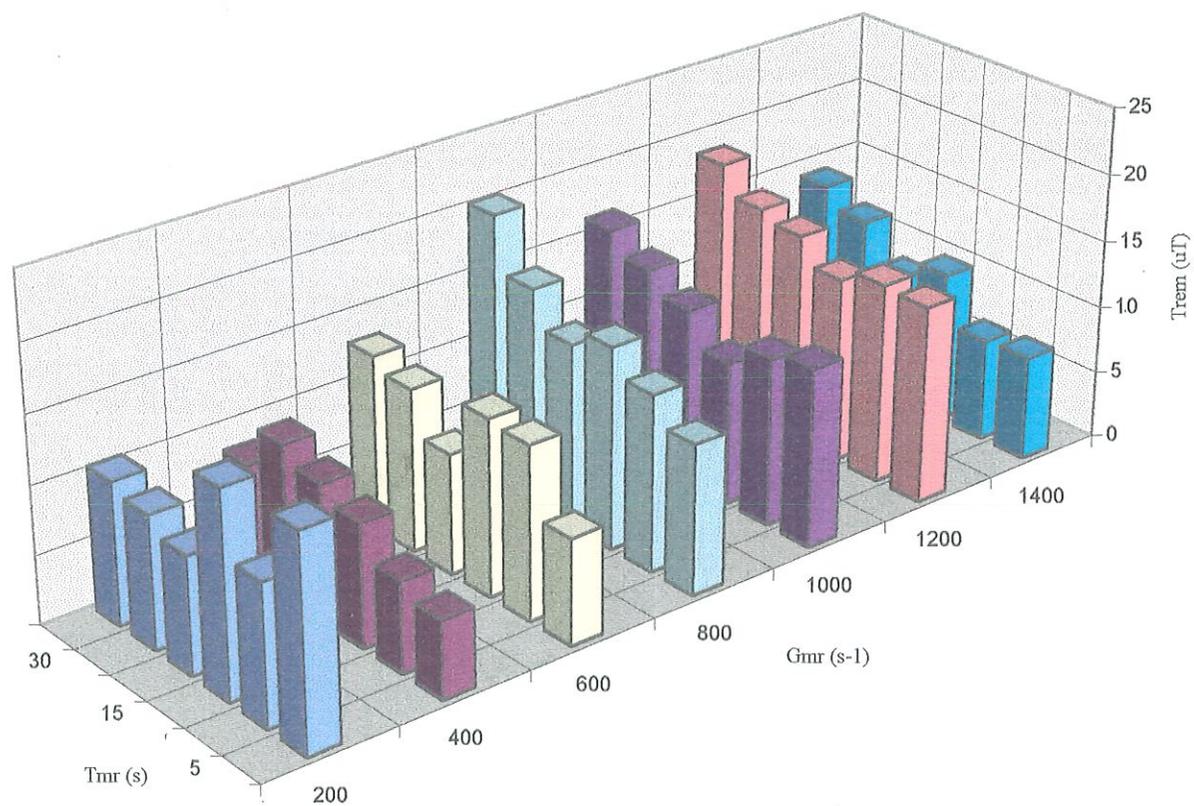


Figura C-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dosagem = 20mg/L; Tf = 20min; Gf = 25s⁻¹; Vs = 5,0cm/min.

Fonte: Tabela C-1.

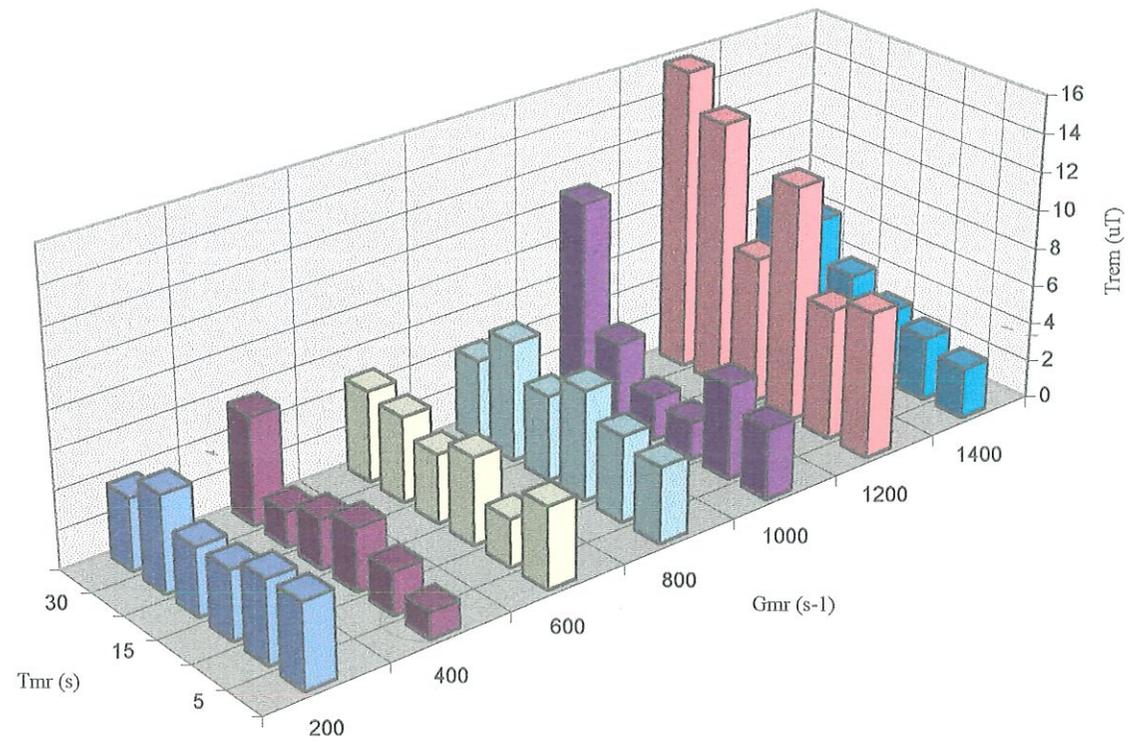


Figura C-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dosagem = 20mg/L; Tf = 20min; Gf = 25s⁻¹; Vs = 2,5cm/min.

Fonte: Tabela C-1.

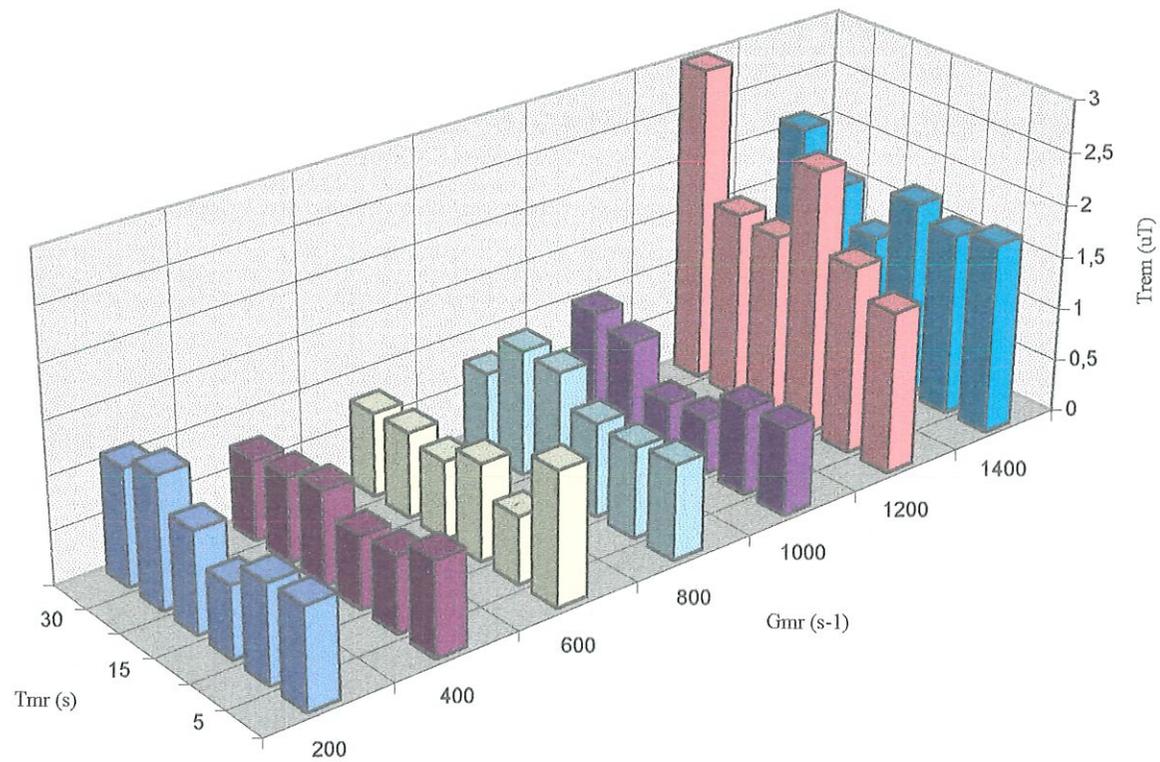


Figura C-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dosagem = 20mg/L; Tf = 20min; Gf = 25s⁻¹; Vs = 0,5cm/min.
 Fonte: Tabela C-1.

Tabela C-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros adotados: $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$.

Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
5	200	5,0	6,67	15,4	64
10	200	5,0	6,69	10,2	50
15	200	5,0	6,65	14,9	81
20	200	5,0	6,65	8,51	42
30	200	5,0	6,66	9,71	47
45	200	5,0	6,65	10,4	49
5	200	2,5	6,76	4,34	20
10	200	2,5	6,79	4,25	20
15	200	2,5	6,76	3,53	18
20	200	2,5	6,79	3,51	17
30	200	2,5	6,79	4,97	29
45	200	2,5	6,71	3,70	14
5	200	0,5	6,67	0,93	7
10	200	0,5	6,73	0,91	8
15	200	0,5	6,68	0,67	6
20	200	0,5	6,65	0,94	7
30	200	0,5	6,66	1,23	8
45	200	0,5	6,65	1,09	8
5	400	5,0	6,68	5,64	28
10	400	5,0	6,67	6,60	36
15	400	5,0	6,66	8,99	50
20	400	5,0	6,72	10,1	50
30	400	5,0	6,69	11,3	58
45	400	5,0	6,69	8,12	43
5	400	2,5	6,67	1,36	8
10	400	2,5	6,68	2,20	12
15	400	2,5	6,72	3,25	15
20	400	2,5	6,75	2,55	15
30	400	2,5	6,81	1,83	10
45	400	2,5	6,67	5,61	31
5	400	0,5	6,73	0,88	7
10	400	0,5	6,73	0,70	5
15	400	0,5	6,67	0,67	7
20	400	0,5	6,72	0,88	6
30	400	0,5	6,72	0,80	5
45	400	0,5	6,65	0,75	6

Tabela C-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros adotados: $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$. (continuação)

Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
5	600	5,0	6,70	7,73	40
10	600	5,0	6,72	12,7	60
15	600	5,0	6,68	13,0	62
20	600	5,0	6,67	8,81	46
30	600	5,0	6,69	12,0	63
45	600	5,0	6,67	12,9	72
5	600	2,5	6,65	4,19	21
10	600	2,5	6,65	2,45	14
15	600	2,5	6,65	4,48	23
20	600	2,5	6,67	3,57	15
30	600	2,5	6,64	4,45	26
45	600	2,5	6,66	4,78	26
5	600	0,5	6,64	1,25	8
10	600	0,5	6,69	0,63	5
15	600	0,5	6,66	0,91	6
20	600	0,5	6,62	0,73	6
30	600	0,5	6,65	0,80	7
45	600	0,5	6,63	0,79	5
5	800	5,0	6,75	11,0	57
10	800	5,0	6,73	13,0	68
15	800	5,0	6,86	14,9	86
20	800	5,0	6,83	13,6	63
30	800	5,0	6,91	16,2	84
45	800	5,0	6,93	20,2	98
5	800	2,5	6,75	3,91	18
10	800	2,5	6,67	4,44	21
15	800	2,5	6,71	5,73	29
20	800	2,5	6,77	4,42	24
30	800	2,5	6,81	6,19	30
45	800	2,5	6,80	4,28	23
5	800	0,5	6,85	0,89	5
10	800	0,5	6,86	0,85	5
15	800	0,5	6,83	0,88	3
20	800	0,5	6,80	1,16	3
30	800	0,5	6,84	1,18	3
45	800	0,5	6,85	0,78	3

Tabela C-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros adotados: $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$. (continuação)

Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
5	1000	5,0	6,81	13,2	66
10	1000	5,0	6,70	12,4	52
15	1000	5,0	6,69	10,6	42
20	1000	5,0	6,65	13,1	59
30	1000	5,0	6,65	14,7	71
45	1000	5,0	6,70	16,3	74
5	1000	2,5	6,72	3,70	17
10	1000	2,5	6,70	4,94	26
15	1000	2,5	6,73	1,96	8
20	1000	2,5	6,73	2,24	9
30	1000	2,5	6,68	4,17	17
45	1000	2,5	6,69	10,7	46
5	1000	0,5	6,60	0,83	3
10	1000	0,5	6,62	0,82	3
15	1000	0,5	6,61	0,52	3
20	1000	0,5	6,62	0,49	2
30	1000	0,5	6,63	0,89	4
45	1000	0,5	6,67	1,00	3
5	1200	5,0	7,04	14,6	81
10	1200	5,0	7,03	14,8	89
15	1200	5,0	7,06	13,8	68
20	1200	5,0	7,13	15,7	87
30	1200	5,0	7,18	16,4	89
45	1200	5,0	7,29	18,5	108
5	1200	2,5	7,01	7,61	41
10	1200	2,5	7,13	6,82	38
15	1200	2,5	7,18	12,3	67
20	1200	2,5	7,19	7,68	45
30	1200	2,5	7,21	13,9	68
45	1200	2,5	7,21	15,8	90
5	1200	0,5	7,03	1,52	8
10	1200	0,5	7,08	1,77	11
15	1200	0,5	7,08	2,51	12
20	1200	0,5	7,09	1,72	8
30	1200	0,5	7,14	1,77	10
45	1200	0,5	7,18	3,00	18

Tabela C-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros adotados: $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$. (continuação)

Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
5	1400	5,0	7,27	7,73	51
10	1400	5,0	7,22	7,57	45
15	1400	5,0	7,19	11,2	61
20	1400	5,0	7,23	9,66	61
30	1400	5,0	7,21	12,6	71
45	1400	5,0	7,24	14,1	87
5	1400	2,5	7,14	2,64	20
10	1400	2,5	7,17	3,33	23
15	1400	2,5	7,18	3,82	23
20	1400	2,5	7,21	4,86	31
30	1400	2,5	7,22	7,01	46
45	1400	2,5	7,25	6,66	39
5	1400	0,5	7,23	1,81	12
10	1400	0,5	7,24	1,73	8
15	1400	0,5	7,21	1,87	10
20	1400	0,5	7,22	1,37	10
30	1400	0,5	7,22	1,72	9
45	1400	0,5	7,25	2,13	12

Tabela C-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L, $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$.

Vs (cm/min)	Gmr (s^{-1})	Tmr (s)	Turbidez Remanescente (uT)
5	200	20	8,51
5	400	5	5,64
5	600	5	7,73
5	800	5	11,0
5	1000	15	10,6
5	1200	15	13,8
5	1400	10	7,57
2,5	200	20	3,51
2,5	400	5	1,36
2,5	600	10	2,45
2,5	800	5	3,91
2,5	1000	15	10,6
2,5	1200	10	6,82
2,5	1400	5	2,64
0,5	200	15	0,67
0,5	400	15	0,67
0,5	600	10	0,63
0,5	800	45	0,78
0,5	1000	20	0,49
0,5	1200	5	1,52
0,5	1400	20	1,37

ANEXO D
Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida
Cloreto Férrico

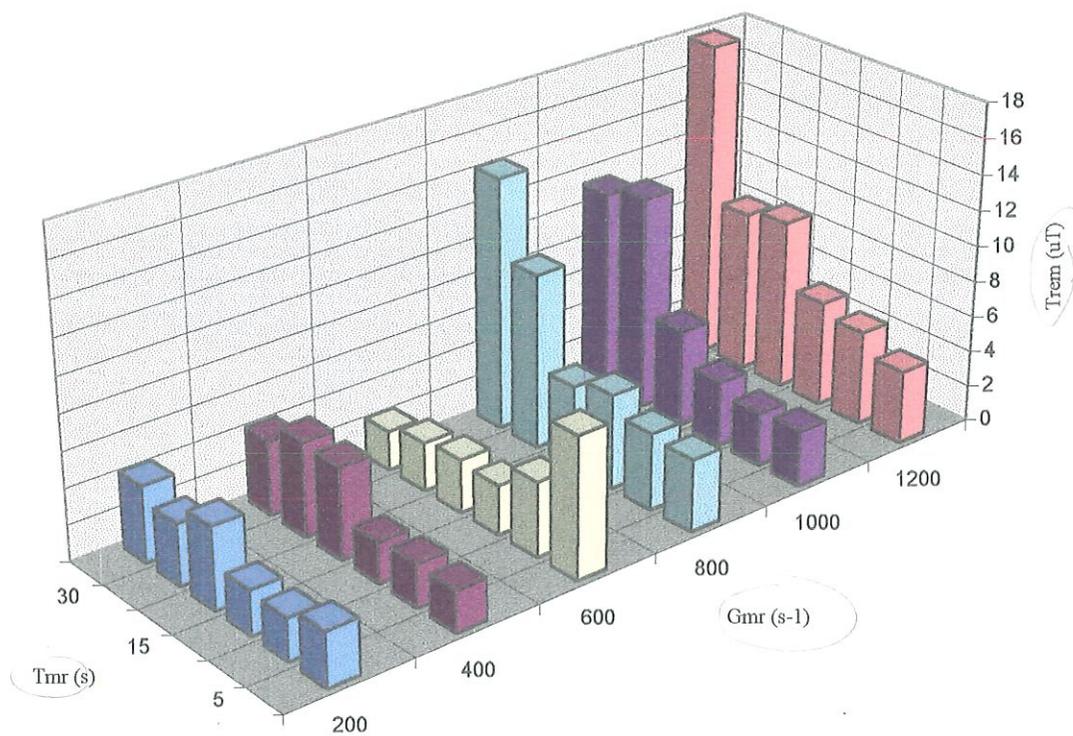


Figura D-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L ; $T_f = 20\text{min}$; $G_f = 25\text{s}^{-1}$; $V_s = 5,0\text{cm/min}$.

Fonte: Tabela D-1.

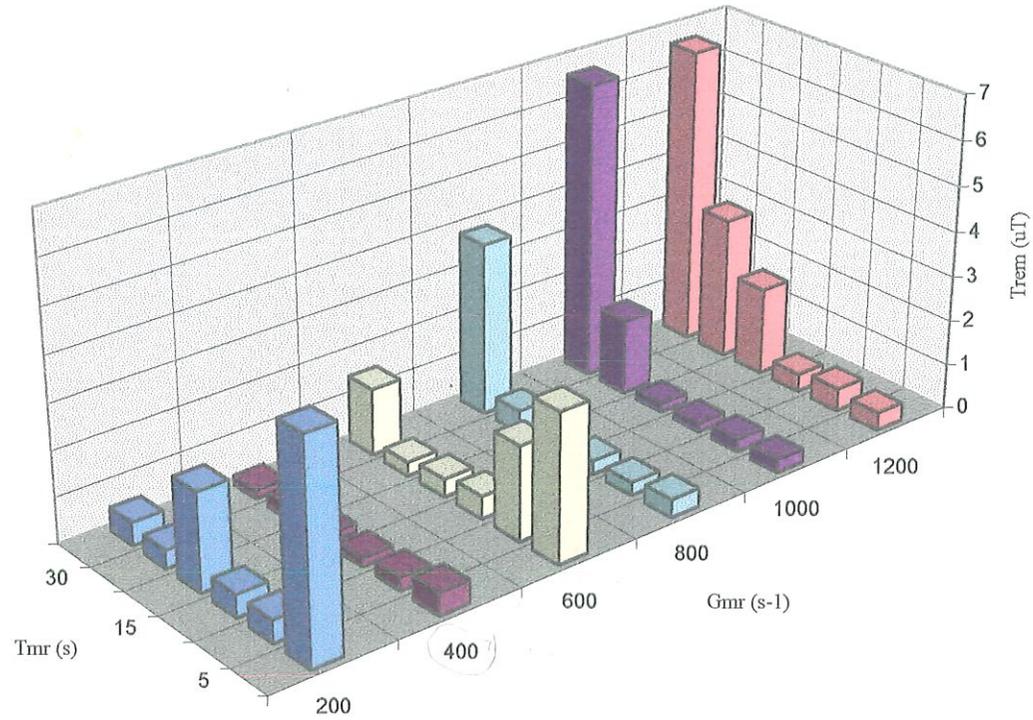


Figura D-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.
 Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 20min; Gf = 25s⁻¹; Vs = 2,5cm/min.
 Fonte: Tabela D-1.

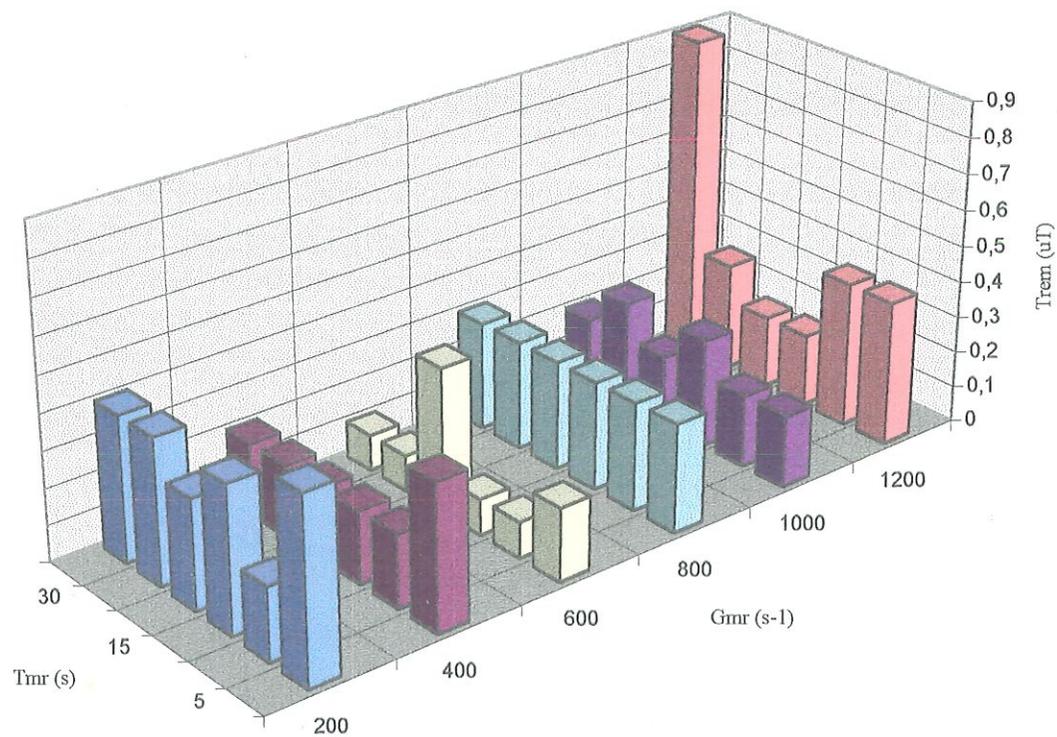


Figura D-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 20min; Gf = 25s⁻¹; Vs = 0,5cm/min.

Fonte: Tabela D-1.

Tabela D-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros adotados: $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$.

Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
5	200	5,0	6,13	3,01	23
10	200	5,0	6,13	2,34	18
15	200	5,0	6,10	2,45	22
20	200	5,0	6,10	4,54	-
30	200	5,0	6,08	3,41	32
45	200	5,0	6,11	4,21	29
5	200	2,5	6,14	4,72	33
10	200	2,5	6,15	0,5	11
15	200	2,5	6,14	0,5	12
20	200	2,5	6,20	2,14	22
30	200	2,5	6,13	0,4	14
45	200	2,5	6,16	0,5	18
5	200	0,5	6,09	0,5	12
10	200	0,5	6,10	0,2	11
15	200	0,5	6,14	0,4	9
20	200	0,5	6,14	0,3	9
30	200	0,5	6,13	0,4	9
45	200	0,5	6,15	0,4	9
5	400	5,0	6,69	2,29	22
10	400	5,0	6,69	2,39	23
15	400	5,0	6,67	2,27	21
20	400	5,0	6,72	5,10	37
30	400	5,0	6,70	5,28	38
45	400	5,0	6,69	4,14	29
5	400	2,5	6,69	0,5	12
10	400	2,5	6,69	0,3	11
15	400	2,5	6,69	0,2	9
20	400	2,5	6,70	0,2	8
30	400	2,5	6,70	0,3	8
45	400	2,5	6,73	0,2	9
5	400	0,5	6,59	0,4	10
10	400	0,5	6,64	0,2	9
15	400	0,5	6,63	0,2	8
20	400	0,5	6,66	0,2	8
30	400	0,5	6,66	0,2	7
45	400	0,5	6,67	0,2	8

Tabela D-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros adotados: $G_f = 25s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação)

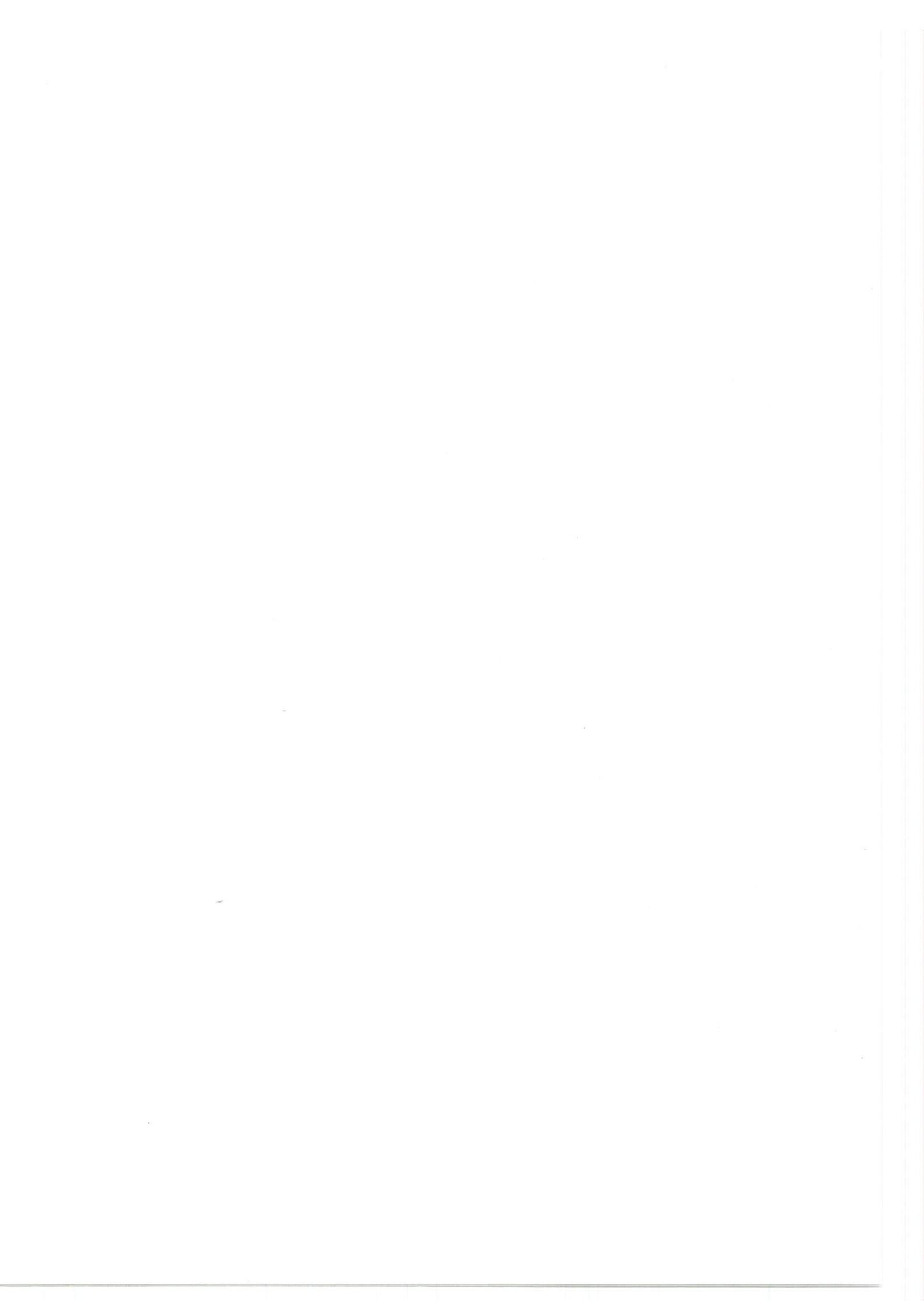
Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
5	600	5,0	6,38	7,85	59
10	600	5,0	6,35	4,14	34
15	600	5,0	6,35	2,74	26
20	600	5,0	6,31	2,96	26
30	600	5,0	6,26	2,73	26
45	600	5,0	6,21	2,22	27
5	600	2,5	6,32	3,25	30
10	600	2,5	6,33	2,07	17
15	600	2,5	6,47	0,5	13
20	600	2,5	6,49	0,4	11
30	600	2,5	6,43	0,3	10
45	600	2,5	6,41	1,47	16
5	600	0,5	6,20	0,2	9
10	600	0,5	6,21	0,1	9
15	600	0,5	6,22	0,1	8
20	600	0,5	6,23	0,4	9
30	600	0,5	6,22	0,1	9
45	600	0,5	6,20	0,1	10
5	800	5,0	6,73	4,03	-
10	800	5,0	6,71	4,28	32
15	800	5,0	6,76	5,27	38
20	800	5,0	6,75	4,62	44
30	800	5,0	6,74	9,80	67
45	800	5,0	6,77	14,2	102
5	800	2,5	6,78	0,4	15
10	800	2,5	6,78	0,3	11
15	800	2,5	6,80	0,3	12
20	800	2,5	6,78	0,3	13
30	800	2,5	6,80	0,5	14
45	800	2,5	6,82	3,82	30
5	800	0,5	6,75	0,3	11
10	800	0,5	6,80	0,3	10
15	800	0,5	6,81	0,3	9
20	800	0,5	6,83	0,3	7
30	800	0,5	6,82	0,3	8
45	800	0,5	6,81	0,3	9

Tabela D-1 - Resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros adotados: $G_f = 25s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação)

Tmr (s)	Gmr (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
5	1000	5,0	6,72	3,11	25
10	1000	5,0	6,75	2,98	23
15	1000	5,0	6,72	3,64	28
20	1000	5,0	6,73	5,45	47
30	1000	5,0	6,75	12,0	90
45	1000	5,0	6,76	11,3	100
5	1000	2,5	6,76	0,3	12
10	1000	2,5	6,77	0,3	8
15	1000	2,5	6,76	0,2	9
20	1000	2,5	6,77	0,2	13
30	1000	2,5	6,78	1,67	18
45	1000	2,5	6,77	6,59	52
5	1000	0,5	6,72	0,2	11
10	1000	0,5	6,71	0,2	7
15	1000	0,5	6,70	0,3	7
20	1000	0,5	6,72	0,2	7
30	1000	0,5	6,73	0,3	8
45	1000	0,5	6,75	0,2	8
5	1200	5,0	6,78	4,09	29
10	1200	5,0	6,75	5,24	37
15	1200	5,0	6,72	5,89	43
20	1200	5,0	6,72	9,53	66
30	1200	5,0	6,76	9,04	68
45	1200	5,0	6,74	17,8	141
5	1200	2,5	6,71	0,4	14
10	1200	2,5	6,71	0,5	9
15	1200	2,5	6,69	0,4	14
20	1200	2,5	6,72	1,95	20
30	1200	2,5	6,73	3,15	26
45	1200	2,5	6,76	6,61	53
5	1200	0,5	6,74	0,4	8
10	1200	0,5	6,76	0,4	8
15	1200	0,5	6,72	0,2	6
20	1200	0,5	6,73	0,2	6
30	1200	0,5	6,74	0,3	7
45	1200	0,5	6,76	0,9	11

Tabela D-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Mistura Rápida ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L e $Gf = 25s^{-1}$ e $Tf = 20min$.

Vs (cm/min)	Gmr (s^{-1})	Tmr (s)	Turbidez Remanescente (uT)
5	200	10	2,34
5	400	15	2,27
5	600	45	2,22
5	800	5	4,03
5	1000	10	2,98
5	1200	5	4,09
2,5	200	10, 15, 30, 45	0,5
2,5	400	15, 20, 45	0,2
2,5	600	20, 30	0,3
2,5	800	10, 15, 20	0,3
2,5	1000	15, 20	0,2
2,5	1200	5, 10, 15	0,4
0,5	200	10	0,2
0,5	400	10-45	0,2
0,5	600	10, 15, 30, 45	0,1
0,5	800	5-45	0,3
0,5	1000	5-45	0,2
0,5	1200	5-30	0,3



ANEXO E
Otimização dos Parâmetros de Floculação
Sulfato de Alumínio



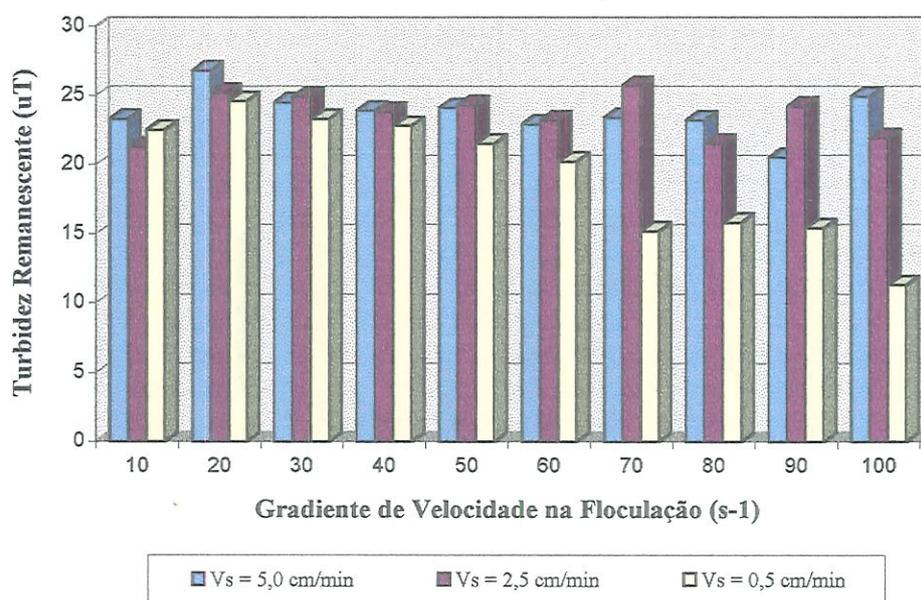


Figura E-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 2,5$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400$ s⁻¹.

Fonte: Tabela E-1.

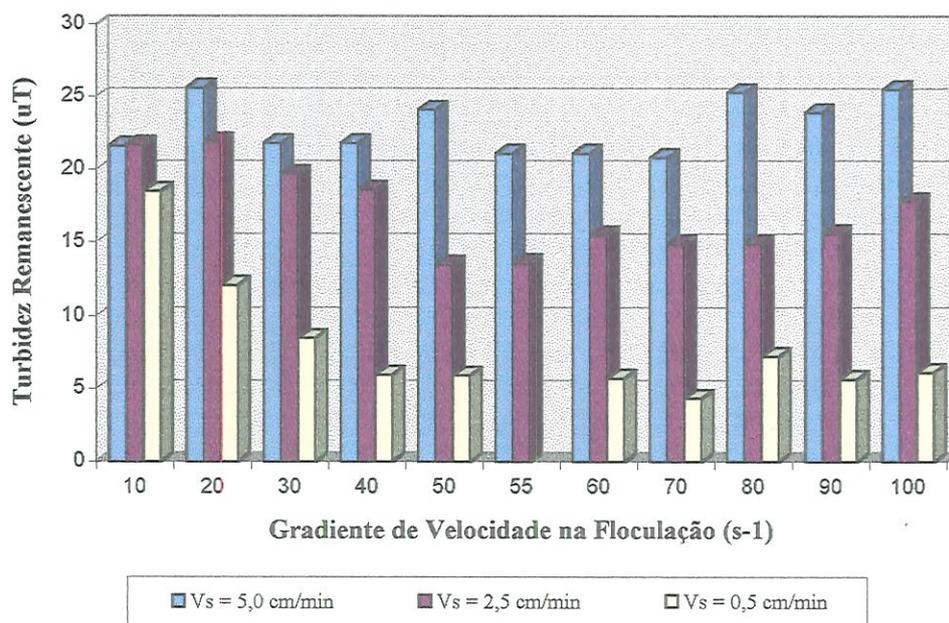


Figura E-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 5,0$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400$ s⁻¹.

Fonte: Tabela E-1.

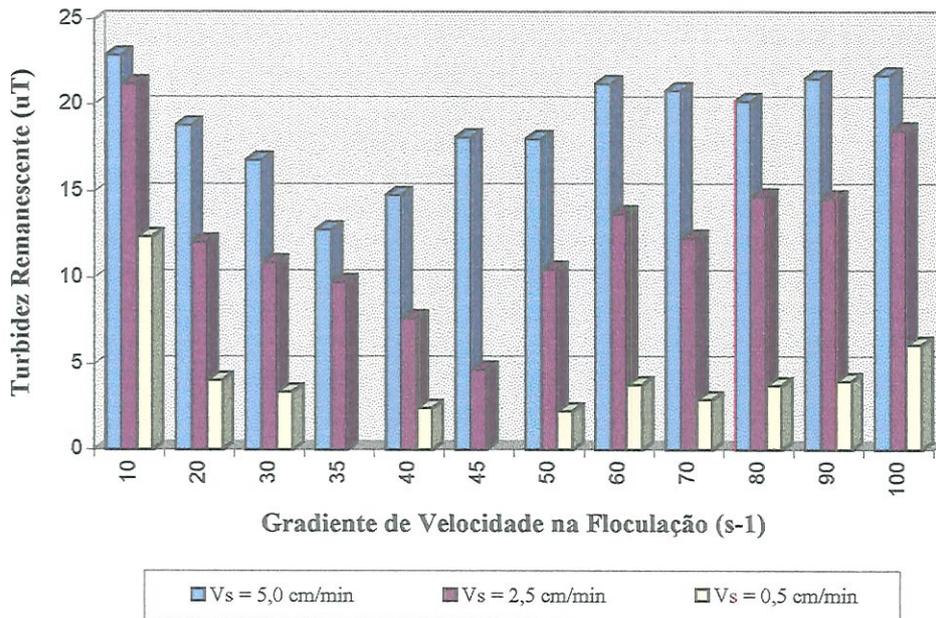


Figura E-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Flocação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 7,5$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.

Fonte: Tabela E-1.

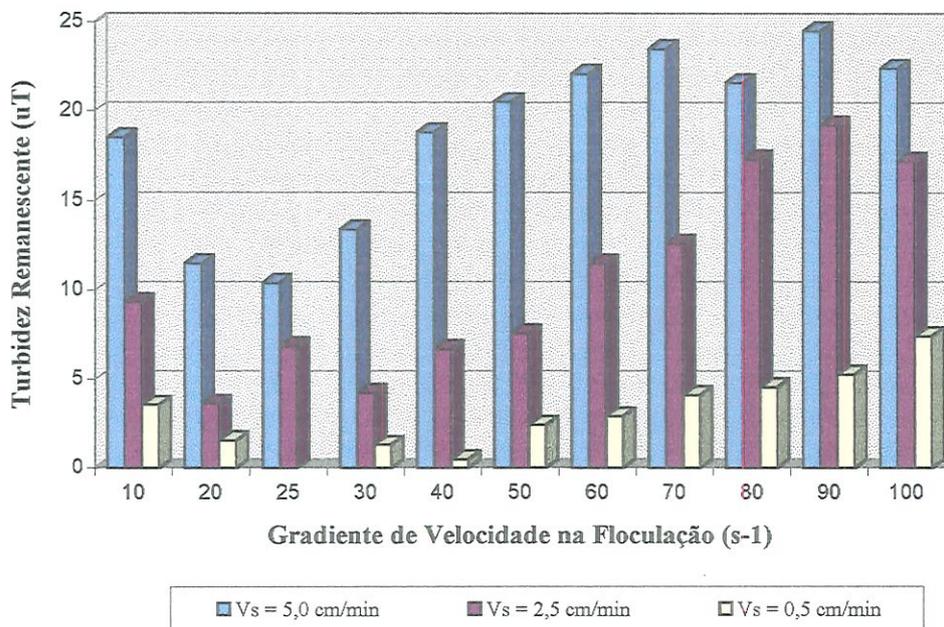


Figura E-4 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Flocação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 10$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.

Fonte: Tabela E-1.



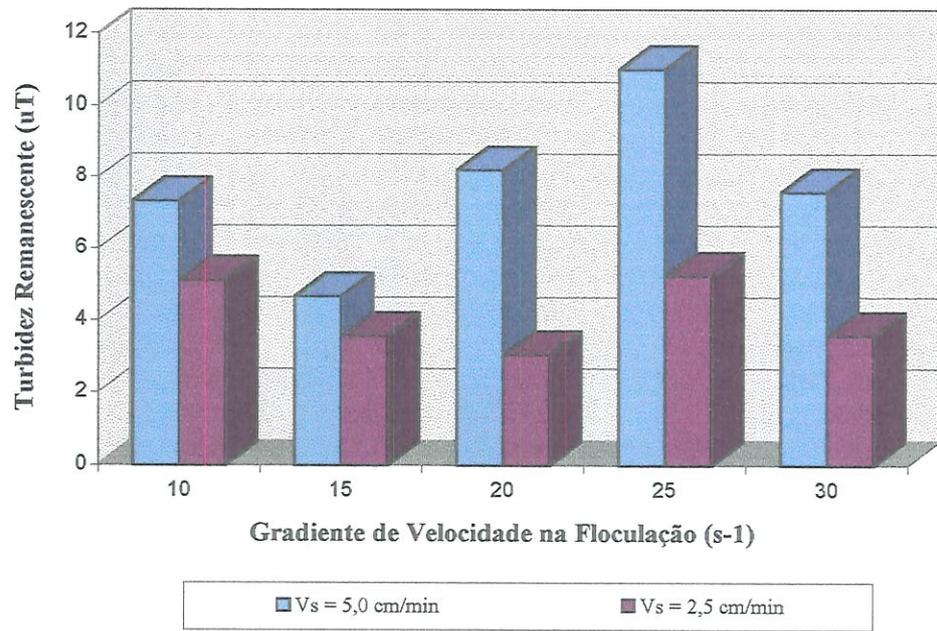


Figura E-5 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 12,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.
 Fonte: Tabela E-1.

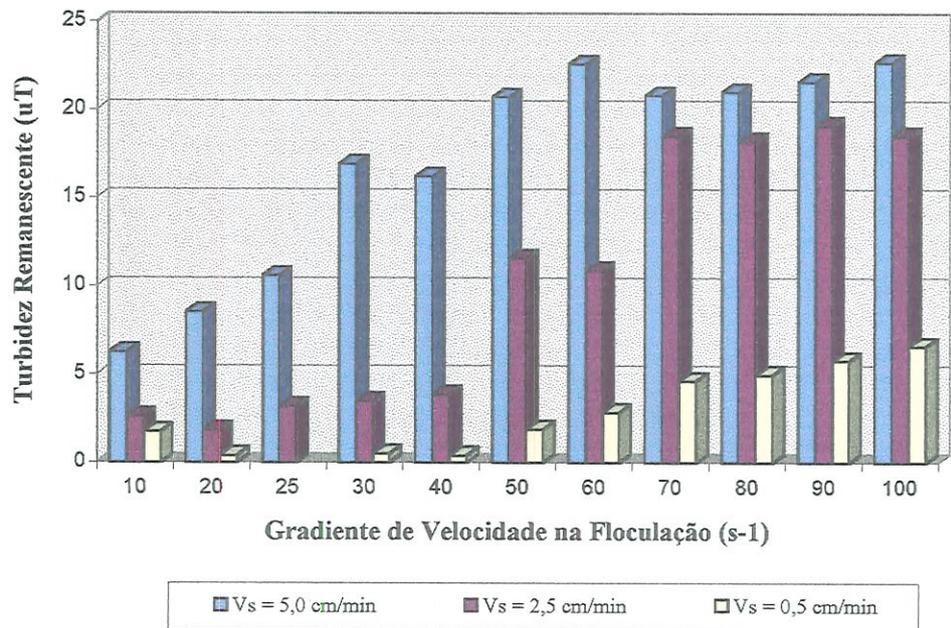


Figura E-6 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 15min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.
 Fonte: Tabela E-1.

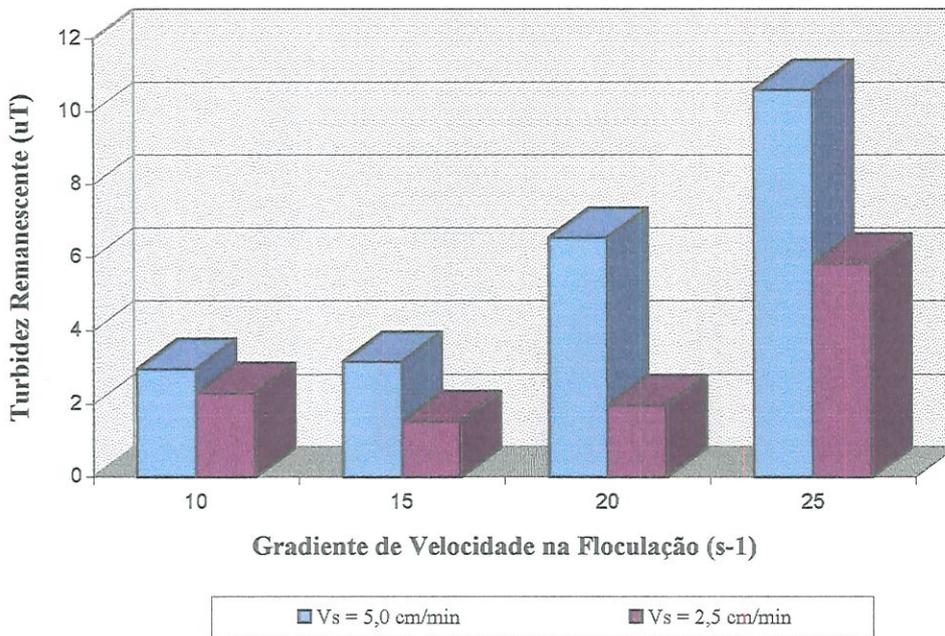


Figura E-7 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 17,5$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.
 Fonte: Tabela E-1.

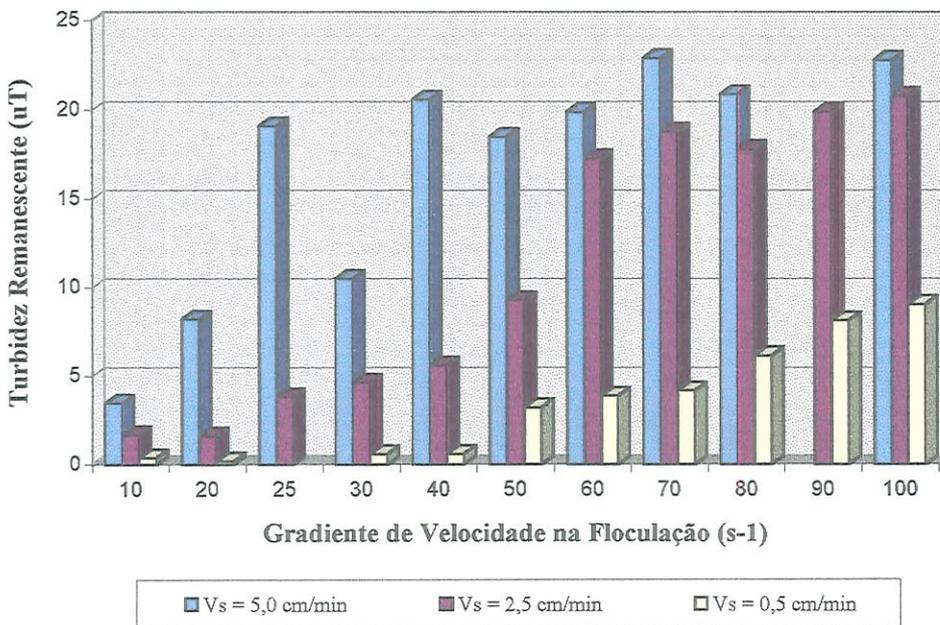


Figura E-8 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 20$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.
 Fonte: Tabela E-1.

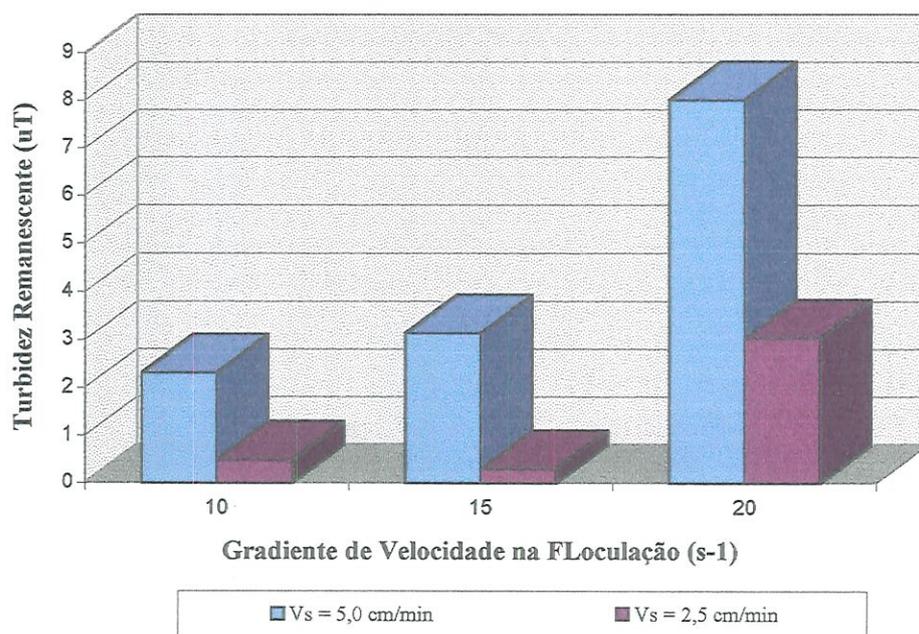


Figura E-9 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 22,5min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.
 Fonte: Tabela E-1.

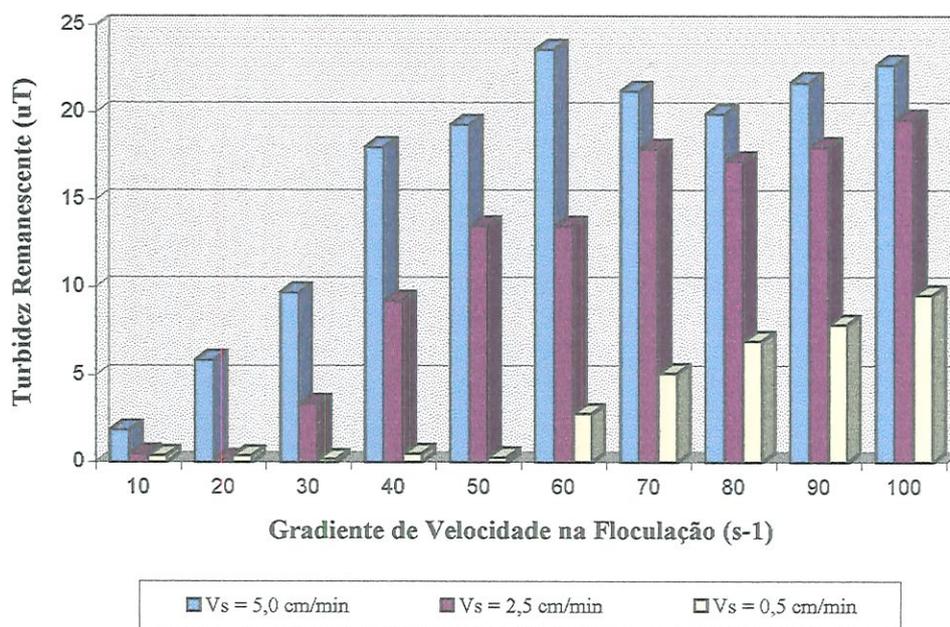


Figura E-10 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 25min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.
 Fonte: Tabela E-1.

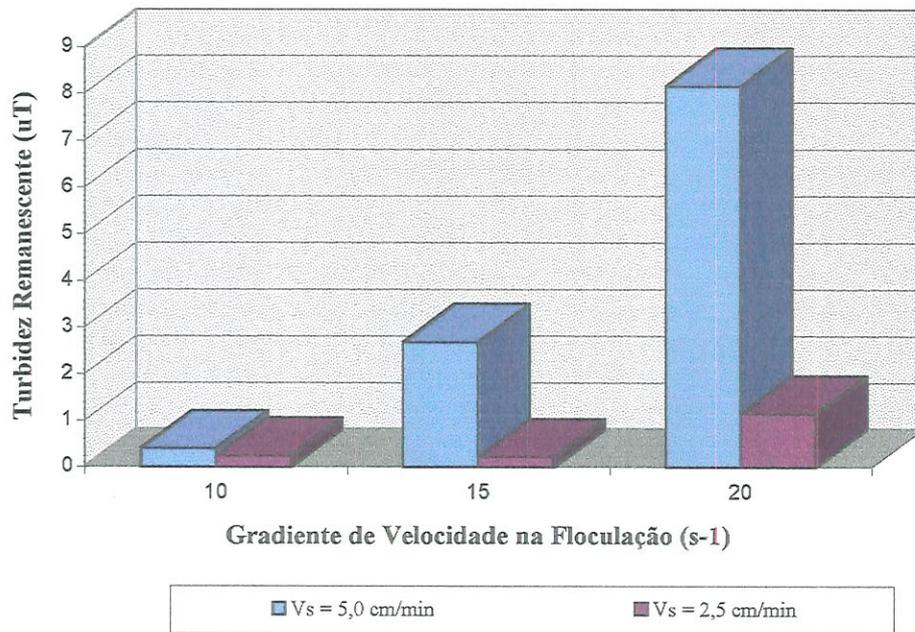


Figura E-11 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 27,5$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.

Fonte: Tabela E-1.

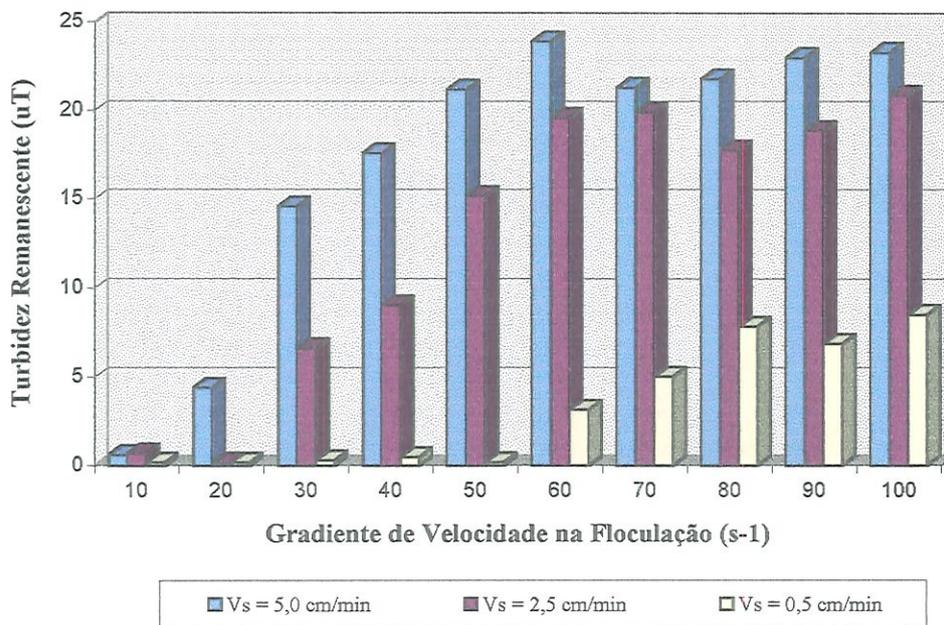


Figura E-12 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 30$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.

Fonte: Tabela E-1.

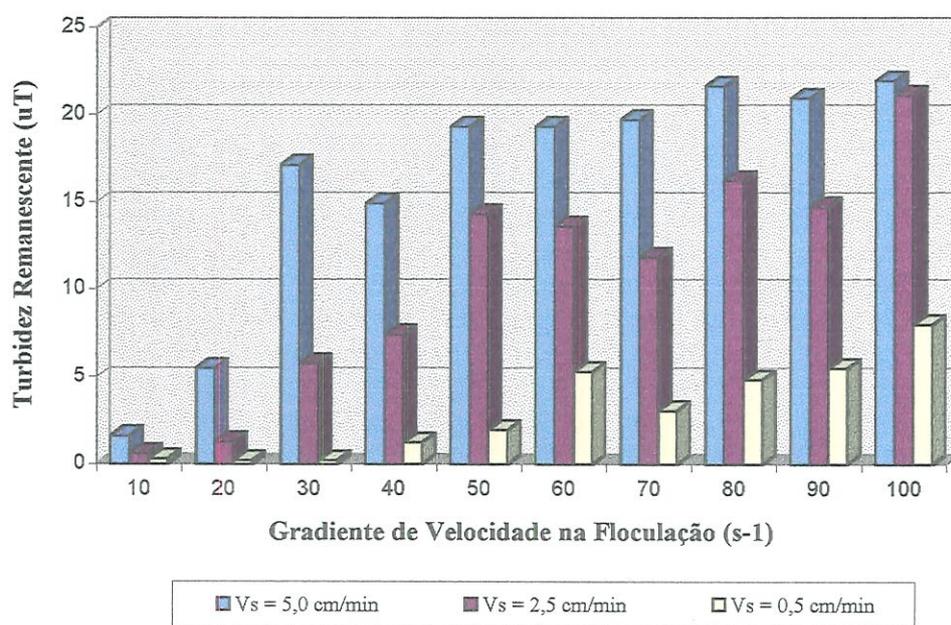


Figura E-13 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; T_f = 35min; T_{mr} = 5s; G_{mr} = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela E-1.

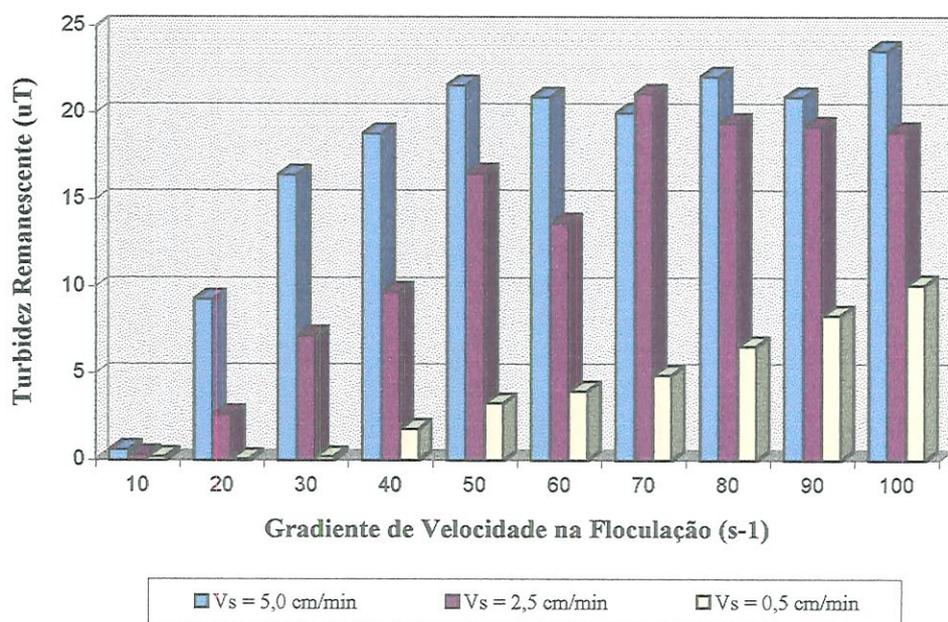


Figura E-14 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; T_f = 40min; T_{mr} = 5s; G_{mr} = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela E-1.

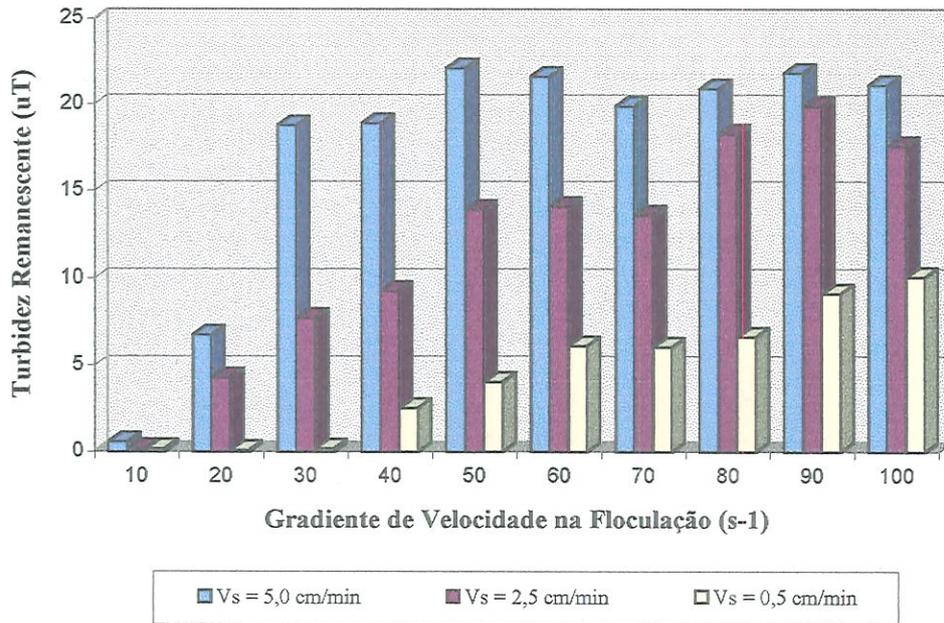


Figura E-15 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 45$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400$ s⁻¹.
 Fonte: Tabela E-1.

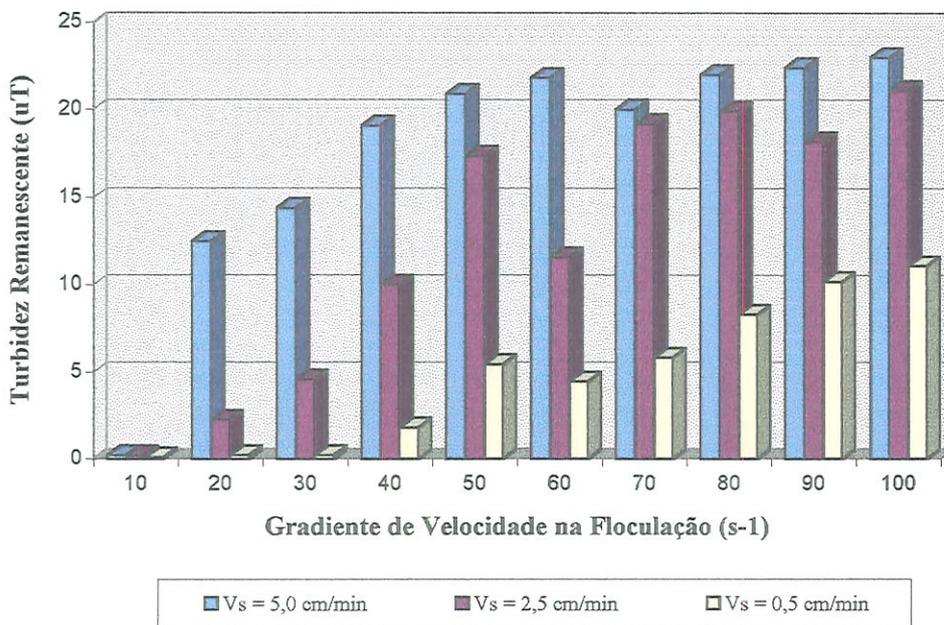


Figura E-16 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; $T_f = 60$ min; $T_{mr} = 5$ s; $G_{mr} = 400$ s⁻¹.
 Fonte: Tabela E-1.

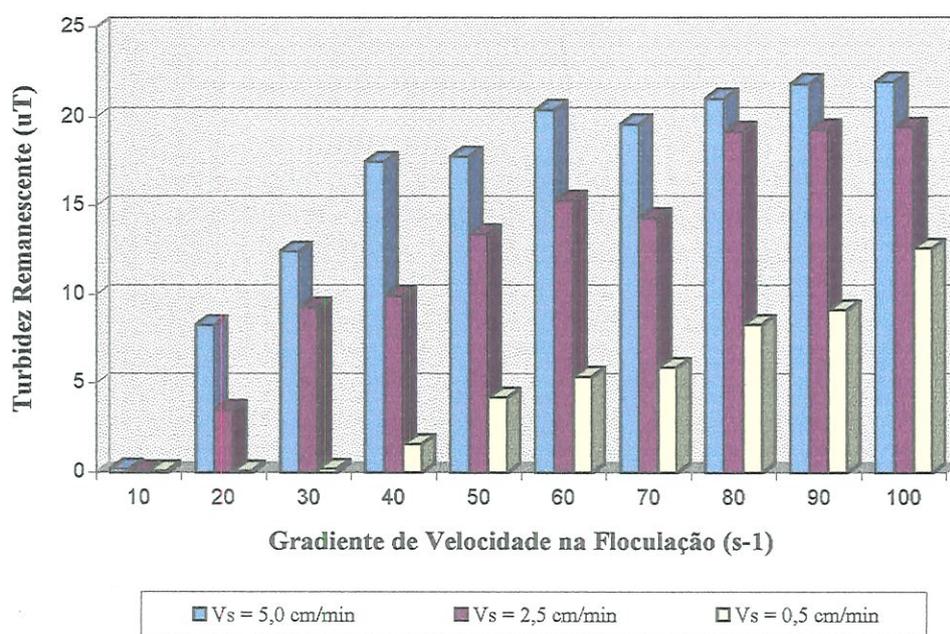


Figura E-17 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Flocação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 75min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela E-1.

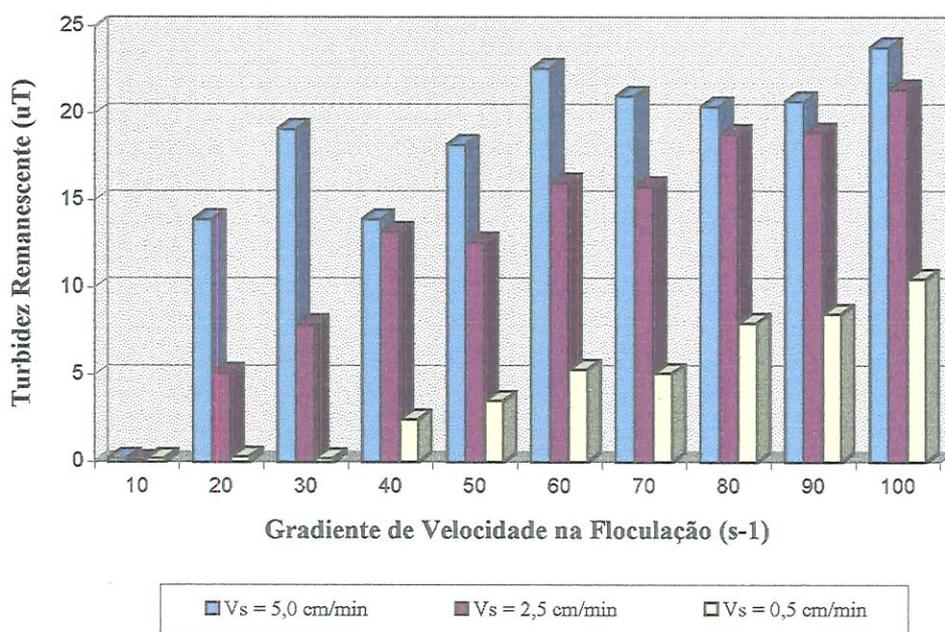


Figura E-18 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Flocação.

Coagulante = Sulfato de Alumínio; Dos. = 20mg/L; Tf = 90min; Tmr = 5s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela E-1.

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$.

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
2,5	100 ($\pm 95rpm$)	5,0	6,87	24,9	121
5	100	5,0	6,84	25,5	110
7,5	100	5,0	7,09	21,7	112
10	100	5,0	7,09	22,4	113
15	100	5,0	7,08	22,7	112
20	100	5,0	7,10	22,8	115
25	100	5,0	7,06	22,7	106
30	100	5,0	7,15	23,3	108
35	100	5,0	7,18	21,9	112
40	100	5,0	7,17	23,6	116
45	100	5,0	7,15	21,1	102
60	100	5,0	7,26	23,0	113
75	100	5,0	7,27	21,9	109
90	100	5,0	7,35	23,8	120
2,5	100	2,5	6,90	21,9	110
5	100	2,5	6,89	17,8	80
7,5	100	2,5	7,10	18,5	81
10	100	2,5	7,08	17,2	89
15	100	2,5	7,08	18,5	99
20	100	2,5	7,10	20,8	107
25	100	2,5	7,09	19,6	101
30	100	2,5	7,09	20,9	101
35	100	2,5	7,10	21,1	112
40	100	2,5	7,13	18,9	98
45	100	2,5	7,19	17,6	95
60	100	2,5	7,28	21,1	101
75	100	2,5	7,25	19,4	94
90	100	2,5	7,39	21,4	102
2,5	100	0,5	6,87	11,3	59
5	100	0,5	6,87	6,10	30
7,5	100	0,5	7,10	6,12	29
10	100	0,5	7,11	7,42	32
15	100	0,5	7,07	6,57	36
20	100	0,5	7,10	9,05	44
25	100	0,5	7,09	9,53	48
30	100	0,5	7,11	8,51	42
35	100	0,5	7,16	8,00	36
40	100	0,5	7,17	10,1	53
45	100	0,5	7,19	10,1	55

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
60	100	0,5	7,30	11,1	56
75	100	0,5	7,23	12,6	60
90	100	0,5	7,33	10,5	56
2,5	90 ($\pm 87rpm$)	5,0	6,89	20,5	121
5	90	5,0	6,88	23,9	110
7,5	90	5,0	6,94	21,5	94
10	90	5,0	6,94	24,5	123
15	90	5,0	6,90	21,6	112
20	90	5,0	6,93	-	122
25	90	5,0	6,91	21,7	110
30	90	5,0	6,97	23,0	118
35	90	5,0	6,90	20,9	103
40	90	5,0	6,89	20,9	108
45	90	5,0	6,92	21,8	111
60	90	5,0	6,94	22,4	110
75	90	5,0	6,96	21,8	105
90	90	5,0	7,01	20,7	109
2,5	90	2,5	6,74	24,2	122
5	90	2,5	6,80	15,6	66
7,5	90	2,5	6,92	14,6	71
10	90	2,5	6,90	19,2	95
15	90	2,5	6,88	19,1	99
20	90	2,5	6,96	19,9	99
25	90	2,5	6,98	18,0	89
30	90	2,5	6,95	18,9	97
35	90	2,5	6,86	14,7	70
40	90	2,5	6,86	19,2	92
45	90	2,5	6,94	19,9	101
60	90	2,5	7,00	18,2	90
75	90	2,5	6,94	19,3	94
90	90	2,5	6,99	18,9	104
2,5	90	0,5	6,79	15,4	83
5	90	0,5	6,83	5,62	22
7,5	90	0,5	6,90	4,01	21
10	90	0,5	6,92	5,28	30
15	90	0,5	6,99	5,76	30
20	90	0,5	6,96	8,13	41
25	90	0,5	6,93	7,86	38
30	90	0,5	7,00	6,88	35
35	90	0,5	6,89	5,52	29

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
40	90	0,5	6,84	8,35	42
45	90	0,5	6,86	9,15	45
60	90	0,5	6,92	10,2	51
75	90	0,5	6,90	9,13	47
90	90	0,5	6,96	8,51	39
2,5	80 ($\pm 80rpm$)	5,0	6,56	23,2	134
5	80	5,0	6,69	25,3	130
7,5	80	5,0	6,66	20,2	113
10	80	5,0	6,75	21,6	114
15	80	5,0	6,81	21,0	113
20	80	5,0	6,82	20,9	118
25	80	5,0	6,83	19,9	109
30	80	5,0	6,90	21,8	114
35	80	5,0	6,76	21,6	92
40	80	5,0	6,81	22,1	106
45	80	5,0	6,89	20,9	108
60	80	5,0	6,95	22,0	100
75	80	5,0	6,91	21,0	104
90	80	5,0	6,94	20,4	106
2,5	80	2,5	6,59	21,5	126
5	80	2,5	6,70	14,9	90
7,5	80	2,5	6,85	14,7	88
10	80	2,5	6,85	17,3	93
15	80	2,5	6,90	18,2	100
20	80	2,5	6,92	17,8	103
25	80	2,5	6,88	17,2	100
30	80	2,5	6,96	17,8	94
35	80	2,5	6,85	16,2	83
40	80	2,5	6,89	19,4	98
45	80	2,5	6,90	18,3	88
60	80	2,5	6,92	19,9	97
75	80	2,5	6,91	19,2	93
90	80	2,5	6,99	18,8	94
2,5	80	0,5	6,58	15,8	90
5	80	0,5	6,67	7,23	40
7,5	80	0,5	6,95	3,76	24
10	80	0,5	6,97	4,57	25
15	80	0,5	6,94	4,97	27
20	80	0,5	6,95	6,15	34
25	80	0,5	6,98	6,92	34
30	80	0,5	6,98	7,85	38

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: Gmr = 400s⁻¹ e Tmr = 5s. (continuação)

Tf (min)	Gf (s ⁻¹)	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
35	80	0,5	6,91	4,86	25
40	80	0,5	6,92	6,58	42
45	80	0,5	6,88	6,63	37
60	80	0,5	6,89	8,29	39
75	80	0,5	6,95	8,30	43
90	80	0,5	6,96	7,98	40
2,5	70 (±75rpm)	5,0	6,58	23,4	127
5	70	5,0	6,58	20,8	119
7,5	70	5,0	6,84	20,8	109
10	70	5,0	6,86	23,5	113
15	70	5,0	6,86	20,8	114
20	70	5,0	6,89	22,9	114
25	70	5,0	6,92	21,2	112
30	70	5,0	6,93	21,3	116
35	70	5,0	7,01	19,7	103
40	70	5,0	6,97	20,0	100
45	70	5,0	6,99	19,9	106
60	70	5,0	7,03	20,0	103
75	70	5,0	7,04	19,6	104
90	70	5,0	7,07	21,0	106
2,5	70	2,5	6,52	25,7	135
5	70	2,5	6,67	14,9	86
7,5	70	2,5	6,85	12,3	57
10	70	2,5	6,85	12,6	63
15	70	2,5	6,83	18,5	86
20	70	2,5	6,89	18,8	98
25	70	2,5	6,94	17,9	87
30	70	2,5	6,95	19,9	97
35	70	2,5	7,06	11,8	59
40	70	2,5	6,98	21,1	102
45	70	2,5	6,99	13,6	69
60	70	2,5	7,05	19,2	92
75	70	2,5	7,06	14,3	73
90	70	2,5	7,10	15,8	83
2,5	70	0,5	6,81	15,2	84
5	70	0,5	6,79	4,34	24
7,5	70	0,5	6,86	2,92	15
10	70	0,5	6,89	4,12	18
15	70	0,5	6,90	4,62	21
20	70	0,5	6,93	4,19	20
25	70	0,5	6,95	5,11	24

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
30	70	0,5	6,89	5,03	24
35	70	0,5	7,04	3,08	17
40	70	0,5	7,03	4,93	25
45	70	0,5	7,04	6,07	29
60	70	0,5	7,09	5,85	26
75	70	0,5	7,12	5,89	29
90	70	0,5	7,18	5,10	27
2,5	60 ($\pm 67rpm$)	5,0	6,46	22,9	108
5	60	5,0	6,58	21,1	103
7,5	60	5,0	6,89	21,2	116
10	60	5,0	6,84	22,1	119
15	60	5,0	6,82	22,6	120
20	60	5,0	6,80	19,9	108
25	60	5,0	6,83	23,6	124
30	60	5,0	6,83	23,9	117
35	60	5,0	6,77	19,3	92
40	60	5,0	6,79	20,9	107
45	60	5,0	6,81	21,6	105
60	60	5,0	6,93	21,8	110
75	60	5,0	6,95	20,4	105
90	60	5,0	6,92	22,6	115
2,5	60	2,5	6,65	23,2	127
5	60	2,5	6,70	15,5	86
7,5	60	2,5	6,80	13,7	74
10	60	2,5	6,78	11,5	68
15	60	2,5	6,76	10,9	59
20	60	2,5	6,80	17,3	90
25	60	2,5	6,81	13,5	72
30	60	2,5	6,81	19,6	96
35	60	2,5	6,78	13,6	72
40	60	2,5	6,81	13,7	74
45	60	2,5	6,82	14,1	73
60	60	2,5	6,94	11,6	77
75	60	2,5	6,95	15,3	80
90	60	2,5	7,07	16,0	92
2,5	60	0,5	6,70	20,2	113
5	60	0,5	6,76	5,71	29
7,5	60	0,5	6,80	3,78	21
10	60	0,5	6,78	2,92	14
15	60	0,5	6,80	2,84	17

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
20	60	0,5	6,83	3,90	20
25	60	0,5	6,80	2,79	17
30	60	0,5	6,79	3,14	18
35	60	0,5	6,81	5,32	26
40	60	0,5	6,79	4,01	26
45	60	0,5	6,83	6,13	31
60	60	0,5	6,98	4,48	28
75	60	0,5	6,94	5,37	27
90	60	0,5	7,04	5,32	27
2,5	50 ($\pm 60rpm$)	5,0	6,50	24,1	110
5	50	5,0	6,63	24,1	107
7,5	50	5,0	6,75	18,0	86
10	50	5,0	6,76	20,5	97
15	50	5,0	6,94	20,7	93
20	50	5,0	6,90	18,5	84
25	50	5,0	6,94	19,3	96
30	50	5,0	6,88	21,2	84
35	50	5,0	6,72	19,3	88
40	50	5,0	6,81	21,6	99
45	50	5,0	6,85	22,1	109
60	50	5,0	7,01	20,9	95
75	50	5,0	6,97	17,8	76
90	50	5,0	7,02	18,2	95
2,5	50	2,5	6,57	24,3	125
5	50	2,5	6,65	13,5	71
7,5	50	2,5	6,86	10,5	50
10	50	2,5	6,84	7,57	33
15	50	2,5	6,85	11,6	46
20	50	2,5	6,83	9,28	41
25	50	2,5	6,85	13,5	52
30	50	2,5	6,87	15,2	56
35	50	2,5	6,75	14,3	65
40	50	2,5	6,80	16,5	74
45	50	2,5	7,01	13,9	64
60	50	2,5	7,01	17,4	66
75	50	2,5	7,01	13,4	64
90	50	2,5	6,99	12,6	61
2,5	50	0,5	6,67	21,5	111
5	50	0,5	6,71	5,90	22
7,5	50	0,5	6,87	2,26	4

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
10	50	0,5	6,89	2,43	7
15	50	0,5	6,90	1,87	6
20	50	0,5	6,89	3,22	11
25	50	0,5	6,90	0,3	0
30	50	0,5	6,92	0,2	0
35	50	0,5	6,94	1,96	2
40	50	0,5	6,95	3,30	6
45	50	0,5	6,94	4,04	11
60	50	0,5	7,00	5,46	14
75	50	0,5	6,87	4,19	10
90	50	0,5	7,00	3,51	7
2,5	40 ($\pm 52rpm$)	5,0	6,68	23,9	148
5	40	5,0	6,62	21,8	123
7,5	40	5,0	6,87	14,8	84
10	40	5,0	6,77	18,8	96
15	40	5,0	6,87	16,2	73
20	40	5,0	6,86	20,6	89
25	40	5,0	6,85	18,0	95
30	40	5,0	6,85	17,6	78
35	40	5,0	6,65	14,9	80
40	40	5,0	6,71	18,8	94
45	40	5,0	6,76	18,9	95
60	40	5,0	6,88	19,1	100
75	40	5,0	6,77	17,5	90
90	40	5,0	6,87	13,9	78
2,5	40	2,5	6,75	23,8	136
5	40	2,5	6,72	18,6	102
7,5	40	2,5	6,87	7,65	47
10	40	2,5	6,84	6,71	41
15	40	2,5	6,79	3,86	27
20	40	2,5	6,84	5,60	35
25	40	2,5	6,90	9,23	50
30	40	2,5	6,86	9,04	51
35	40	2,5	6,67	7,47	42
40	40	2,5	6,81	9,71	46
45	40	2,5	6,79	9,30	48
60	40	2,5	6,91	10,0	47
75	40	2,5	6,83	9,90	53
90	40	2,5	6,86	13,2	75

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
2,5	40	0,5	6,57	22,8	113
5	40	0,5	6,62	5,96	33
7,5	40	0,5	6,87	2,45	16
10	40	0,5	6,92	0,5	9
15	40	0,5	6,88	0,4	6
20	40	0,5	6,91	0,6	8
25	40	0,5	6,91	0,5	7
30	40	0,5	6,90	0,5	9
35	40	0,5	6,76	1,25	6
40	40	0,5	6,76	1,79	8
45	40	0,5	6,86	2,55	11
60	40	0,5	6,91	1,81	8
75	40	0,5	6,83	1,58	9
90	40	0,5	6,80	2,43	13
2,5	30 ($\pm 42rpm$)	5,0	6,87	24,5	135
5	30	5,0	6,75	21,8	138
7,5	30	5,0	6,66	16,8	67
10	30	5,0	6,84	13,4	68
12,5	30	5,0	6,86	7,58	53
15	30	5,0	6,85	16,9	75
17,5	30	5,0	6,88	12,5	75
20	30	5,0	6,84	10,5	47
22,5	30	5,0	6,84	13,0	72
25	30	5,0	6,80	9,69	43
27,5	30	5,0	6,83	11,1	62
30	30	5,0	6,80	14,6	66
35	30	5,0	6,79	17,1	79
40	30	5,0	6,75	16,4	82
45	30	5,0	6,74	18,8	88
60	30	5,0	6,87	14,4	77
75	30	5,0	6,75	12,4	52
90	30	5,0	6,92	19,1	92
2,5	30	2,5	6,78	24,9	138
5	30	2,5	6,72	19,7	110
7,5	30	2,5	6,77	10,9	56
10	30	2,5	6,74	4,25	20
12,5	30	2,5	6,82	3,58	26
15	30	2,5	6,79	3,48	14
17,5	30	2,5	6,85	5,88	36
20	30	2,5	6,83	4,62	18
22,5	30	2,5	6,84	5,43	26

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
25	30	2,5	6,82	3,38	12
27,5	30	2,5	6,86	6,88	39
30	30	2,5	6,83	6,63	33
35	30	2,5	6,72	5,79	22
40	30	2,5	6,75	7,18	28
45	30	2,5	6,80	7,74	35
60	30	2,5	6,89	4,58	16
75	30	2,5	6,75	9,29	41
90	30	2,5	7,08	7,91	39
2,5	30	0,5	6,70	23,3	135
5	30	0,5	6,70	8,49	49
7,5	30	0,5	6,80	3,38	16
10	30	0,5	6,79	1,32	5
15	30	0,5	6,81	0,5	1
20	30	0,5	6,85	0,6	0
25	30	0,5	6,87	0,2	0
30	30	0,5	6,79	0,3	0
35	30	0,5	6,74	0,2	1
40	30	0,5	6,75	0,2	1
45	30	0,5	6,85	0,2	0
60	30	0,5	6,82	0,2	0
75	30	0,5	6,82	0,2	0
90	30	0,5	7,05	0,2	2
2,5	20 ($\pm 35rpm$)	5,0	6,85	26,8	142
5	20	5,0	6,68	25,6	134
7,5	20	5,0	6,82	18,8	104
10	20	5,0	6,82	11,5	62
12,5	20	5,0	6,87	8,20	42
15	20	5,0	6,79	8,54	48
17,5	20	5,0	6,78	6,54	37
20	20	5,0	6,76	8,19	49
22,5	20	5,0	6,79	8,01	48
25	20	5,0	6,81	5,87	33
27,5	20	5,0	6,82	8,16	45
30	20	5,0	6,80	4,40	22
35	20	5,0	6,85	5,53	25
40	20	5,0	6,81	9,29	44
45	20	5,0	6,82	6,76	38
60	20	5,0	6,83	12,5	52
75	20	5,0	6,74	8,28	45
90	20	5,0	6,81	13,9	66

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
2,5	20	2,5	6,76	25,2	148
5	20	2,5	6,66	21,9	120
7,5	20	2,5	6,75	12,1	65
10	20	2,5	6,74	3,64	25
12,5	20	2,5	6,91	3,05	21
15	20	2,5	6,77	1,82	10
17,5	20	2,5	6,93	1,98	11
20	20	2,5	6,79	1,61	10
22,5	20	2,5	6,90	3,04	19
25	20	2,5	6,76	0,2	8
27,5	20	2,5	6,91	1,15	7
30	20	2,5	6,76	0,2	5
35	20	2,5	6,82	1,29	4
40	20	2,5	6,84	2,63	9
45	20	2,5	6,85	4,28	17
60	20	2,5	6,87	2,24	10
75	20	2,5	6,74	3,48	20
90	20	2,5	6,82	5,12	17
2,5	20	0,5	6,64	24,6	138
5	20	0,5	6,64	12,1	73
7,5	20	0,5	6,80	4,06	26
10	20	0,5	6,81	1,57	11
15	20	0,5	6,76	0,4	6
20	20	0,5	6,79	0,2	3
25	20	0,5	6,81	0,4	3
30	20	0,5	6,71	0,2	1
35	20	0,5	6,80	0,2	2
40	20	0,5	6,80	0,1	1
45	20	0,5	6,79	0,1	1
60	20	0,5	6,83	0,2	2
75	20	0,5	6,81	0,1	0
90	20	0,5	6,80	0,3	3
2,5	10 ($\pm 22rpm$)	5,0	6,62	23,3	125
5	10	5,0	6,54	21,6	124
7,5	10	5,0	6,87	23,9	125
10	10	5,0	6,80	18,5	105
12,5	10	5,0	6,99	7,33	47
15	10	5,0	6,75	6,24	35
17,5	10	5,0	6,99	2,97	17
20	10	5,0	6,74	3,47	20
22,5	10	5,0	6,95	2,31	13
25	10	5,0	6,74	1,86	12

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
27,5	10	5,0	6,97	0,40	6
30	10	5,0	6,74	0,6	9
35	10	5,0	6,65	1,62	10
40	10	5,0	6,53	0,6	7
45	10	5,0	6,63	0,6	7
60	10	5,0	6,69	0,2	3
75	10	5,0	6,65	0,2	3
90	10	5,0	6,67	0,2	3
2,5	10	2,5	6,51	21,3	129
5	10	2,5	6,58	21,7	120
7,5	10	2,5	6,77	21,2	119
10	10	2,5	6,74	9,33	52
12,5	10	2,5	6,94	5,12	31
15	10	2,5	6,78	2,61	17
17,5	10	2,5	6,94	2,31	12
20	10	2,5	6,75	1,69	12
22,5	10	2,5	6,95	0,49	6
25	10	2,5	6,74	0,5	8
27,5	10	2,5	6,94	0,25	2
30	10	2,5	6,76	0,7	8
35	10	2,5	6,60	0,6	8
40	10	2,5	6,57	0,3	4
45	10	2,5	6,66	0,2	3
60	10	2,5	6,65	0,2	3
75	10	2,5	6,64	0,1	2
90	10	2,5	6,66	0,1	2
2,5	10	0,5	6,63	22,5	129
5	10	0,5	6,64	18,5	116
7,5	10	0,5	6,72	12,4	71
10	10	0,5	6,72	3,58	22
15	10	0,5	6,75	1,74	12
20	10	0,5	6,71	0,5	8
25	10	0,5	6,72	0,4	6
30	10	0,5	6,73	0,2	5
35	10	0,5	6,67	0,3	6
40	10	0,5	6,63	0,2	3
45	10	0,5	6,59	0,2	4
60	10	0,5	6,63	0,1	2
75	10	0,5	6,66	0,1	2
90	10	0,5	6,72	0,2	2

Tabela E-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
12,5	15 ($\pm 25rpm$)	5,0	6,89	4,67	28
17,5	15	5,0	6,89	3,16	17
22,5	15	5,0	6,86	3,14	15
27,5	15	5,0	6,86	2,69	12
12,5	15	2,5	6,89	3,56	22
17,5	15	2,5	6,88	1,54	7
22,5	15	2,5	6,86	0,30	5
27,5	15	2,5	6,86	0,22	1
7,5	25 ($\pm 38rpm$)	5,0	6,58	18,0	91
10,0	25	5,0	6,59	10,4	55
12,5	25	5,0	6,68	11,0	58
15,0	25	5,0	6,70	10,6	51
17,5	25	5,0	6,74	10,6	51
20,0	25	5,0	6,75	19,1	91
7,5	25	2,5	6,81	8,95	47
10,0	25	2,5	6,81	6,87	36
12,5	25	2,5	6,83	5,24	23
15,0	25	2,5	6,81	3,18	18
17,5	25	2,5	6,80	5,83	24
20,0	25	2,5	6,78	3,84	16
7,5	35 ($\pm 47rpm$)	5,0	6,74	12,8	82
7,5	35	2,5	6,72	9,74	58
7,5	45 ($\pm 55rpm$)	5,0	6,85	18,1	100
7,5	45	2,5	6,81	4,68	35
5,0	55 ($\pm 65rpm$)	5,0	6,75	21,1	119
5,0	55	2,5	6,75	13,6	85

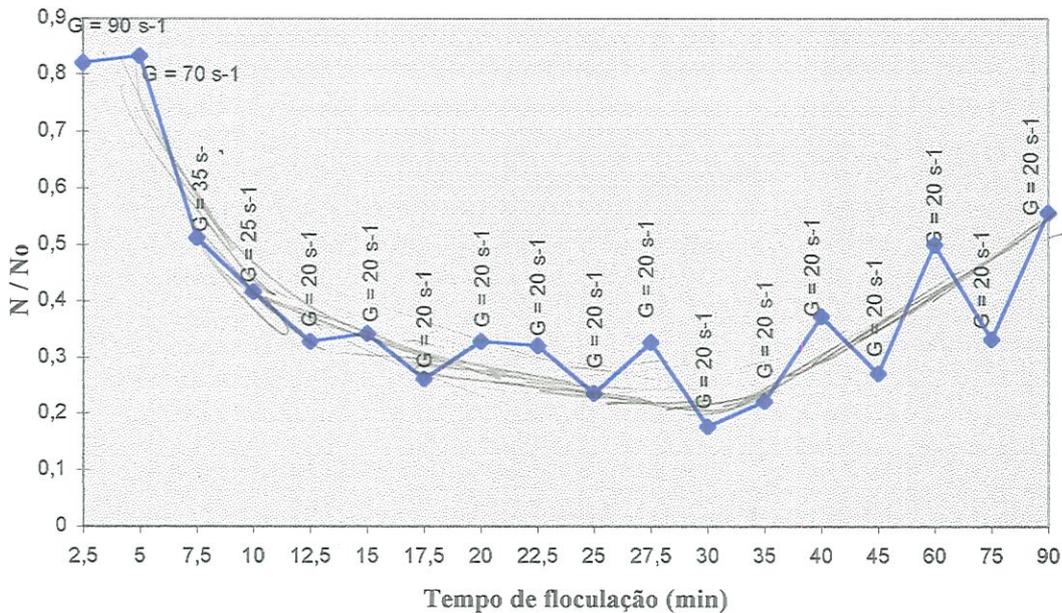


Figura E-19 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f).

Coagulante = Sulfato de Alumínio (20mg/L); $T_{mr} = 5s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 5,0cm/min$.

Fonte: Tabela E-2.

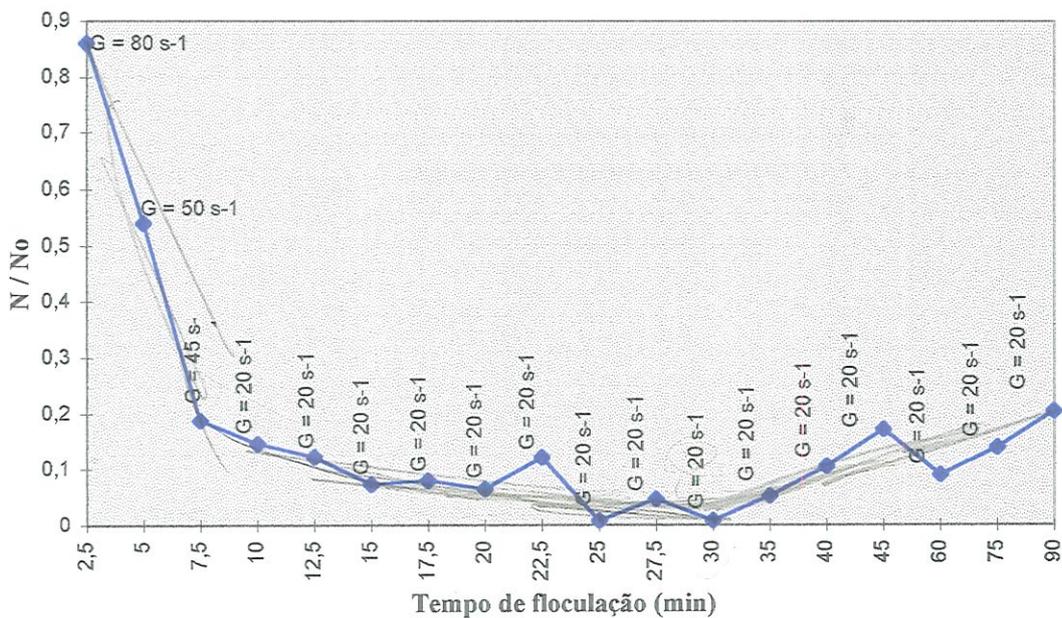


Figura E-20 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f).

Coagulante = Sulfato de Alumínio (20mg/L); $T_{mr} = 5s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 2,5cm/min$.

Fonte: Tabela E-2.

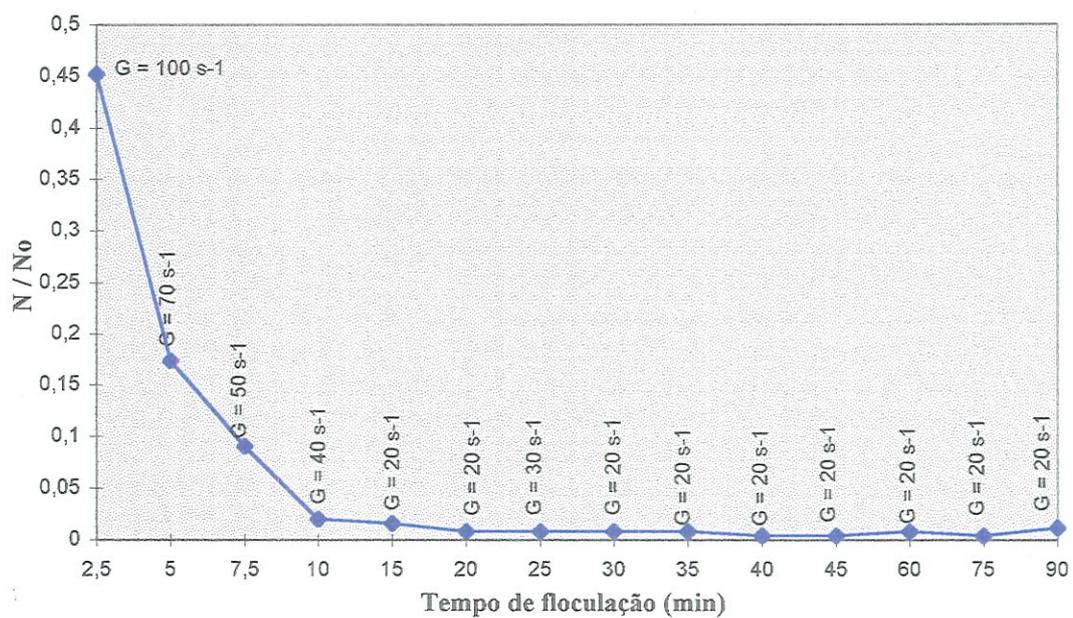


Figura E-21 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f).

Coagulante = Sulfato de Alumínio (20mg/L); $T_{mr} = 5s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 0,5cm/min$.

Fonte: Tabela E-2.



Tabela E-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação- floculação- sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L e os parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$.

Vs (cm/min)	Tf (min)	Gf (s^{-1})	Trem (uT)	N/No
5,0	2,5	90	20,5	0,820
5,0	5,0	70	20,8	0,832
5,0	7,5	35	12,8	0,512
5,0	10,0	25	10,4	0,416
5,0	12,5	20	8,20	0,328
5,0	15,0	20	8,54	0,342
5,0	17,5	20	6,54	0,262
5,0	20,0	20	8,19	0,328
5,0	22,5	20	8,01	0,320
5,0	25,0	20	5,87	0,235
5,0	27,5	20	8,16	0,326
5,0	30,0	20	4,40	0,176
5,0	35,0	20	5,53	0,221
5,0	40,0	20	9,29	0,372
5,0	45,0	20	6,76	0,270
5,0	60,0	20	12,5	0,500
5,0	75,0	20	8,28	0,331
5,0	90,0	20	13,9	0,557
2,5	2,5	80	21,5	0,860
2,5	5,0	50	13,5	0,540
2,5	7,5	45	4,68	0,187
2,5	10,0	20	3,64	0,146
2,5	12,5	20	3,05	0,122
2,5	15,0	20	1,82	0,073
2,5	17,5	20	1,98	0,079
2,5	20,0	20	1,61	0,064
2,5	22,5	20	3,04	0,122
2,5	25,0	20	0,20	0,008
2,5	27,5	20	1,15	0,046
2,5	30,0	20	0,20	0,008
2,5	35,0	20	1,29	0,052
2,5	40,0	20	2,63	0,105
2,5	45,0	20	4,28	0,171
2,5	60,0	20	2,24	0,090
2,5	75,0	20	3,48	0,139
2,5	90,0	20	5,12	0,205
0,5	2,5	100	11,3	0,452
0,5	5,0	70	4,34	0,174
0,5	7,5	50	2,26	0,090
0,5	10,0	40	0,50	0,020
0,5	15,0	20	0,40	0,016
0,5	20,0	20	0,20	0,008

Tabela E-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação-floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L e os parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 5s$. (continuação)

Vs (cm/min)	Tf (min)	Gf (s^{-1})	Trem (uT)	N/No
0,5	25,0	30	0,20	0,008
0,5	30,0	20	0,20	0,008
0,5	35,0	20	0,20	0,008
0,5	40,0	20	0,10	0,004
0,5	45,0	20	0,10	0,004
0,5	60,0	20	0,20	0,008
0,5	75,0	20	0,10	0,004
0,5	90,0	20	0,30	0,012



ANEXO F
Otimização dos Parâmetro de Floculação
Cloreto Férrico



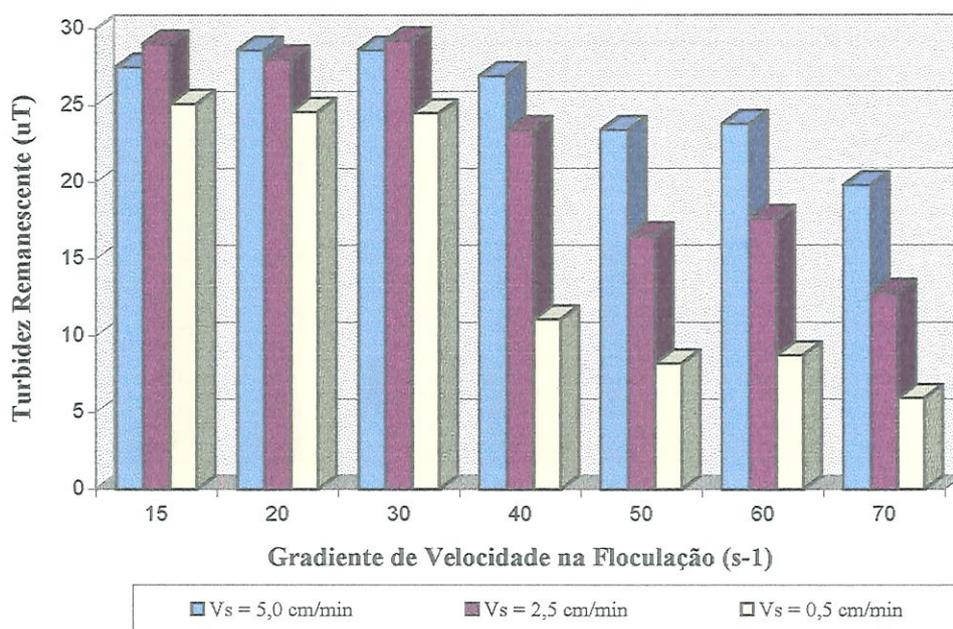


Figura F-1 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 2,5min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

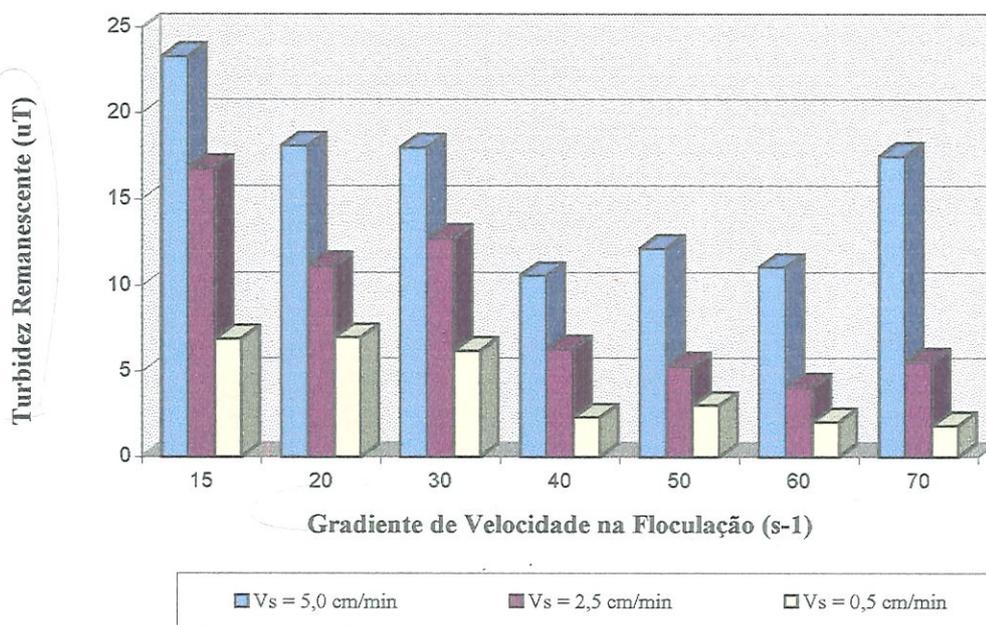


Figura F-2 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 5,0min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

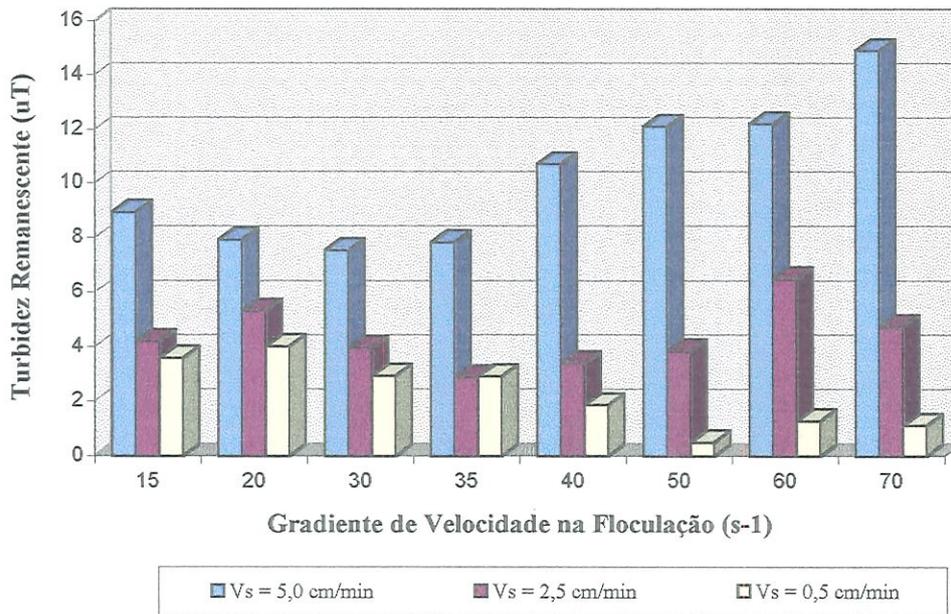


Figura F-3 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 7,5$ min; $T_{mr} = 15$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.

Fonte: Tabela F-1.

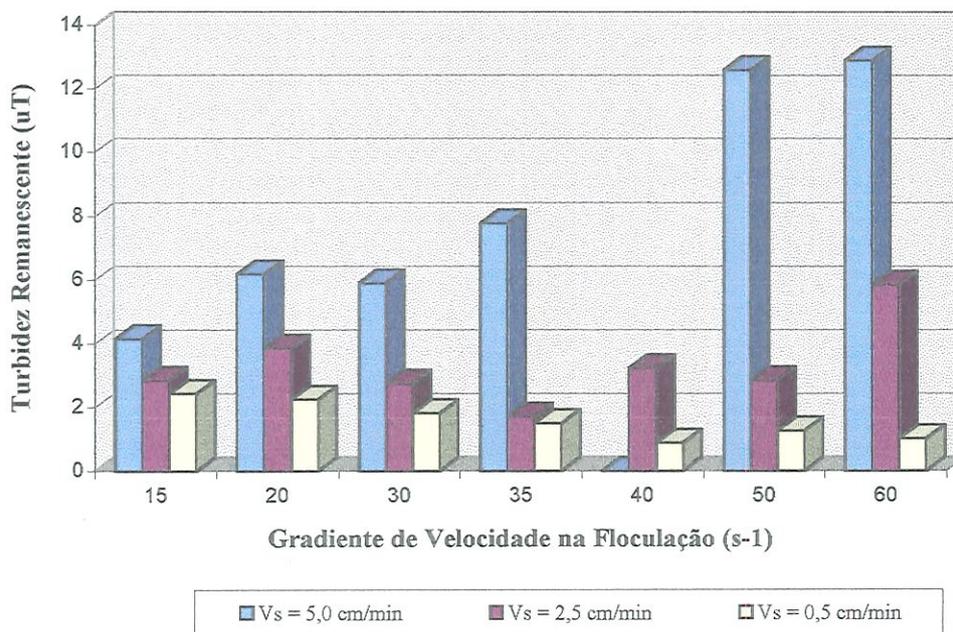


Figura F-4 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 10$ min; $T_{mr} = 15$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.

Fonte: Tabela F-1.

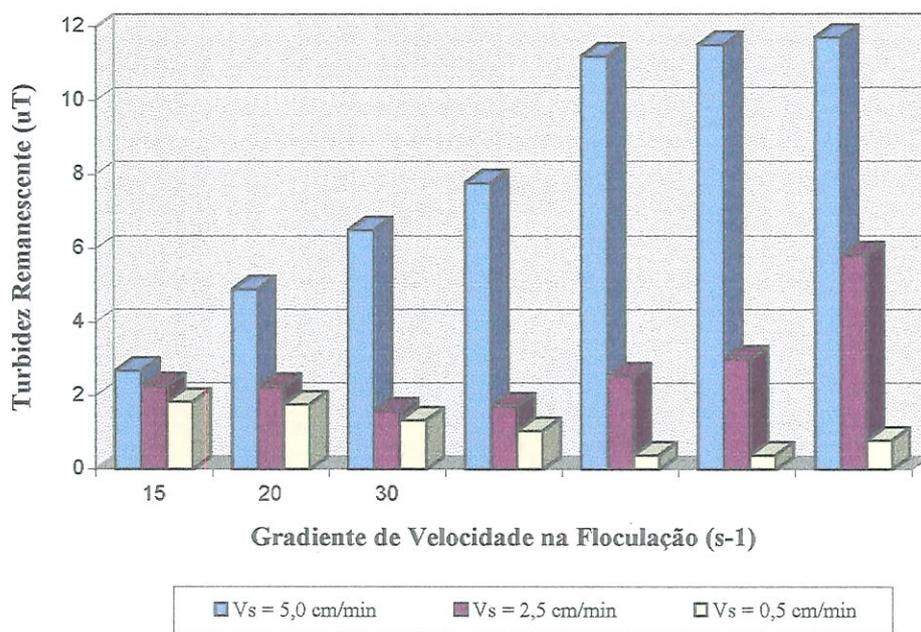


Figura F-5 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 12,5min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.
Fonte: Tabela F-1.

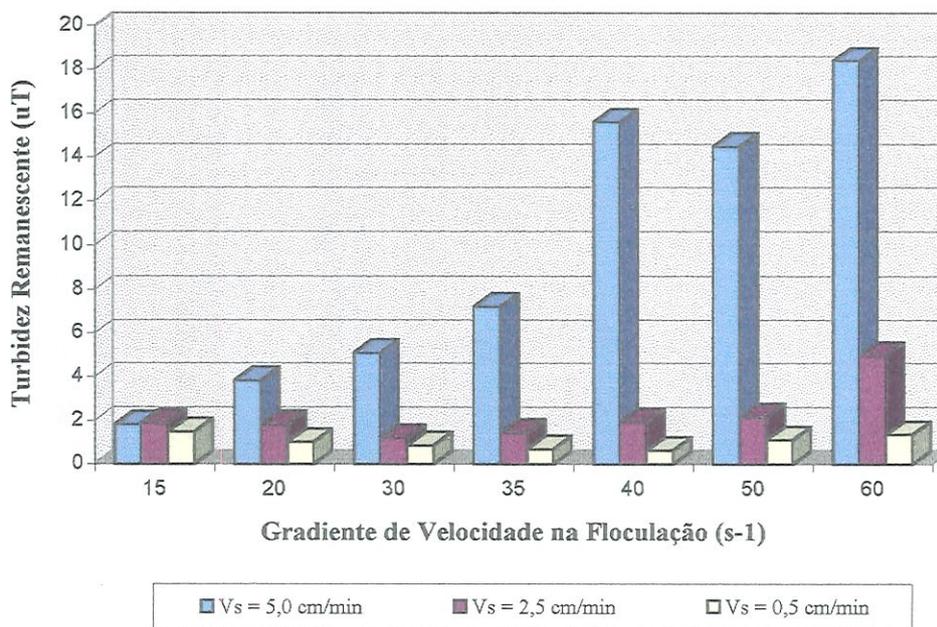


Figura F-6 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 15min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.
Fonte: Tabela F-1.

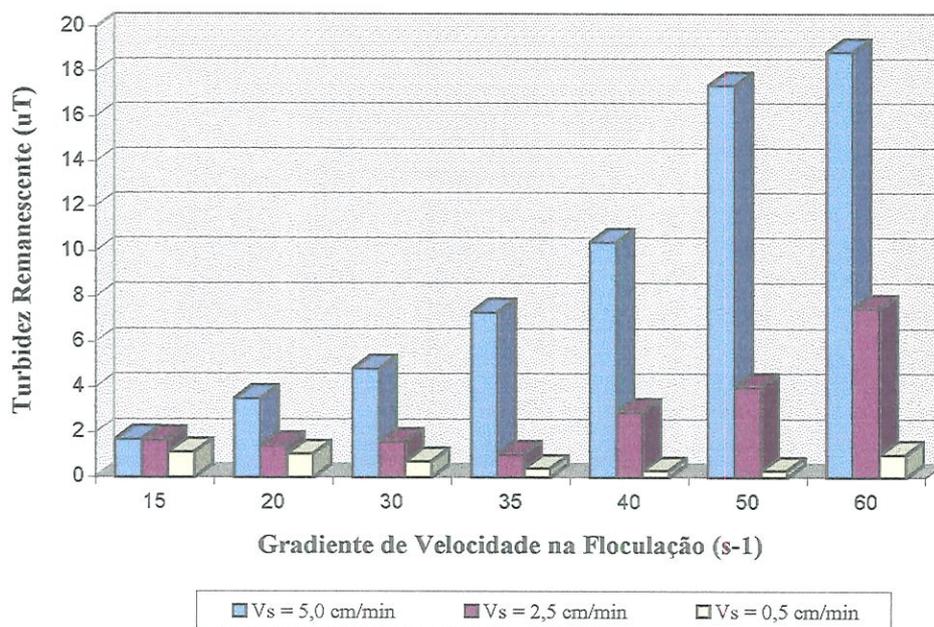


Figura F-7 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 17,5$ min; $T_{mr} = 15$ s; $G_{mr} = 400$ s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

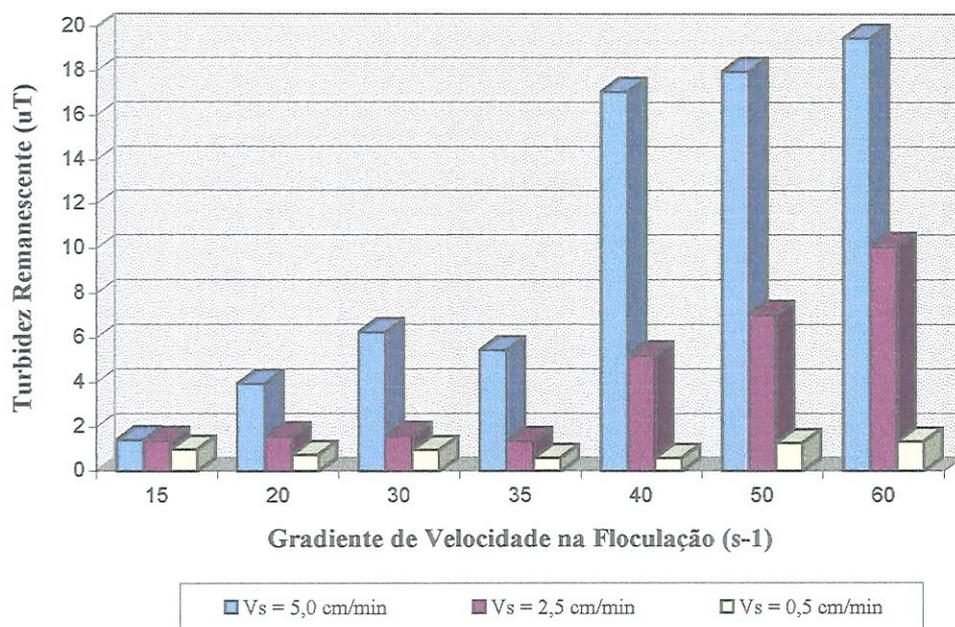


Figura F-8 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 20$ min; $T_{mr} = 15$ s; $G_{mr} = 400$ s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

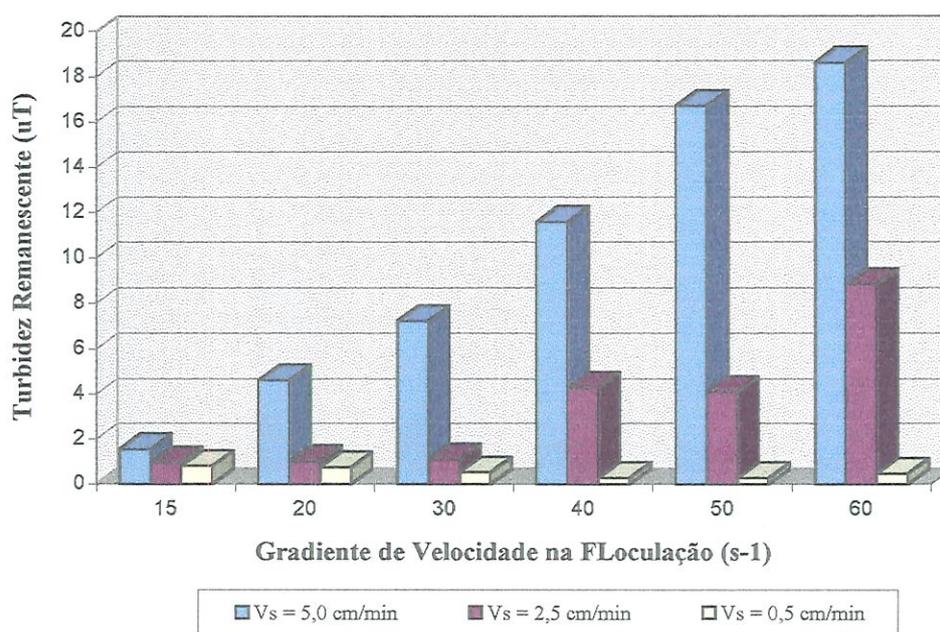


Figura F-9 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 22,5$ min; $T_{mr} = 15$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.
 Fonte: Tabela F-1.

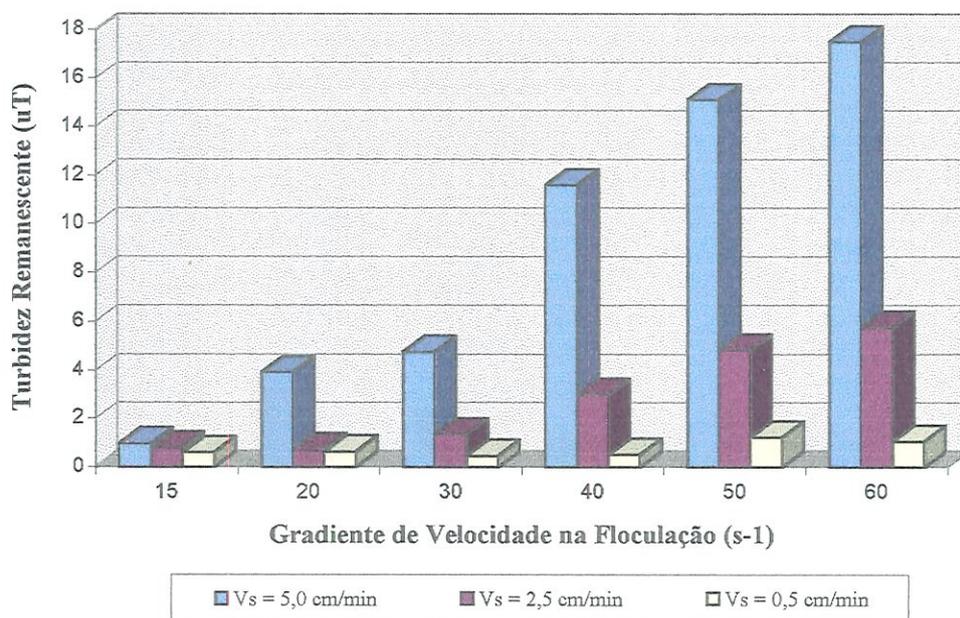


Figura F-10 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; $T_f = 25$ min; $T_{mr} = 15$ s; $G_{mr} = 400s^{-1}$.
 Fonte: Tabela F-1.

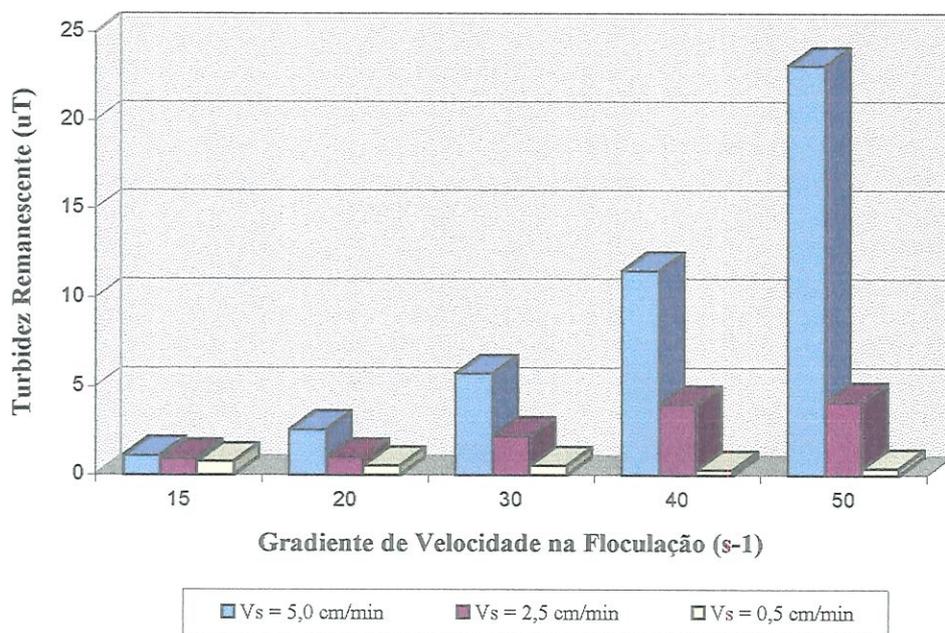


Figura F-11 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Flocação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 27,5min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

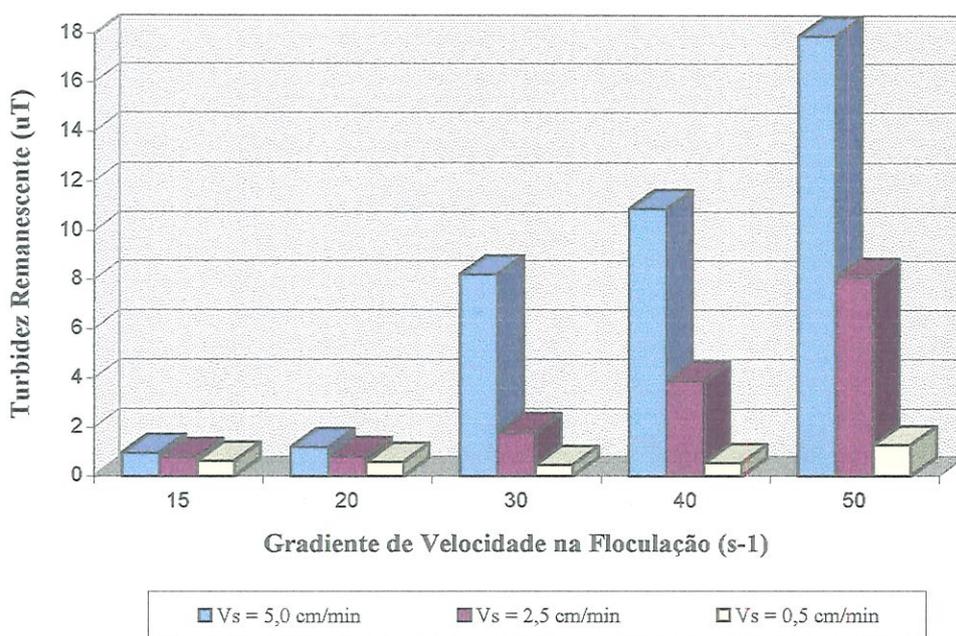


Figura F-12 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Flocação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 30min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

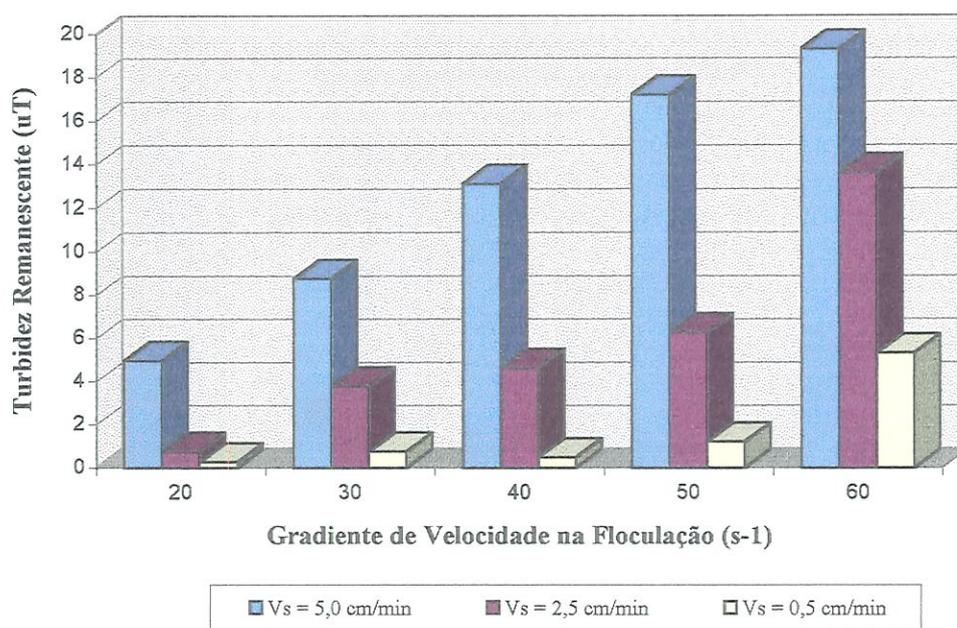


Figura F-13 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 35min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

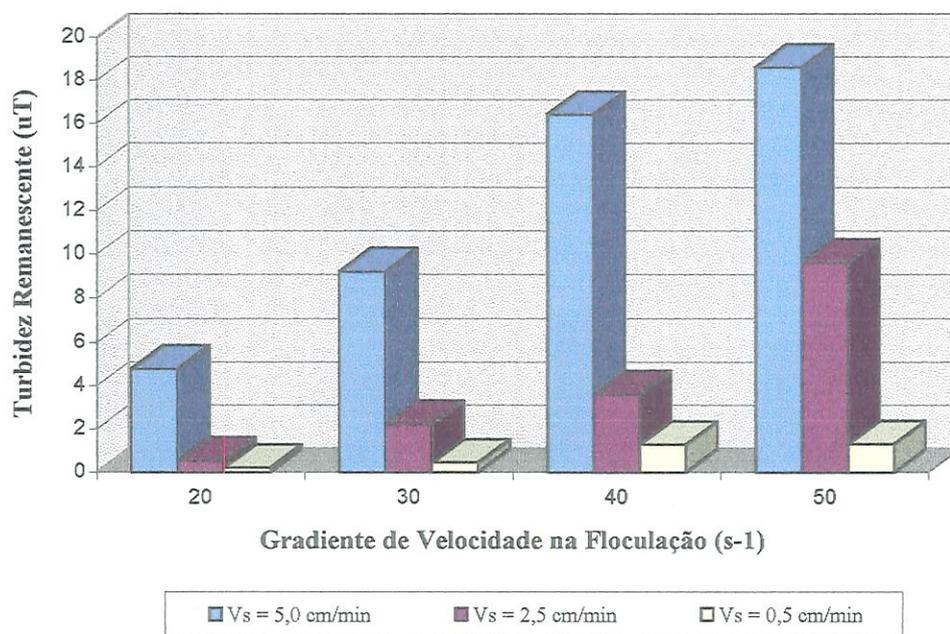


Figura F-14 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.

Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 40min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.

Fonte: Tabela F-1.

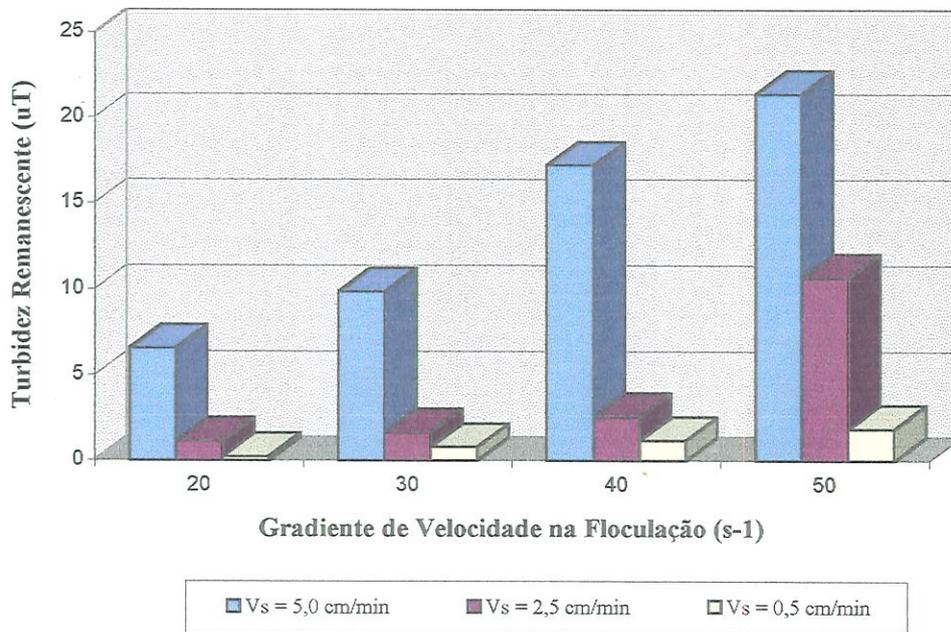


Figura F-15 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 45min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.
 Fonte: Tabela F-1.

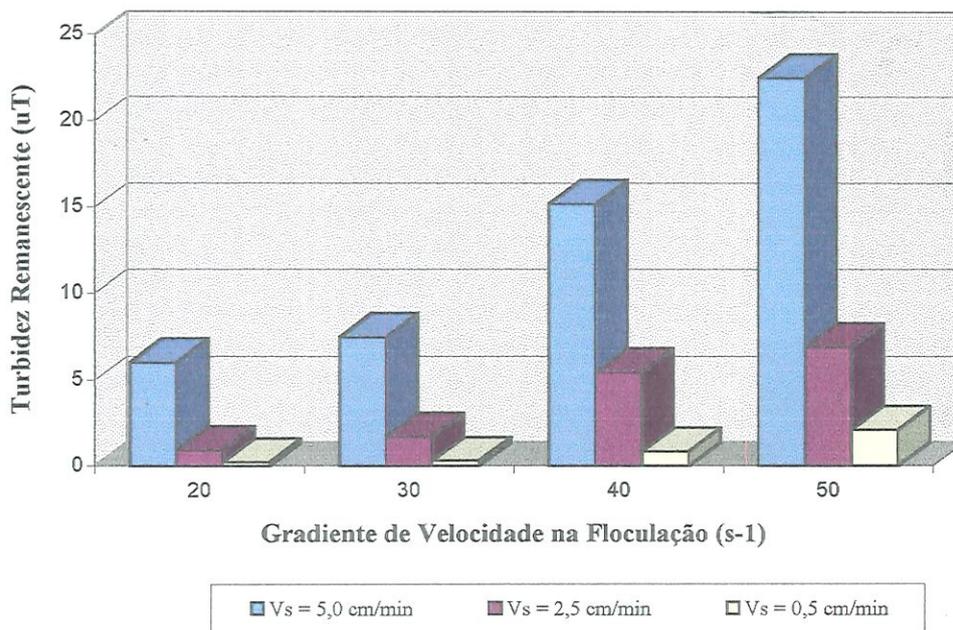


Figura F-16 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação.
 Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 60min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹.
 Fonte: Tabela F-1.

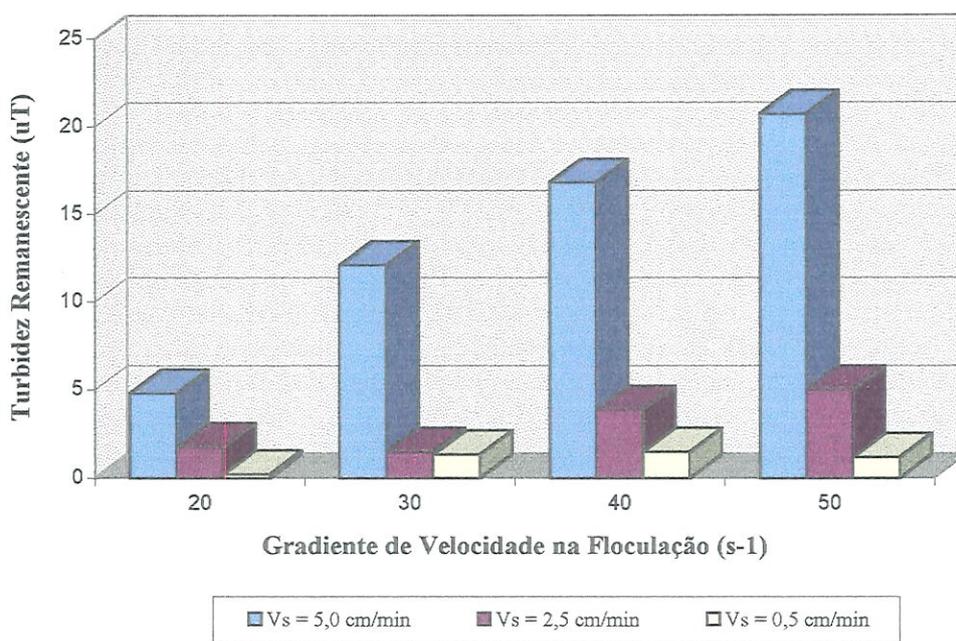


Figura F-17 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 75min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹. Fonte: Tabela F-1.

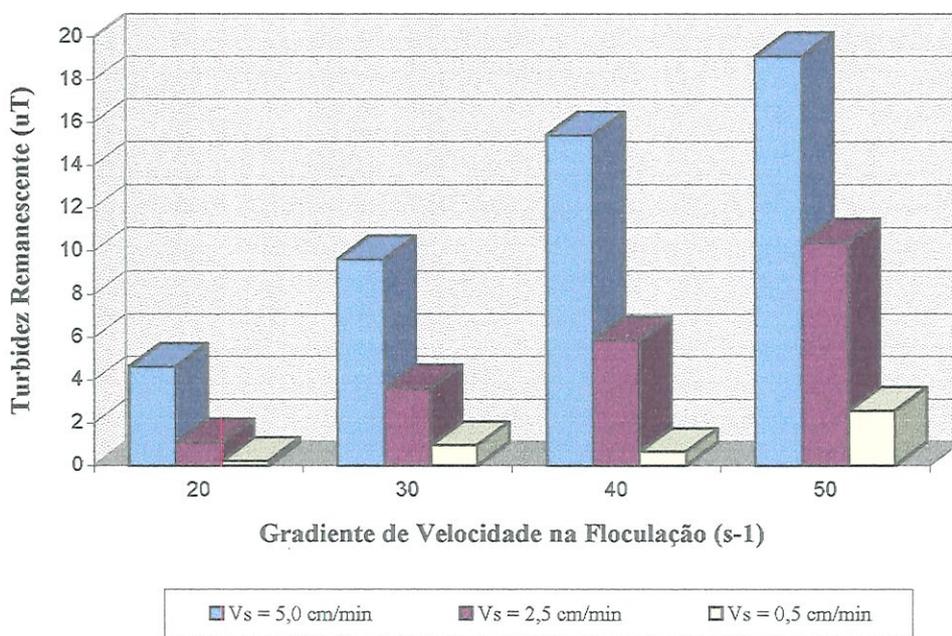


Figura F-18 - Resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação. Coagulante = Cloreto Férrico; Dosagem = 25mg/L; Tf = 90min; Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹. Fonte: Tabela F-1.

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$.

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
2,5	15 ($\pm 25rpm$)	5,0	6,70	27,5	201
5	15	5,0	6,59	23,3	154
7,5	15	5,0	6,67	8,95	71
10	15	5,0	6,56	4,15	38
12,5	15	5,0	6,58	2,69	31
15	15	5,0	6,52	1,82	18
17,5	15	5,0	6,54	1,70	20
20	15	5,0	6,51	1,42	15
22,5	15	5,0	6,50	1,55	17
25	15	5,0	6,51	0,97	9
27,5	15	5,0	6,52	1,11	13
30	15	5,0	6,48	0,95	9
2,5	15	2,5	6,64	29,0	224
5	15	2,5	6,51	16,8	131
7,5	15	2,5	6,61	4,21	47
10	15	2,5	6,50	2,85	30
12,5	15	2,5	6,58	2,28	27
15	15	2,5	6,48	1,90	21
17,5	15	2,5	6,55	1,68	19
20	15	2,5	6,51	1,39	12
22,5	15	2,5	6,51	0,98	14
25	15	2,5	6,50	0,80	7
27,5	15	2,5	6,55	0,96	11
30	15	2,5	6,48	0,78	7
2,5	15	0,5	6,56	25,1	215
5	15	0,5	6,50	6,91	66
7,5	15	0,5	6,55	3,60	39
10	15	0,5	6,49	2,44	24
12,5	15	0,5	6,51	1,85	25
15	15	0,5	6,49	1,49	15
17,5	15	0,5	6,54	1,14	17
20	15	0,5	6,50	1,00	9
22,5	15	0,5	6,51	0,82	11
25	15	0,5	6,46	0,60	7
27,5	15	0,5	6,50	0,77	10
30	15	0,5	6,44	0,64	8
2,5	20 ($\pm 35rpm$)	5,0	6,47	28,6	210
5	20	5,0	6,73	18,1	125
7,5	20	5,0	6,48	7,93	70
10	20	5,0	6,66	6,19	58

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
12,5	20	5,0	6,51	4,90	39
15	20	5,0	6,63	3,83	31
17,5	20	5,0	6,51	3,51	23
20	20	5,0	6,66	3,96	29
22,5	20	5,0	6,52	4,62	28
25	20	5,0	6,65	3,92	33
27,5	20	5,0	6,55	2,58	16
30	20	5,0	6,62	1,20	13
35	20	5,0	6,79	4,96	38
40	20	5,0	6,71	4,78	32
45	20	5,0	6,71	6,57	50
60	20	5,0	6,72	6,02	46
75	20	5,0	6,74	4,80	33
90	20	5,0	6,82	4,63	32
2,5	20	2,5	6,48	28,0	186
5	20	2,5	6,63	11,2	102
7,5	20	2,5	6,50	5,32	51
10	20	2,5	6,65	3,86	36
12,5	20	2,5	6,51	2,26	26
15	20	2,5	6,64	1,83	20
17,5	20	2,5	6,54	1,43	15
20	20	2,5	6,64	1,59	16
22,5	20	2,5	6,60	1,04	14
25	20	2,5	6,62	0,73	10
27,5	20	2,5	6,57	1,01	9
30	20	2,5	6,64	0,83	10
35	20	2,5	6,74	0,74	10
40	20	2,5	6,71	0,54	8
45	20	2,5	6,70	1,16	11
60	20	2,5	6,74	0,94	10
75	20	2,5	6,73	1,75	13
90	20	2,5	6,81	1,09	11
2,5	20	0,5	6,49	24,6	200
5	20	0,5	6,60	6,99	66
7,5	20	0,5	6,52	4,03	41
10	20	0,5	6,59	2,26	28
12,5	20	0,5	6,54	1,77	24
15	20	0,5	6,62	1,02	16
17,5	20	0,5	6,55	1,06	14
20	20	0,5	6,61	0,75	12
22,5	20	0,5	6,59	0,77	10

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
25	20	0,5	6,60	0,64	9
27,5	20	0,5	6,55	0,55	8
30	20	0,5	6,58	0,59	8
35	20	0,5	6,70	0,27	7
40	20	0,5	6,65	0,21	6
45	20	0,5	6,69	0,24	6
60	20	0,5	6,74	0,22	5
75	20	0,5	6,79	0,22	5
90	20	0,5	6,79	0,22	5
2,5	30 ($\pm 42rpm$)	5,0	6,57	28,6	197
5	30	5,0	6,48	18,0	128
7,5	30	5,0	6,57	7,55	64
10	30	5,0	6,50	5,90	48
12,5	30	5,0	6,56	6,51	53
15	30	5,0	6,48	5,10	43
17,5	30	5,0	6,56	4,83	37
20	30	5,0	6,55	6,27	40
22,5	30	5,0	6,61	7,23	45
25	30	5,0	6,57	4,76	36
27,5	30	5,0	6,61	5,73	40
30	30	5,0	6,58	8,22	46
35	30	5,0	6,59	8,76	47
40f	30	5,0	6,58	9,21	49
45	30	5,0	6,63	9,87	60
60	30	5,0	6,65	7,46	46
75	30	5,0	6,57	12,1	54
90	30	5,0	6,76	9,61	50
2,5	30	2,5	6,55	29,2	218
5	30	2,5	6,50	12,8	95
7,5	30	2,5	6,53	3,96	39
10	30	2,5	6,51	2,76	28
12,5	30	2,5	6,56	1,58	21
15	30	2,5	6,52	1,21	15
17,5	30	2,5	6,58	1,59	15
20	30	2,5	6,57	1,61	16
22,5	30	2,5	6,62	1,12	15
25	30	2,5	6,58	1,35	12
27,5	30	2,5	6,64	2,22	18
30	30	2,5	6,61	1,79	15
35	30	2,5	6,55	3,77	25
40	30	2,5	6,59	2,22	17

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
45	30	2,5	6,64	1,65	11
60	30	2,5	6,67	1,70	14
75	30	2,5	6,59	1,47	13
90	30	2,5	6,77	3,61	24
2,5	30	0,5	6,51	24,5	182
5	30	0,5	6,53	6,21	62
7,5	30	0,5	6,56	2,94	36
10	30	0,5	6,52	1,83	24
12,5	30	0,5	6,56	1,34	16
15	30	0,5	6,52	0,87	14
17,5	30	0,5	6,60	0,71	9
20	30	0,5	6,54	0,96	15
22,5	30	0,5	6,62	0,54	8
25	30	0,5	6,59	0,46	8
27,5	30	0,5	6,65	0,55	8
30	30	0,5	6,58	0,46	6
35	30	0,5	6,58	0,75	7
40	30	0,5	6,60	0,46	4
45	30	0,5	6,64	0,81	6
60	30	0,5	6,58	0,31	4
75	30	0,5	6,74	1,34	10
90	30	0,5	6,84	0,96	9
7,5	35 (47rpm)	5,0	6,27	7,84	57
10	35	5,0	6,29	7,78	57
12,5	35	5,0	6,29	7,77	53
15	35	5,0	6,31	7,22	46
17,5	35	5,0	6,31	7,32	48
20	35	5,0	6,31	5,46	41
7,5	35	2,5	6,27	2,89	31
10	35	2,5	6,28	1,70	24
12,5	35	2,5	6,30	1,73	23
15	35	2,5	6,31	1,44	15
17,5	35	2,5	6,32	1,02	13
20	35	2,5	6,31	1,38	15
7,5	35	0,5	6,29	1,96	33
10	35	0,5	6,27	1,51	18
12,5	35	0,5	6,29	1,06	13
15	35	0,5	6,33	0,7	10
17,5	35	0,5	6,34	0,4	6
20	35	0,5	6,38	0,6	10

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
2,5	40 ($\pm 52rpm$)	5,0	6,27	26,9	180
5	40	5,0	6,57	10,6	66
7,5	40	5,0	6,30	10,7	66
10	40	5,0	-	-	-
12,5	40	5,0	6,59	11,2	71
15	40	5,0	6,60	15,6	76
17,5	40	5,0	6,63	10,4	65
20	40	5,0	6,62	17,1	87
22,5	40	5,0	6,68	11,6	71
25	40	5,0	6,66	11,6	67
27,5	40	5,0	6,67	11,5	79
30	40	5,0	6,67	10,9	69
35	40	5,0	6,72	13,1	79
40	40	5,0	6,70	16,4	99
45	40	5,0	6,75	17,2	100
60	40	5,0	6,79	15,2	87
75	40	5,0	6,87	16,8	91
90	40	5,0	6,91	15,4	95
2,5	40	2,5	6,32	23,4	169
5	40	2,5	6,57	6,31	53
7,5	40	2,5	6,28	3,40	24
10	40	2,5	6,65	3,24	27
12,5	40	2,5	6,48	2,55	18
15	40	2,5	6,63	1,95	21
17,5	40	2,5	6,64	2,90	17
20	40	2,5	6,66	5,24	38
22,5	40	2,5	6,68	4,29	31
25	40	2,5	6,68	3,01	23
27,5	40	2,5	6,68	4,00	24
30	40	2,5	6,68	3,91	25
35	40	2,5	6,69	4,62	32
40	40	2,5	6,71	3,61	21
45	40	2,5	6,72	2,59	19
60	40	2,5	6,84	5,46	32
75	40	2,5	6,87	3,85	29
90	40	2,5	6,92	5,89	37
2,5	40	0,5	6,58	11,1	93
5	40	0,5	6,60	2,30	30
7,5	40	0,5	6,63	1,86	16
10	40	0,5	6,62	0,89	13
12,5	40	0,5	6,63	0,40	6

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
15	40	0,5	6,62	0,63	8
17,5	40	0,5	6,66	0,30	3
20	40	0,5	6,66	0,62	7
22,5	40	0,5	6,67	0,30	3
25	40	0,5	6,67	0,52	6
27,5	40	0,5	6,68	0,30	3
30	40	0,5	6,68	0,54	6
35	40	0,5	6,67	0,49	5
40	40	0,5	6,71	1,28	10
45	40	0,5	6,75	1,20	9
60	40	0,5	6,84	0,85	7
75	40	0,5	6,88	1,48	10
90	40	0,5	6,95	0,66	7
2,5	50 ($\pm 60rpm$)	5,0	6,50	23,4	173
5	50	5,0	6,51	12,2	69
7,5	50	5,0	6,51	12,1	81
10	50	5,0	6,51	12,6	69
12,5	50	5,0	6,50	11,5	75
15	50	5,0	6,48	14,5	87
17,5	50	5,0	6,51	17,4	-
20	50	5,0	6,47	18,0	115
22,5	50	5,0	6,47	16,7	97
25	50	5,0	6,49	15,1	101
27,5	50	5,0	6,49	23,1	115
30	50	5,0	6,48	17,9	115
35	50	5,0	6,65	17,2	103
40	50	5,0	6,65	18,6	115
45	50	5,0	6,63	21,4	124
60	50	5,0	6,69	22,5	128
75	50	5,0	6,87	20,7	122
90	50	5,0	6,81	19,1	123
2,5	50	2,5	6,42	16,5	131
5	50	2,5	6,44	5,31	58
7,5	50	2,5	6,41	3,85	30
10	50	2,5	6,44	2,85	23
12,5	50	2,5	6,41	3,01	23
15	50	2,5	6,43	2,17	25
17,5	50	2,5	6,50	4,02	31
20	50	2,5	6,49	7,05	42
22,5	50	2,5	6,51	4,12	28
25	50	2,5	6,48	4,84	31

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (uT)	Cor Aparente Remanescente (uC)
27,5	50	2,5	6,53	4,16	28
30	50	2,5	6,49	8,12	55
35	50	2,5	6,61	6,27	41
40	50	2,5	6,59	9,64	60
45	50	2,5	6,64	10,7	64
60	50	2,5	6,68	6,91	44
75	50	2,5	6,86	5,00	39
90	50	2,5	6,76	10,4	63
2,5	50	0,5	6,42	8,25	77
5	50	0,5	6,39	3,01	28
7,5	50	0,5	6,41	0,5	15
10	50	0,5	6,44	1,28	14
12,5	50	0,5	6,42	0,4	10
15	50	0,5	6,41	1,12	11
17,5	50	0,5	6,45	0,3	8
20	50	0,5	6,47	1,27	11
22,5	50	0,5	6,47	0,3	6
25	50	0,5	6,49	1,23	12
27,5	50	0,5	6,51	0,4	8
30	50	0,5	6,48	1,28	12
35	50	0,5	6,58	1,21	8
40	50	0,5	6,59	1,31	11
45	50	0,5	6,62	1,88	13
60	50	0,5	6,85	2,12	14
75	50	0,5	6,82	1,19	8
90	50	0,5	6,79	2,57	16
2,5	60 ($\pm 67rpm$)	5,0	6,31	23,8	180
5	60	5,0	6,32	11,1	103
7,5	60	5,0	6,28	12,2	104
10	60	5,0	6,31	12,9	105
12,5	60	5,0	6,74	11,7	84
15	60	5,0	6,74	18,4	112
17,5	60	5,0	6,73	18,9	116
20	60	5,0	6,75	19,5	130
22,5	60	5,0	6,76	18,6	113
25	60	5,0	6,75	17,5	110
2,5	60	2,5	6,29	17,6	130
5	60	2,5	6,27	4,10	43
7,5	60	2,5	6,27	6,50	59
10	60	2,5	6,30	5,85	50
12,5	60	2,5	6,76	5,84	37

Tabela F-1 - Resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Tf (min)	Gf (s^{-1})	Vs (cm/min)	pH de coagulação	Turbidez Remanescente (μT)	Cor Aparente Remanescente (μC)
15	60	2,5	6,72	4,98	29
17,5	60	2,5	6,73	7,50	49
20	60	2,5	6,74	10,1	64
22,5	60	2,5	6,76	8,84	59
25	60	2,5	6,74	5,76	39
2,5	60	0,5	6,27	8,76	86
5	60	0,5	6,26	2,05	30
7,5	60	0,5	6,28	1,29	20
10	60	0,5	6,32	1,03	15
12,5	60	0,5	6,72	0,79	9
15	60	0,5	6,71	1,36	12
17,5	60	0,5	6,71	1,02	11
20	60	0,5	6,71	1,35	14
22,5	60	0,5	6,72	0,48	8
25	60	0,5	6,74	1,05	11
2,5	70 ($\pm 75rpm$)	5,0	6,60	19,8	149
5	70	5,0	6,56	17,5	118
7,5	70	5,0	6,53	14,9	98
2,5	70	2,5	6,58	12,8	95
5	70	2,5	6,55	5,57	43
7,5	70	2,5	6,50	4,75	36
2,5	70	0,5	6,52	5,95	56
5	70	0,5	6,50	1,83	25
7,5	70	0,5	6,50	1,12	16

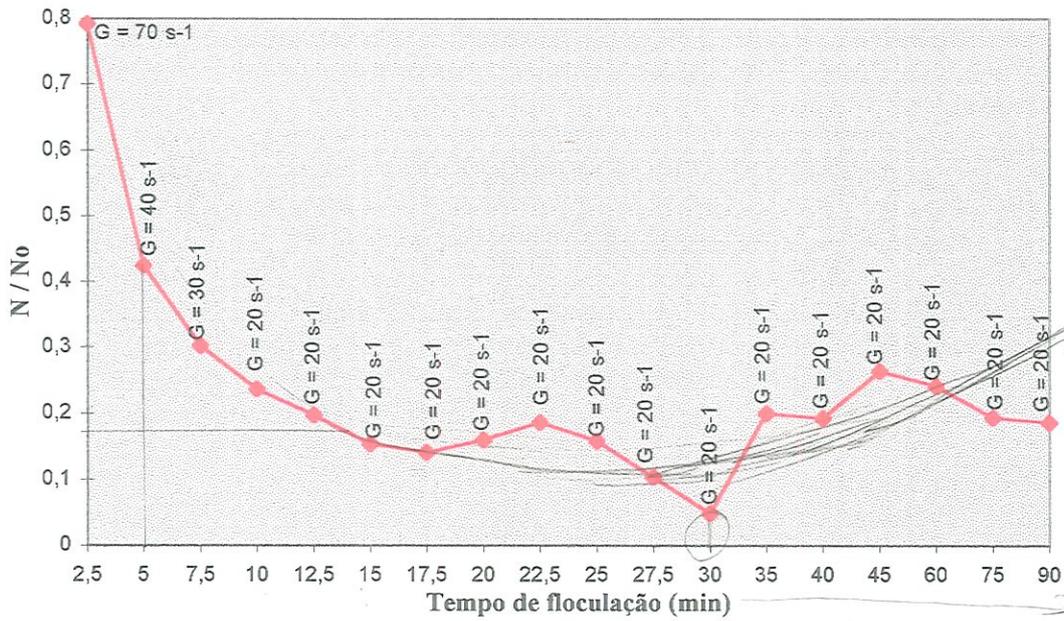


Figura F-19 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/No X Tempo de Floculação (Tf).

Coagulante = Cloreto Férrico (25mg/L); Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹; Vs = 5,0cm/min.

Fonte: Tabela F-2.

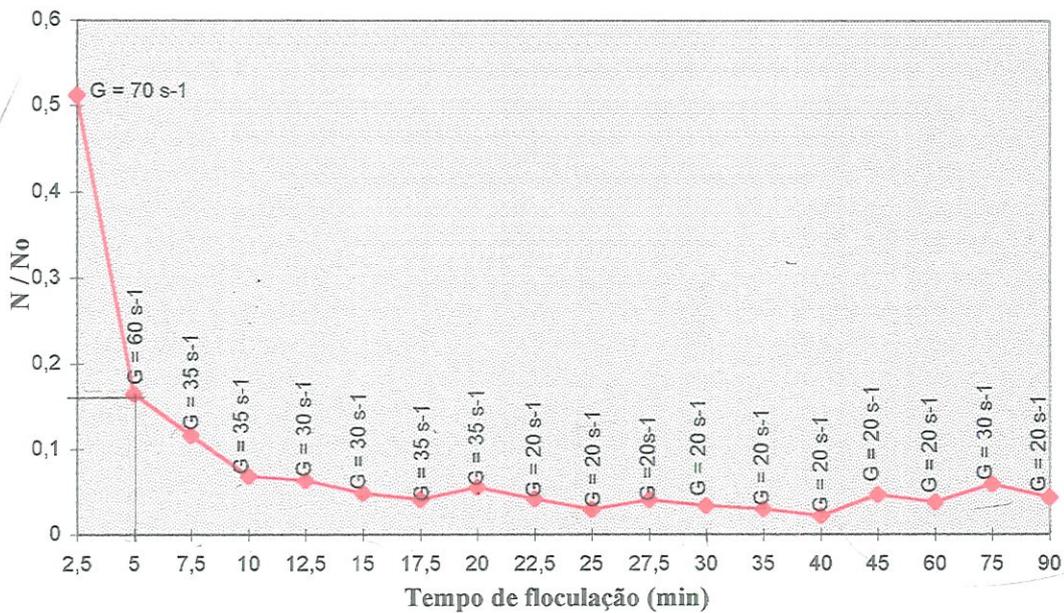


Figura F-20 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/No X Tempo de Floculação (Tf).

Coagulante = Cloreto Férrico (25mg/L); Tmr = 15s; Gmr = 400s⁻¹; Vs = 2,5cm/min.

Fonte: Tabela F-2.

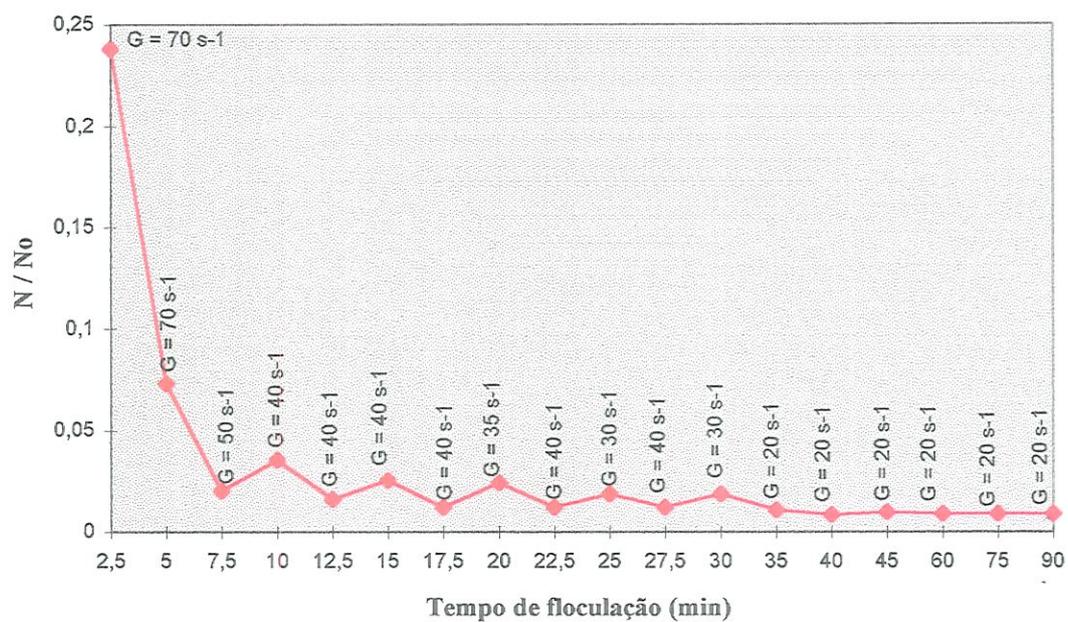


Figura F-21 - Melhores resultados dos ensaios da Otimização dos Parâmetros de Floculação representados através da eficiência N/N_0 X Tempo de Floculação (T_f).

Coagulante = Cloreto Férrico (25mg/L); $T_{mr} = 15s$; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $V_s = 0,5cm/min$.

Fonte: Tabela F-2.

Tabela F-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação- floculação-sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L e os parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$.

Vs (cm/min)	Tf (min)	Gf (s^{-1})	Trem (uT)	N/No
5,0	2,5	70	19,8	0,792
5,0	5,0	40	10,6	0,424
5,0	7,5	30	7,55	0,302
5,0	10,0	20	5,90	0,236
5,0	12,5	20	4,90	0,196
5,0	15,0	20	3,83	0,153
5,0	17,5	20	3,51	0,140
5,0	20,0	20	3,96	0,158
5,0	22,5	20	4,62	0,185
5,0	25,0	20	3,92	0,157
5,0	27,5	20	2,58	0,103
5,0	30,0	20	1,20	0,048
5,0	35,0	20	4,96	0,198
5,0	40,0	20	4,78	0,191
5,0	45,0	20	6,57	0,263
5,0	60,0	20	6,02	0,241
5,0	75,0	20	4,80	0,192
5,0	90,0	20	4,63	0,185
2,5	2,5	70	12,8	0,512
2,5	5,0	60	4,10	0,164
2,5	7,5	35	2,89	0,116
2,5	10,0	35	1,70	0,068
2,5	12,5	30	1,58	0,063
2,5	15,0	30	1,21	0,048
2,5	17,5	35	1,02	0,041
2,5	20,0	35	1,38	0,055
2,5	22,5	20	1,04	0,042
2,5	25,0	20	0,73	0,029
2,5	27,5	20	1,01	0,040
2,5	30,0	20	0,83	0,033
2,5	35,0	20	0,74	0,030
2,5	40,0	20	0,54	0,022
2,5	45,0	20	1,16	0,046
2,5	60,0	20	0,94	0,038
2,5	75,0	30	1,47	0,059
2,5	90,0	20	1,09	0,044
0,5	2,5	70	5,95	0,238
0,5	5,0	70	1,83	0,073
0,5	7,5	50	0,50	0,020
0,5	10,0	40	0,89	0,036
0,5	12,5	40	0,40	0,016
0,5	15,0	40	0,63	0,025

Tabela F-2 - Melhores resultados dos ensaios de coagulação- floculação- sedimentação para Otimização dos Parâmetros de Floculação ao se utilizar Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L e os parâmetros da mistura rápida: $G_{mr} = 400s^{-1}$ e $T_{mr} = 15s$. (continuação)

Vs (cm/min)	Tf (min)	Gf (s^{-1})	Trem (uT)	N/No
0,5	17,5	40	0,30	0,012
0,5	(20,0)	35	0,60	0,024
0,5	22,5	40	0,30	0,012
0,5	25,0	30	0,46	0,018
0,5	27,5	40	0,30	0,012
0,5	30,0	30	0,46	0,018
0,5	35,0	20	0,27	0,011
0,5	40,0	20	0,21	0,008
0,5	45,0	20	0,24	0,010
0,5	60,0	20	0,22	0,009
0,5	75,0	20	0,22	0,009
0,5	90,0	20	0,22	0,009



ANEXO G
Ensaio para Contagem de Partículas
Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico

1850



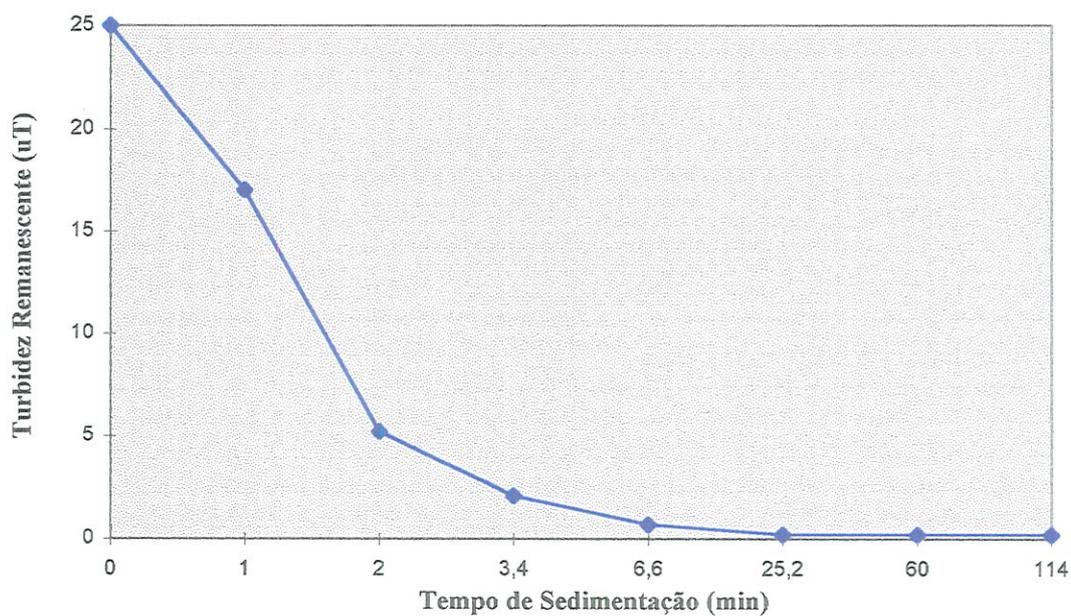


Figura G-1 - Turbidez Remanescente em função do Tempo de Sedimentação.

Coagulante: Sulfato de Alumínio; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$.

Fonte: Tabela G-1.

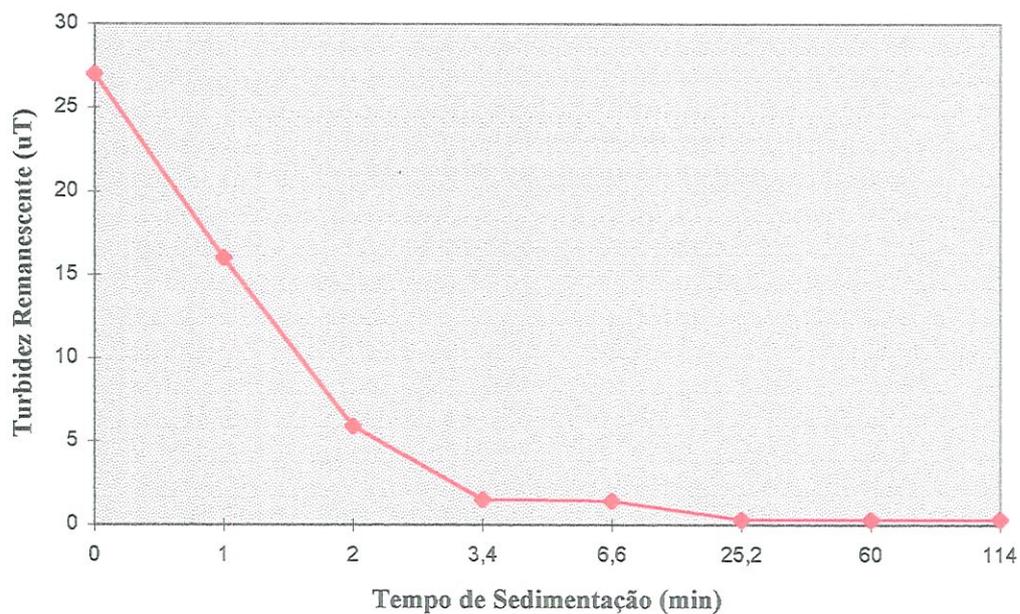


Figura G-2 - Turbidez Remanescente em função do Tempo de Sedimentação.

Coagulante: Cloreto Férrico; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$.

Fonte: Tabela G-2.

Tabela G-1 - Resultados do Ensaio Final: leituras de pH e turbidez remanescente dos sobrenadantes separados e após mistura, quando utilizado Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros fixados: $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$.

Jarro	Vs (cm/min)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Altura média (cm)	pH	Turbidez Reman. (uT)	Turbidez (uT) após mistura das amostras
1	7,0	7,20	6,60	6,90		18,4	
2	7,0	7,20	6,60	6,90		20,5	
3	7,0	7,20	6,60	6,90	7,7	17,2	N = 17,0
4	7,0	7,20	6,60	6,90		14,8	
5	7,0	7,20	6,60	6,90		18,5	
6	7,0	7,20	6,60	6,90		17,7	
1	3,5	6,60	6,15	6,38		4,1	
2	3,5	6,60	6,15	6,38		5,4	
3	3,5	6,60	6,15	6,38	7,7	6,2	N = 5,2
4	3,5	6,60	6,15	6,38		6,0	
5	3,5	6,60	6,15	6,38		6,2	
6	3,5	6,60	6,15	6,38		4,5	
1	2,0	6,15	5,70	5,93		1,5	
2	2,0	6,15	5,70	5,93		2,6	
3	2,0	6,15	5,70	5,93	7,7	2,3	N = 2,1
4	2,0	6,15	5,70	5,93		2,7	
5	2,0	6,15	5,70	5,93		2,2	
6	2,0	6,15	5,70	5,93		1,6	
1	1,0	5,70	5,25	5,48		0,4	
2	1,0	5,70	5,25	5,48		0,3	
3	1,0	5,70	5,25	5,48	7,6	0,8	N = 0,7
4	1,0	5,70	5,25	5,48		0,6	
5	1,0	5,70	5,25	5,48		0,9	
6	1,0	5,70	5,25	5,48		0,6	
1	0,25	5,25	4,80	5,03		0,3	
2	0,25	5,25	4,80	5,03		0,2	
3	0,25	5,25	4,80	5,03	7,6	0,2	N = 0,2
4	0,25	5,25	4,80	5,03		0,2	
5	0,25	5,25	4,80	5,03		0,2	
6	0,25	5,25	4,80	5,03		0,2	
1	0,10	4,80	4,30	4,50		0,2	
2	0,10	4,80	4,30	4,50		0,2	
3	0,10	4,80	4,30	4,50	7,6	0,2	N = 0,2
4	0,10	4,80	4,30	4,50		0,2	
5	0,10	4,80	4,30	4,50		0,2	
6	0,10	4,80	4,30	4,50		0,2	

Tabela G-1 - Resultados do Ensaio Final: leituras de pH e turbidez remanescente dos sobrenadantes separados e após mistura, quando utilizado Sulfato de Alumínio como coagulante na dosagem = 20mg/L. Parâmetros fixados: $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação)

Jarro	Vs (cm/min)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Altura média (cm)	pH	Turbidez Reman. (uT)	Turbidez (uT) após mistura das amostras
1	0,05	4,30	3,80	4,05		0,2	
2	0,05	4,30	3,80	4,05		0,2	
3	0,05	4,30	3,80	4,05	7,6	0,2	N = 0,2
4	0,05	4,30	3,80	4,05		0,2	
5	0,05	4,30	3,80	4,05		0,2	
6	0,05	4,30	3,80	4,05		0,2	

Tabela G-2 - Resultados do Ensaio Final: leituras de pH e turbidez remanescente dos sobrenadantes separados e após mistura, quando utilizado Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros fixados: $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$.

Jarro	Vs (cm/min)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Altura média (cm)	pH	Turbidez Reman. (uT)	Turbidez (uT) após mistura das amostras
1	7,0	7,20	6,60	6,90	6,73	15,4	
2	7,0	7,20	6,60	6,90	6,73	18,8	
3	7,0	7,20	6,60	6,90	6,69	19,6	N = 16,0
4	7,0	7,20	6,60	6,90	6,71	16,4	
5	7,0	7,20	6,60	6,90	6,70	18,5	
6	7,0	7,20	6,60	6,90	6,71	14,5	
1	3,5	6,60	6,10	6,35	-	-	
2	3,5	6,60	6,10	6,35	6,69	5,72	
3	3,5	6,60	6,10	6,35	6,67	5,78	N = 5,9
4	3,5	6,60	6,10	6,35	6,64	6,34	
5	3,5	6,60	6,10	6,35	6,67	6,03	
6	3,5	6,60	6,10	6,35	6,67	6,56	
1	2,0	6,10	5,70	5,90	6,69	1,48	
2	2,0	6,10	5,70	5,90	6,66	1,61	
3	2,0	6,10	5,70	5,90	6,65	1,20	N = 1,5
4	2,0	6,10	5,70	5,90	6,63	1,15	
5	2,0	6,10	5,70	5,90	6,64	1,48	
6	2,0	6,10	5,70	5,90	6,63	2,62*	
1	1,0	5,70	5,25	5,48	6,61	0,38*	
2	1,0	5,70	5,25	5,48	6,61	1,50	
3	1,0	5,70	5,25	5,48	6,60	1,33	N = 1,40
4	1,0	5,70	5,25	5,48	6,59	1,62	
5	1,0	5,70	5,25	5,48	6,60	1,55	
6	1,0	5,70	5,25	5,48	6,60	1,12	
1	0,25	5,25	4,75	5,00	6,57	-	
2	0,25	5,25	4,75	5,00	6,59	0,29	
3	0,25	5,25	4,75	5,00	6,54	0,32	N = 0,30
4	0,25	5,25	4,75	5,00	6,54	0,30	
5	0,25	5,25	4,75	5,00	6,52	0,30	
6	0,25	5,25	4,75	5,00	6,54	0,32	
1	0,10	4,75	4,30	4,53	6,52	0,31	
2	0,10	4,75	4,30	4,53	6,53	0,29	
3	0,10	4,75	4,30	4,53	6,53	0,30	N = 0,30
4	0,10	4,75	4,30	4,53	6,52	0,30	
5	0,10	4,75	4,30	4,53	6,50	0,28	
6	0,10	4,75	4,30	4,53	6,50	0,30	

Tabela G-2 - Resultados do Ensaio Final: leituras de pH e turbidez remanescente dos sobrenadantes separados e após mistura, quando utilizado Cloreto Férrico como coagulante na dosagem = 25mg/L. Parâmetros fixados: $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação)

Jarro	Vs (cm/min)	Altura inicial (cm)	Altura final (cm)	Altura média (cm)	pH	Turbidez Reman. (uT)	Turbidez (uT) após mistura das amostras
1	0,05	4,30	3,80	4,05	6,47	0,35	
2	0,05	4,30	3,80	4,05	6,48	0,27	
3	0,05	4,30	3,80	4,05	6,45	0,30	N = 0,30
4	0,05	4,30	3,80	4,05	6,46	0,29	
5	0,05	4,30	3,80	4,05	6,47	0,28	
6	0,05	4,30	3,80	4,05	6,50	0,29	



ANEXO H
Resultados da Contagem de Partículas
Sulfato de Alumínio e Cloreto Férrico



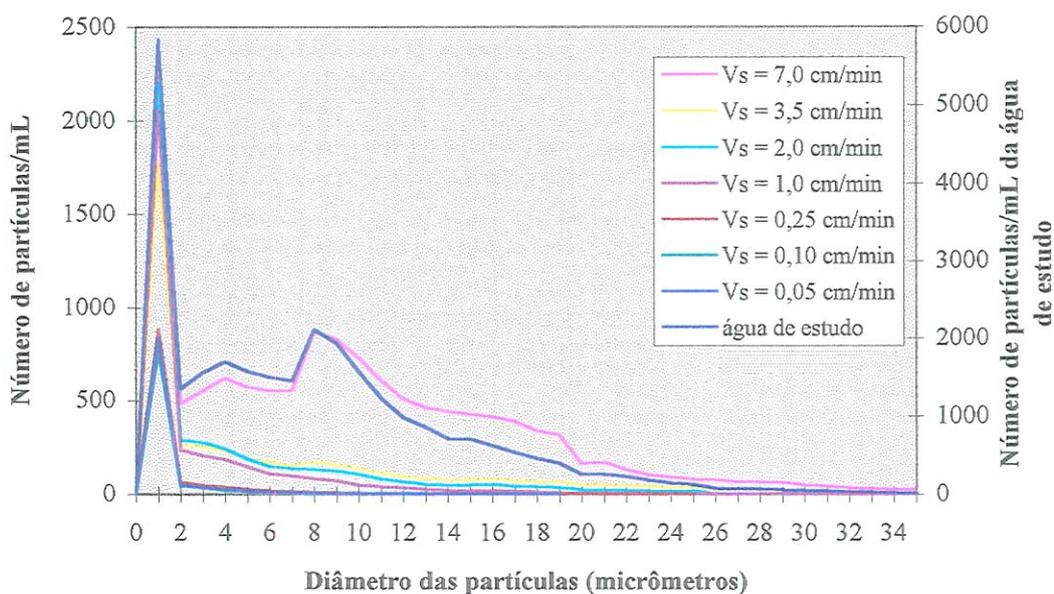


Figura H-1 - Resultados da Contagem de Partículas das amostras da água de estudo e dos sobrenadantes de diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio.
 Fonte: Tabela H-1.

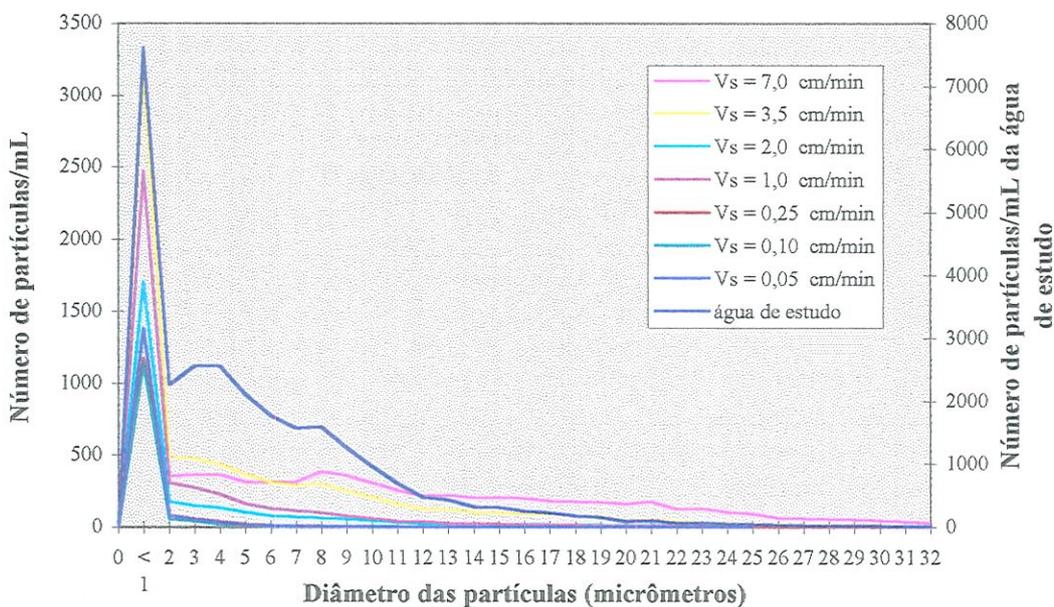


Figura H-2 - Resultados da Contagem de Partículas das amostras da água de estudo e dos sobrenadantes de diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico.
 Fonte: Tabela H-2.

Tabela H-1 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio; Gmr = 400s-1; Tmr = 5s; Gf = 20s-1 e Tf = 20min.

diâmetro da partícula (um)	água de estudo	Vs = 7,0 cm/min	Vs = 3,5 cm/min	Vs = 2,0 cm/min	Vs = 1,0 cm/min	Vs = 0,25 cm/min	Vs = 0,10 cm/min	Vs = 0,05 cm/min
0	0	0	0	0	0	0	0	0
<1	5837,5	2244,2	1769,8	2199,6	2054,4	879,0	762,3	837,8
2	1350,5	483,8	264,3	287,4	235,7	62,3	46,5	49,5
3	1560,2	551,3	251,8	275,1	205,3	46,0	32,7	35,1
4	1693,4	619,4	229,0	239,8	183,8	38,0	21,2	25,1
5	1574,7	569,4	189,3	187,7	145,6	26,2	13,7	16,9
6	1499,4	549,7	166,1	147,8	109,2	18,4	7,4	8,8
7	1449,4	552,4	149,6	137,5	95,5	15,4	7,1	7,2
8	2109,1	869,2	169,2	131,6	81,6	9,1	3,1	5,5
9	1933,8	825,3	154,6	123,0	71,0	7,8	3,6	3,5
10	1572,4	729,8	132,6	105,6	49,2	5,2	2,2	3,8
11	1228,0	608,6	110,7	79,7	41,1	3,2	1,9	2,5
12	980,8	508,2	90,6	65,1	32,9	4,0	2,0	2,0
13	855,9	460,6	82,9	50,7	24,4	2,1	0,4	1,8
14	705,7	438,6	72,5	46,5	19,4	1,7	1,0	0,9
15	701,9	424,8	75,5	49,3	16,3	1,9	0,9	1,0
16	620,1	412,3	78,6	50,7	18,3	1,5	0,6	0,5
17	529,5	390,1	72,2	39,9	16,1	1,8	0,9	0,7
18	456,8	336,7	69,0	40,0	12,2	1,2	0,3	0,3
19	393,0	313,6	65,5	34,2	9,9	0,9	0,1	0,5
20	252,0	161,1	47,1	21,8	6,0	0,4		
21	251,5	169,8	48,8	20,8	7,5	0,8		
22	222,9	131,4	46,2	20,0	5,2	0,9		
23	174,4	101,7	39,2	16,6	4,5	0,7		
24	141,7	91,2	34,2	14,1	4,2	0,6		
25	120,4	80,1	35,9	16,3	2,3	0,5		
26	73,0	76,5	21,6	3,2	1,8			

Tabela H-1 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio; Gmr = 400s-1; Tmr = 5s; Gf = 20s-1 e Tf = 20min. (continuação).

diâmetro da partícula (um)	água de estudo	Vs = 7,0 cm/min	Vs = 3,5 cm/min	Vs = 2,0 cm/min	Vs = 1,0 cm/min
27	67,2	65,9	19,2	3,4	1,4
28	65,2	63,9	19,9	4,4	1,6
29	57,6	62,8	18,1	3,0	1,6
30	45,2	49,6	15,4	3,0	0,9
31	42,2	43,5	12,6	3,2	0,4
32	25,2	34,7	9,1	1,1	0,6
33	24,4	30,1	7,9	0,9	1,2
34	20,2	25,9	7,6	0,6	0,2
35	16,4	25,1	9,4	0,7	0,4
36	19,0	25,6	5,7	0,5	0,4
37	16,8	21,4	5,9	0,6	0,2
38	10,0	9,6	4,0		
39	9,6	9,4	4,2		
40	10,2	7,0	4,3		
41	9,6	8,4	4,8		
42	7,0	6,6	3,6		
43	8,8	6,0	2,6		
44	5,0	1,8	2,2		
45	6,6	3,0	2,2		
46	3,2	1,8	1,6		
47	4,0	1,4	2,0		
48	3,8	1,8	2,0		
49	3,8	1,2	1,6		
50	2,4	1,0	0,4		
51	2,8	0,4	0,6		
52	2,2	0,6	1,0		
53	1,4	0,8	1,0		

Tabela H-1 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Sulfato de Alumínio; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 5s$; $G_f = 20s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação).

diâmetro da partícula (um)	água de estudo	$V_s = 7,0$ cm/min	$V_s = 3,5$ cm/min
54	0,6	0,2	0,6
55	1,6		0,8
56	1,2		
57	1,0		
58	1,4		
59	1,2		
60	0,4		
61	1,4		
62	0,4		
63	1,2		
64	1,2		
65	0,0		
66	1,2		
67	1,2		
68	0,8		
69	0,4		
70	0,0		
71	0,4		
72	0,0		
73	1,2		

Tabela H-2 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico; Gmr = 400s-1; Tmr = 15s; Gf = 35s-1 e Tf = 20min.

diâmetro da partícula (um)	água de estudo	Vs = 7,0 cm/min	Vs = 3,5 cm/min	Vs = 2,0 cm/min	Vs = 1,0 cm/min	Vs = 0,25 cm/min	Vs = 0,10 cm/min	Vs = 0,05 cm/min
0	0	0	0	0	0	0	0	0
<1	7615,3	2472,0	3232,7	1701,7	2469,7	1171,2	1143,2	1376,5
2	2256,5	349,0	484,6	175,8	304,0	82,8	55,2	77,8
3	2561,6	366,5	476,0	148,4	272,7	55,2	40,9	51,3
4	2556,2	362,8	436,1	131,6	229,9	37,4	19,6	27,9
5	2111,1	312,0	366,3	102,6	161,1	19,2	15,2	13,9
6	1770,2	309,8	307,8	77,5	129,5	12,5	8,6	10,6
7	1564,8	311,9	285,9	71,4	115,4	9,1	4,5	5,9
8	1591,7	384,6	299,5	63,6	99,0	7,4	3,9	4,4
9	1266,8	358,7	251,4	55,7	77,6	4,0	2,4	2,9
10	963,2	305,8	204,5	45,0	59,3	2,8	2,6	2,3
11	689,2	256,0	157,9	32,0	42,3	3,1	2,0	1,1
12	474,0	217,8	125,0	23,9	36,2	1,4	1,4	0,7
13	433,3	221,6	121,3	27,2	25,2	1,7	1,4	0,7
14	321,7	201,8	105,0	21,8	22,0	1,3	0,6	0,9
15	308,9	205,3	100,0	21,7	22,0	0,6	0,8	0,6
16	256,7	199,4	88,4	19,6	18,7	0,8	0,4	0,7
17	229,7	181,9	86,7	18,2	14,3	0,9	0,4	0,9
18	177,4	178,2	78,6	16,4	13,9	0,1	0,6	0,1
19	148,0	174,6	72,3	16,0	12,7	0,9	0,4	0,4
20	85,8	157,8	43,9	11,4	7,0	0,8	0,2	0,3
21	98,5	178,3	54,5	13,3	9,7	0,7	0,2	0,6
22	62,5	126,9	42,2	12,2	7,4	0,6	0,2	0,2
23	65,0	129,2	32,4	8,9	6,3	0,7	0,1	0,1
24	45,3	103,7	27,8	8,6	4,4	0,8	0,1	0,3
25	44,2	92,1	25,4	8,4	3,4	0,8	0,1	0,2
26	22,4	62,4	17,8	5,8	2,1	0,0		

Tabela H-2 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico; Gmr = 400s-1; Tmr = 15s; Gf = 35s-1 e Tf = 20min. (continuação).

diâmetro da partícula (um)	água de estudo	V _s = 7,0 cm/min	V _s = 3,5 cm/min	V _s = 2,0 cm/min	V _s = 1,0 cm/min	V _s = 0,25 cm/min
27	25,2	58,2	16,7	6,0	2,1	0,3
28	20,2	56,3	14,0	6,0	1,1	0,0
29	13,6	52,4	13,8	4,7	1,2	0,0
30	16,2	43,0	13,2	3,7	0,8	0,1
31	11,8	37,6	9,6	3,8	1,1	0,3
32	7,8	26,5	7,8	3,0	0,0	
33	8,6	25,8	6,6	1,7	0,4	
34	6,6	21,2	7,4	1,9	0,6	
35	6,0	21,1	4,6	2,2	0,2	
36	5,0	20,0	5,2	2,5	0,2	
37	2,4	15,3	5,6	1,9	0,2	
38	3,6	8,8	3,4	1,9		
39	2,6	9,9	2,6	0,9		
40	1,8	6,9	2,0	1,3		
41	1,6	7,3	2,4	1,6		
42	1,8	7,6	3,4	0,8		
43	2,4	6,2	1,8	0,5		
44	2,0	4,6	1,6	0,4		
45	0,8	3,6	1,2	0,4		
46	1,2	4,4	1,0	0,7		
47	1,4	2,6	1,2	0,5		
48	1,0	3,0	1,6	0,9		
49	1,2	1,8	1,0	0,0		
50	0,8	0,2				
51	1,4	1,0				
52	0,4	1,2				
53	0,6	1,0				

Tabela H-2 - Resultados da Contagem de Partículas para amostras da água de estudo e dos sobrenadantes obtidos para diferentes velocidades de sedimentação. Coagulante: Cloreto Férrico; $G_{mr} = 400s^{-1}$; $T_{mr} = 15s$; $G_f = 35s^{-1}$ e $T_f = 20min$. (continuação).

diâmetro da partícula (um)	água de estudo	$V_s = 7,0$ cm/min
54	0,8	1,2
55	0,4	2,0
56	0,4	0,6
57	0,0	0,4
58	0,2	1,0
59	0,0	1,2
60	0,0	0,6
61	0,2	0,4



ANEXO I
Curvas de No/N x Tempo de Floculação
Sulfato de Alumínio



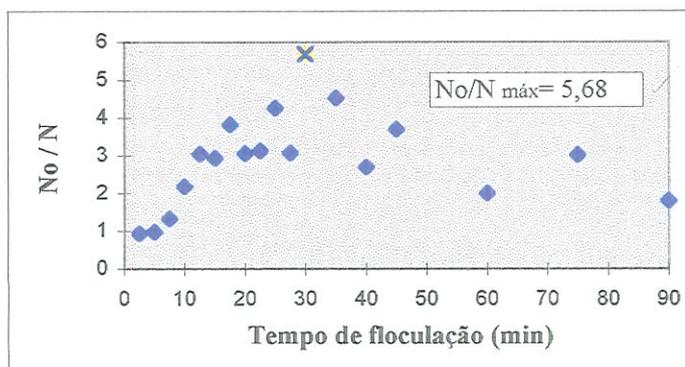


Figura I-1 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 20s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

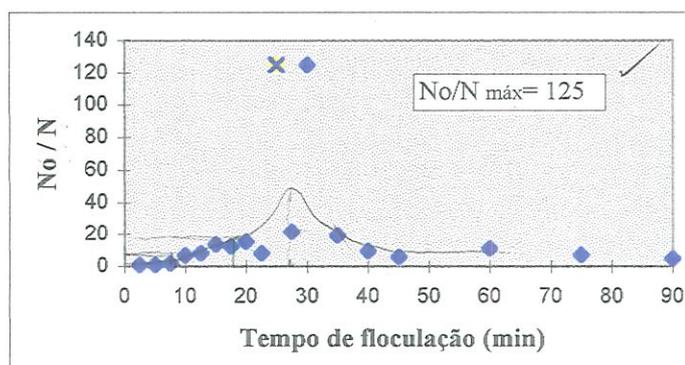


Figura I-2 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 20s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

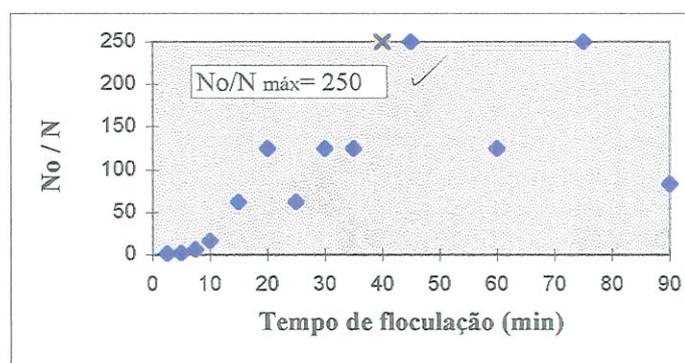


Figura I-3 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 20s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

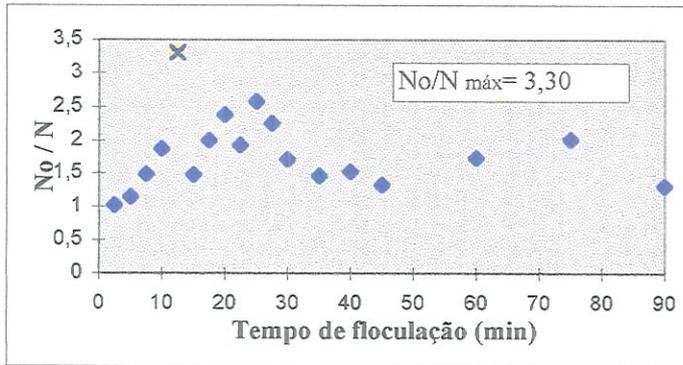


Figura I-4 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação. Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 30s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$. Fonte: Tabela E-1.

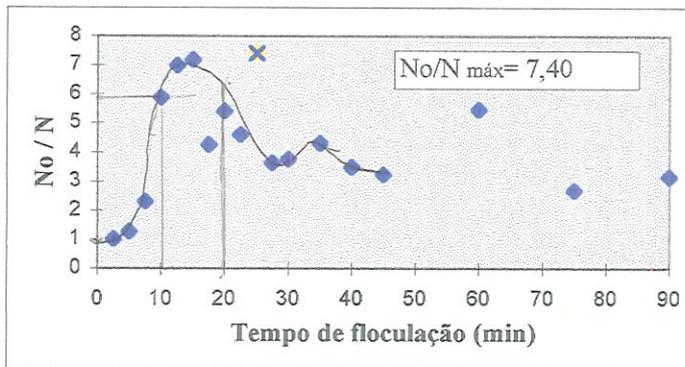


Figura I-5 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação. Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 30s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$. Fonte: Tabela E-1.

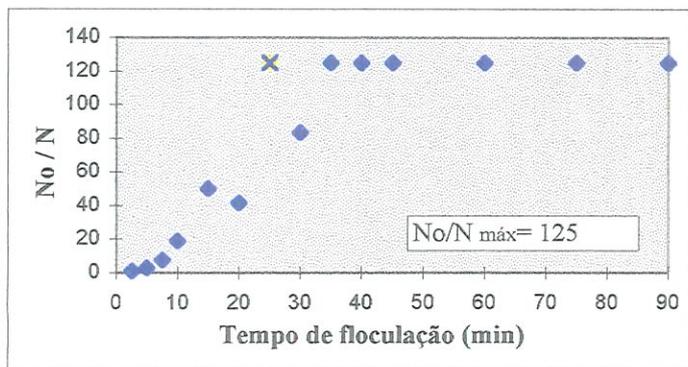


Figura I-6 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação. Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 30s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$. Fonte: Tabela E-1.

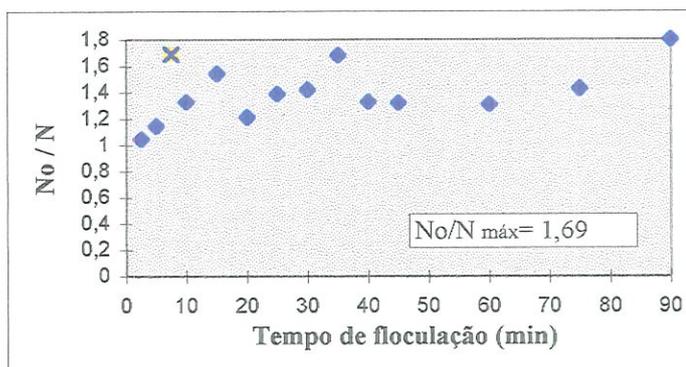


Figura I-7 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 40s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

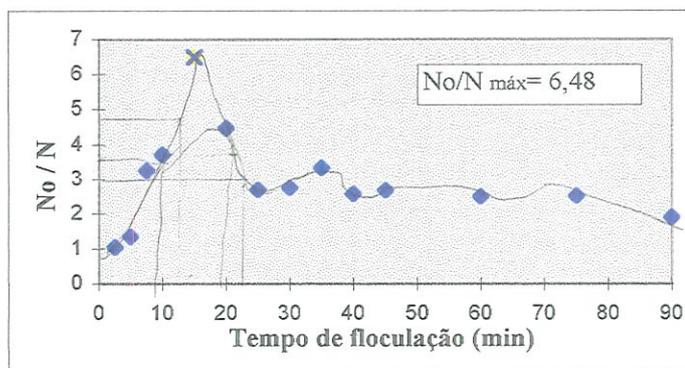


Figura I-8 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 40s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

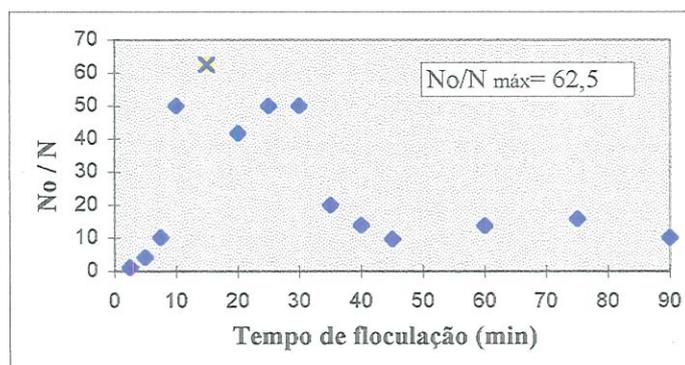


Figura I-9 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 40s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

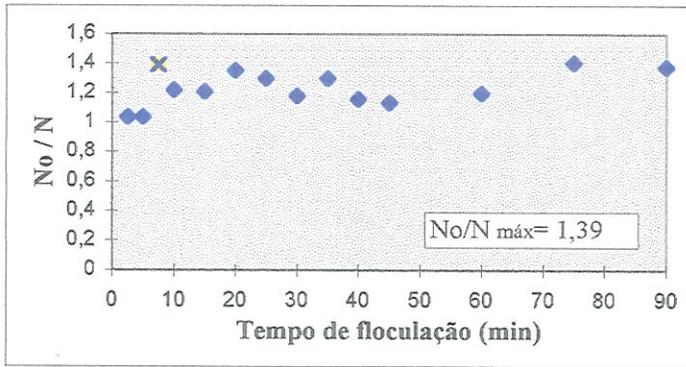


Figura I-10 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação.
 Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 50s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
 Fonte: Tabela E-1.

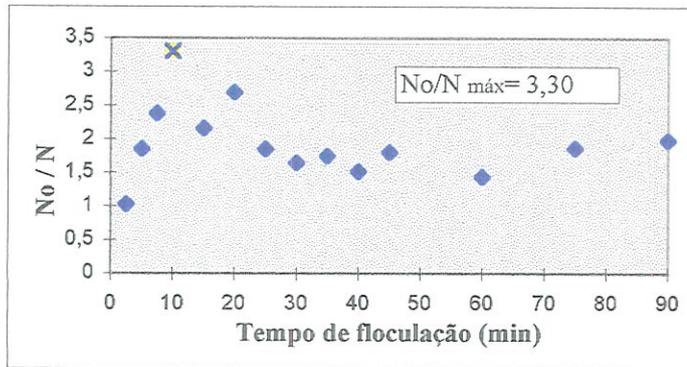


Figura I-11 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação.
 Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 50s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
 Fonte: Tabela E-1.

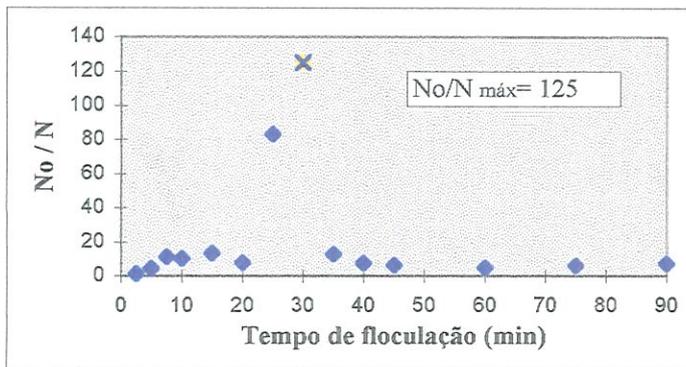


Figura I-12 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação.
 Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 50s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
 Fonte: Tabela E-1.

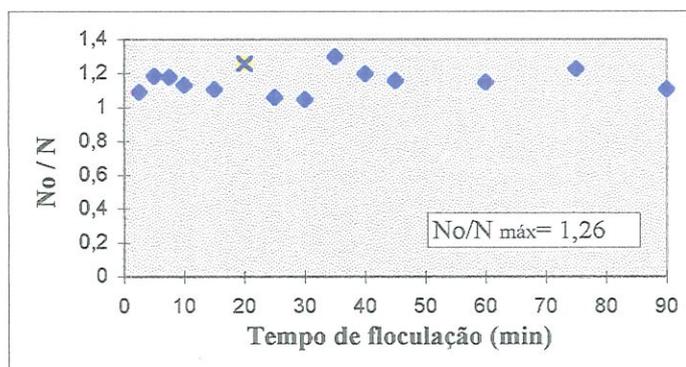


Figura I-13 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 60s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

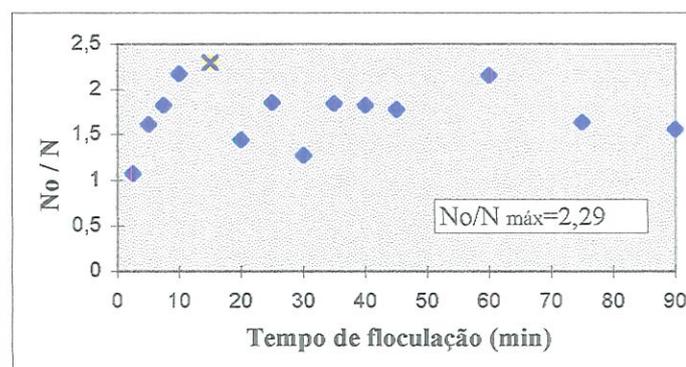


Figura I-14 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 60s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

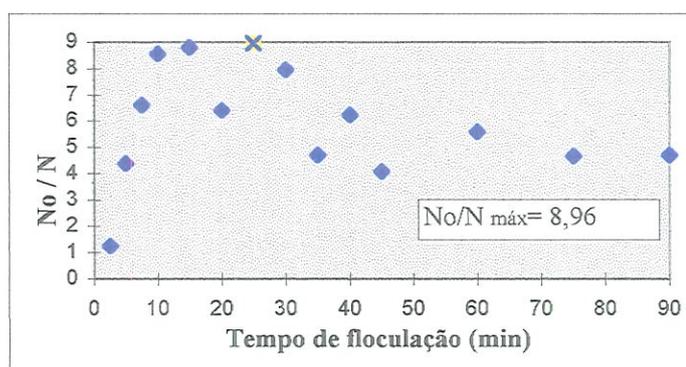


Figura I-15 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 60s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

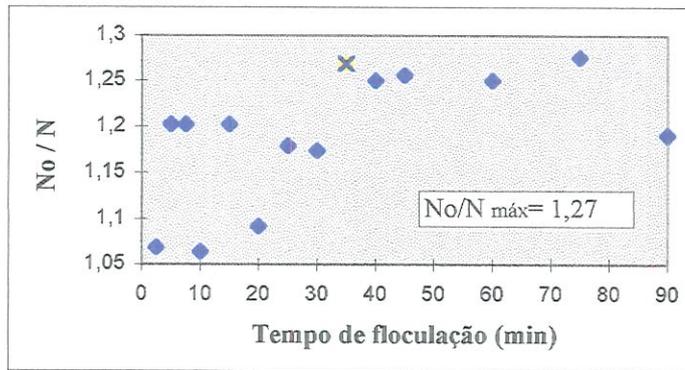


Figura I-16 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 70s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

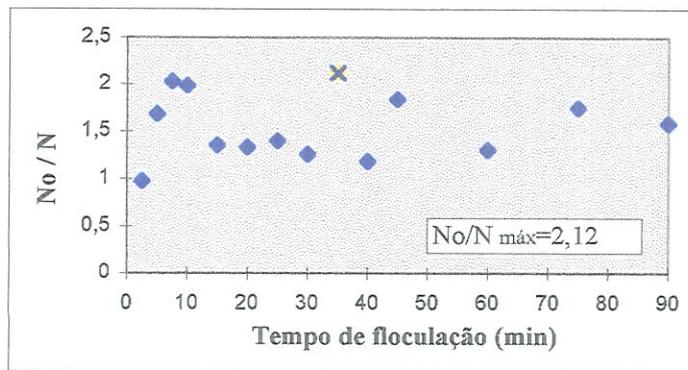


Figura I-17 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 70s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

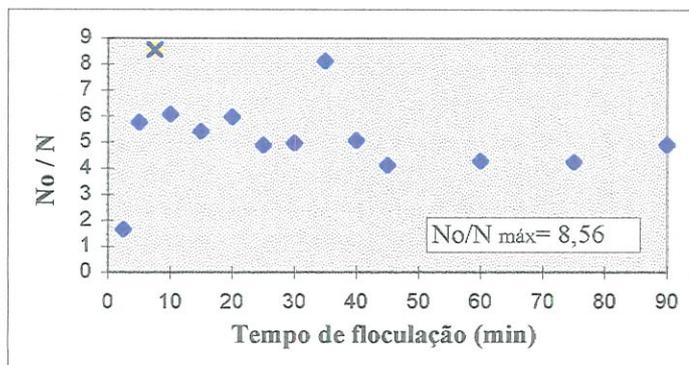


Figura I-18 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 70s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

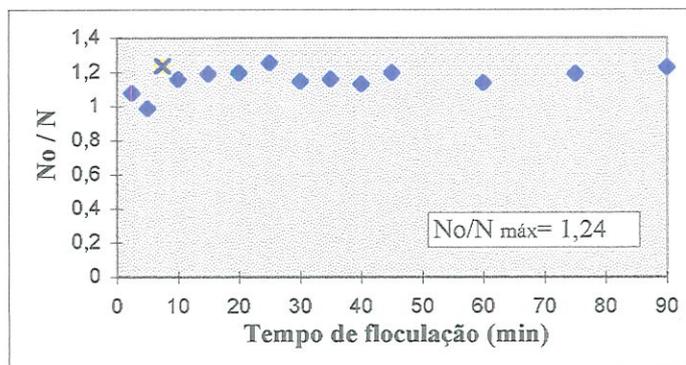


Figura I-19 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 80s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

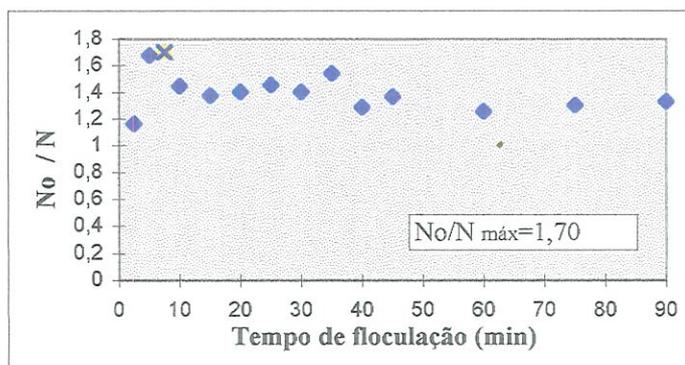


Figura I-20 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 80s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

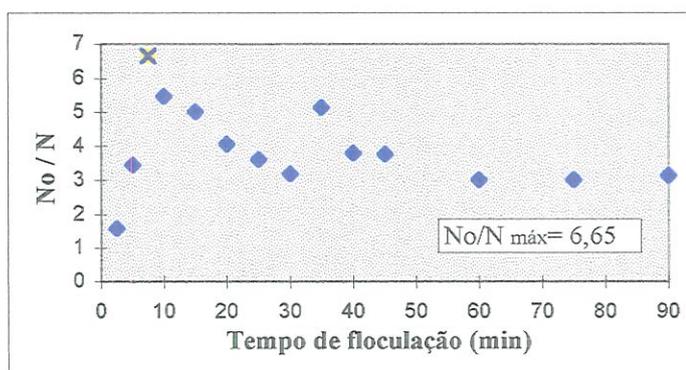


Figura I-21 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f = 80s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

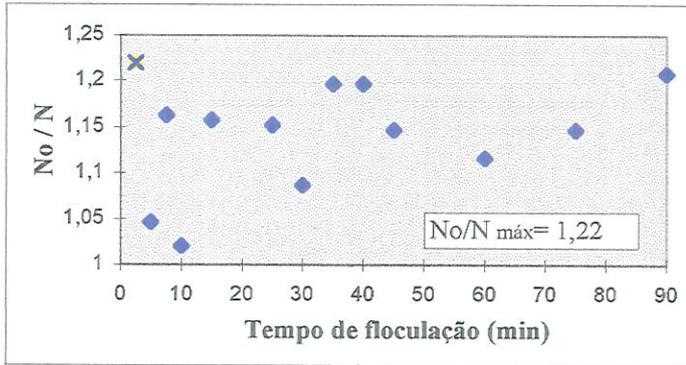


Figura I-22 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação. Coagulante : Sulfato de Alumínio. $Gf = 90s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$. Fonte: Tabela E-1.

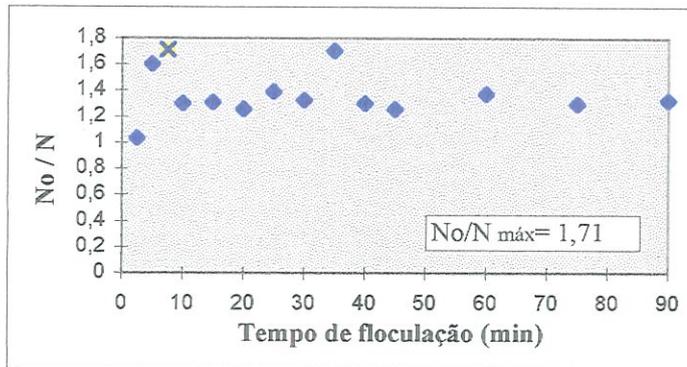


Figura I-23 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação. Coagulante : Sulfato de Alumínio. $Gf = 90s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$. Fonte: Tabela E-1.

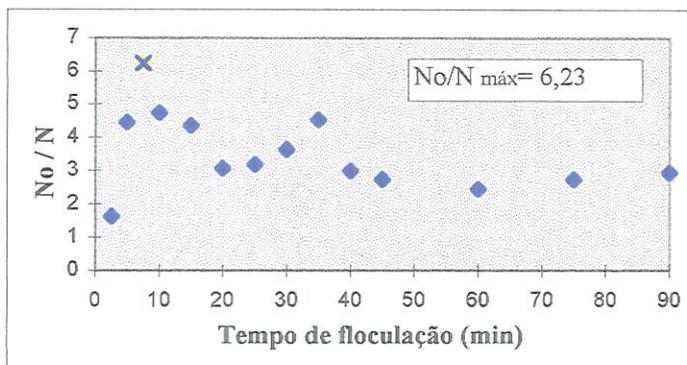


Figura I-24 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação. Coagulante : Sulfato de Alumínio. $Gf = 90s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$. Fonte: Tabela E-1.

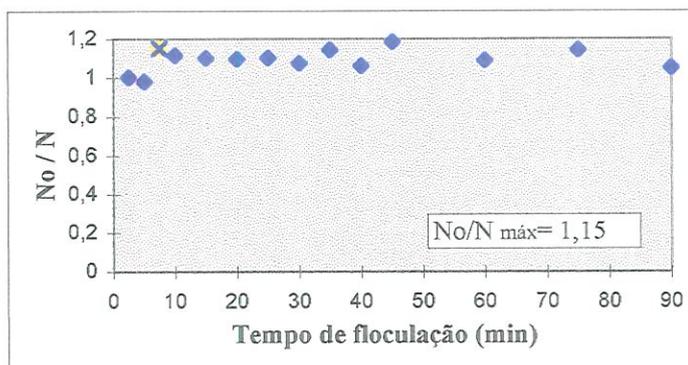


Figura I-25 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f=100s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

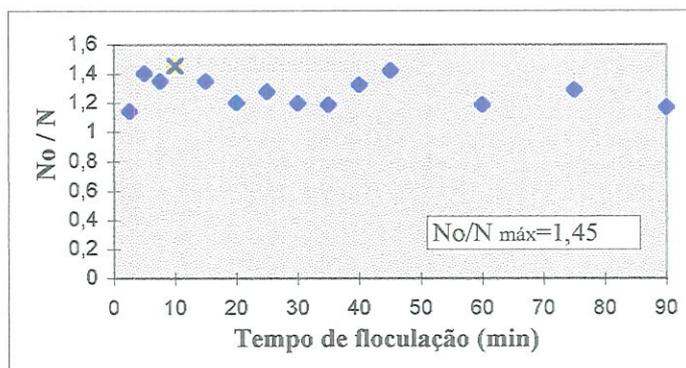


Figura I-26 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f=100s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.

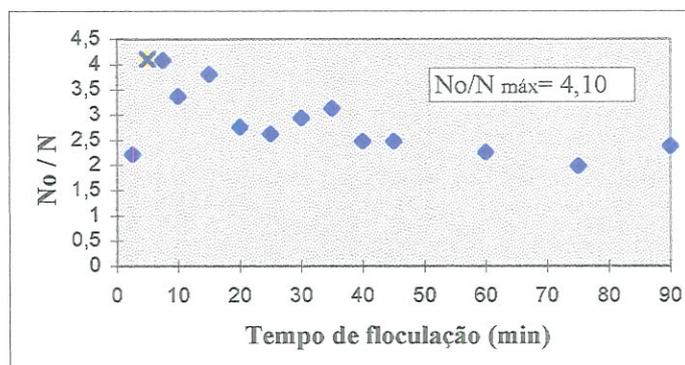
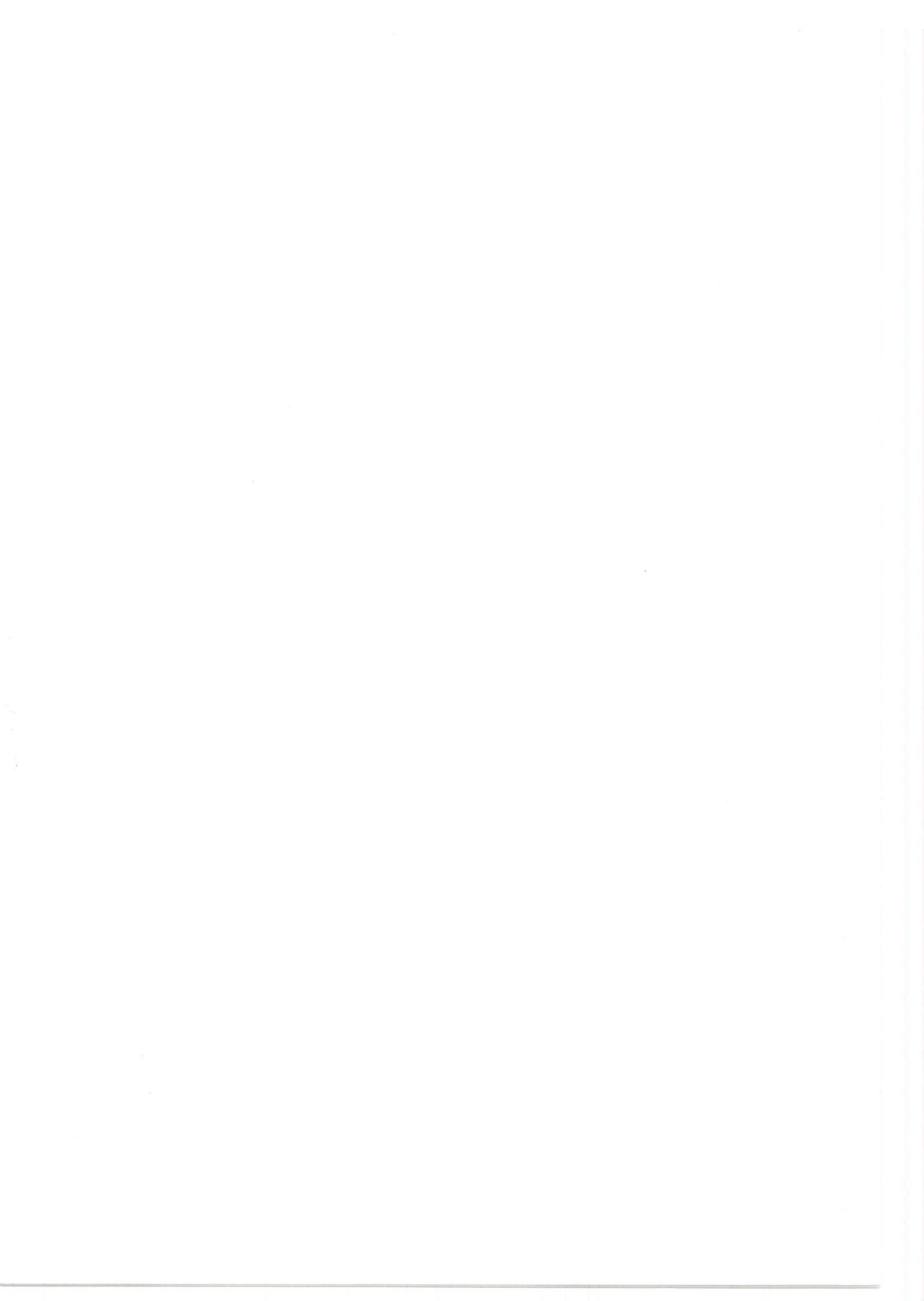
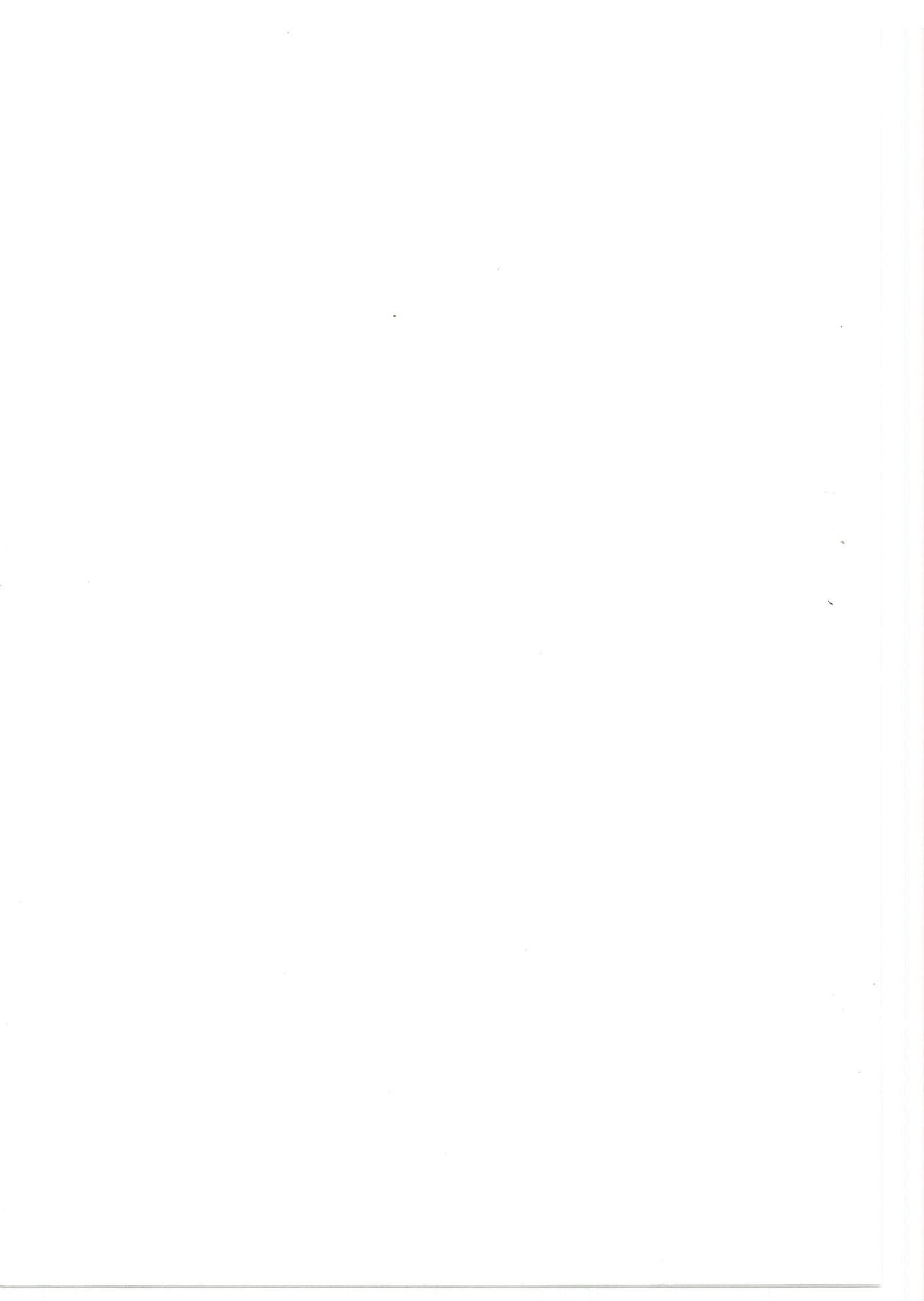


Figura I-27 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante : Sulfato de Alumínio. $G_f= 100s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela E-1.



ANEXO J
Curvas de N_0/N x Tempo de Floculação
Cloreto Férrico



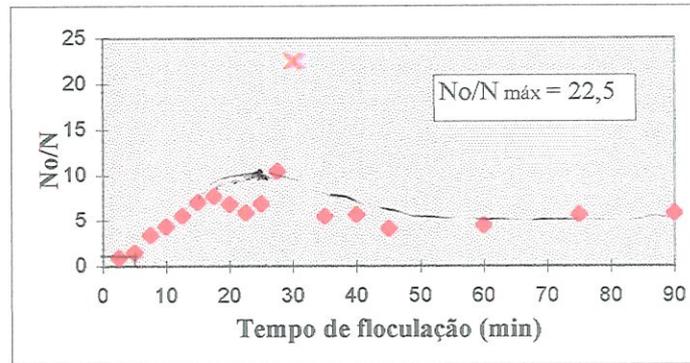


Figura J-1 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 20 \text{ s}^{-1}$ e $V_s = 5,0 \text{ cm/min}$.

Fonte: Tabela F-1.

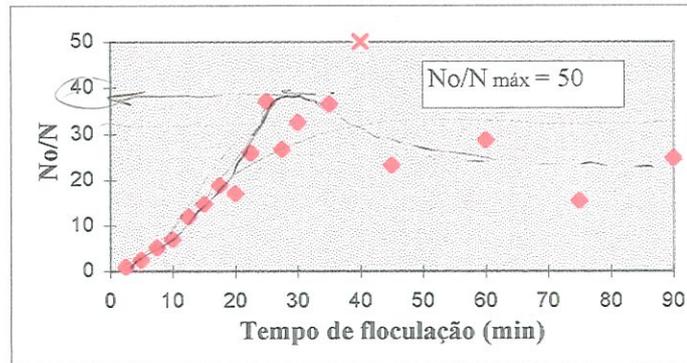


Figura J-2 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 20 \text{ s}^{-1}$ e $V_s = 2,5 \text{ cm/min}$.

Fonte: Tabela F-1.

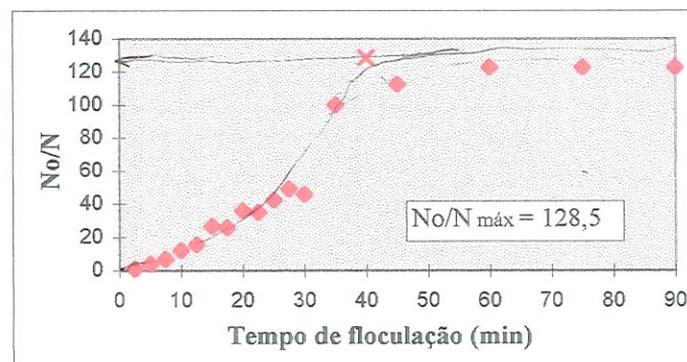


Figura J-3 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 20 \text{ s}^{-1}$ e $V_s = 0,5 \text{ cm/min}$.

Fonte: Tabela F-1.

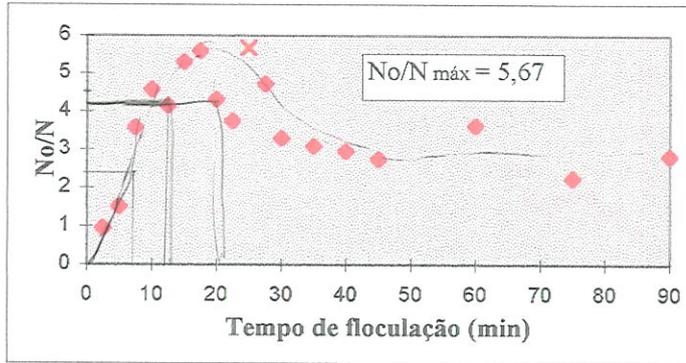


Figura J-4 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação.
 Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 30s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
 Fonte: Tabela F-1.

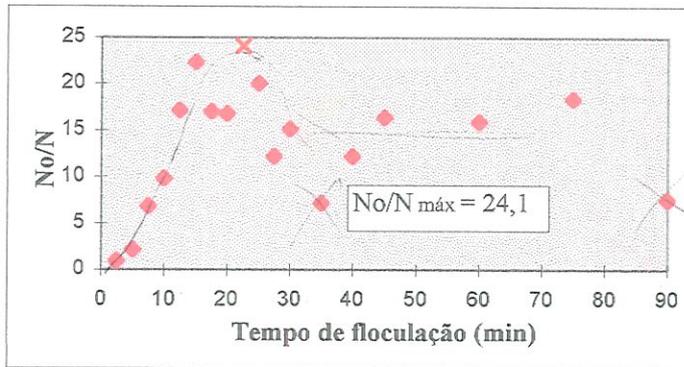


Figura J-5 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação.
 Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 30s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
 Fonte: Tabela F-1.

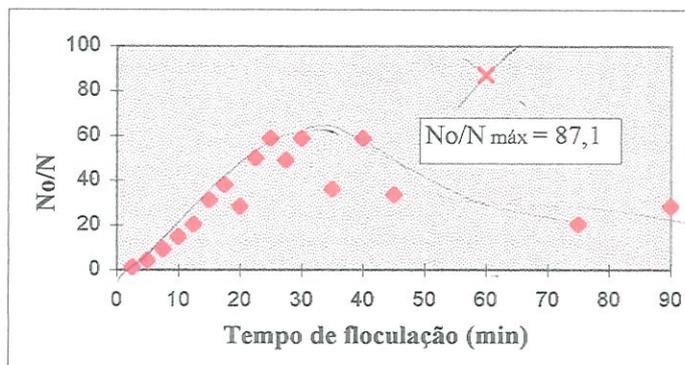


Figura J-6 - Eficiência da flocculação em função do tempo de flocculação.
 Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 30s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
 Fonte: Tabela F-1.

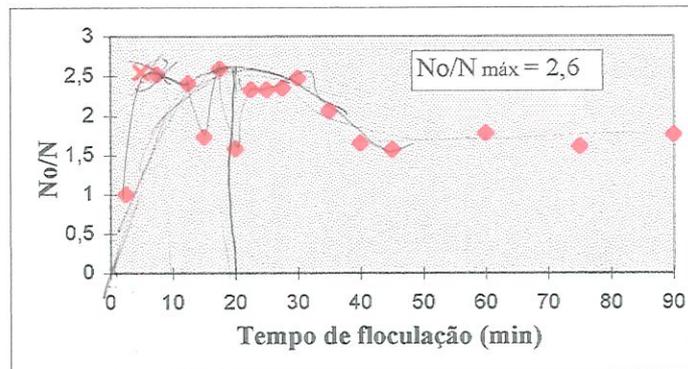


Figura J-7 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

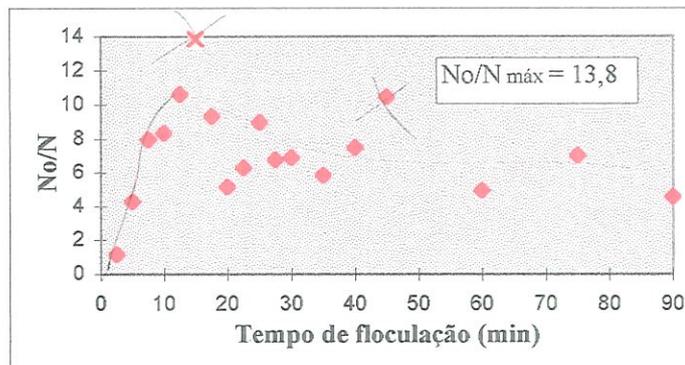


Figura J-8 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

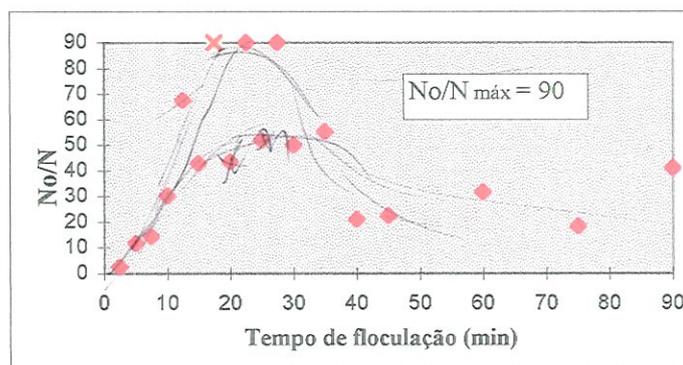


Figura J-9 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 40s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

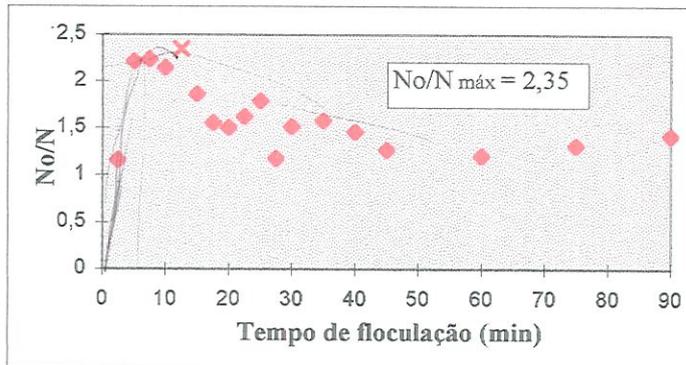


Figura J-10 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 50s^{-1}$ e $V_s = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

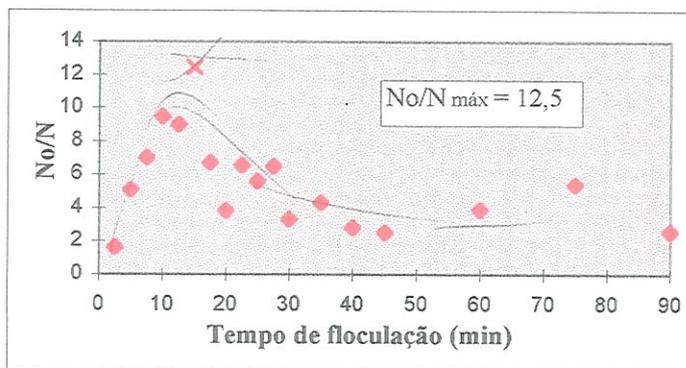


Figura J-11 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 50s^{-1}$ e $V_s = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

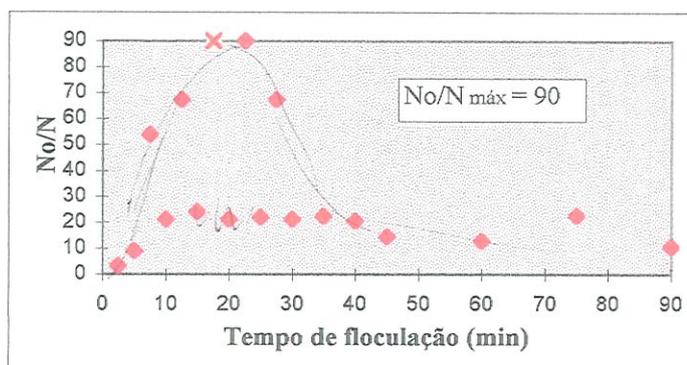


Figura J-12 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $G_f = 50s^{-1}$ e $V_s = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

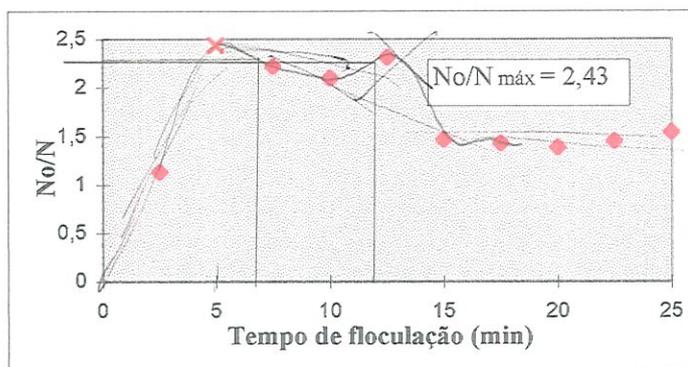


Figura J-13 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 5,0cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

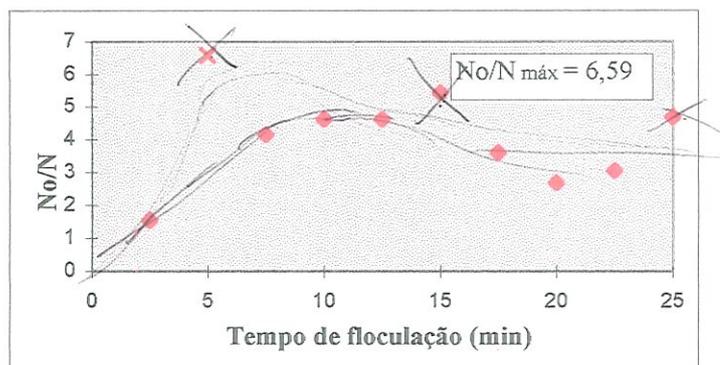


Figura J-14 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 2,5cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.

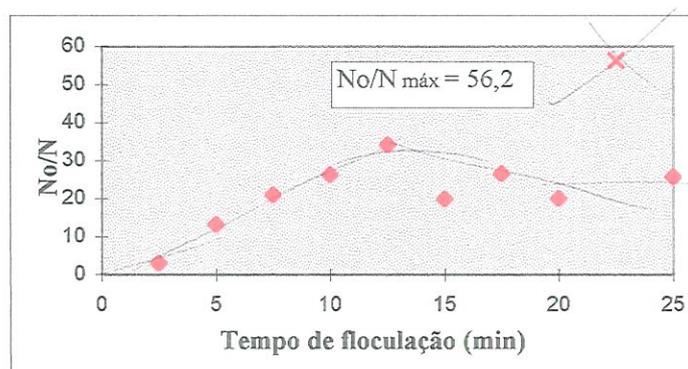


Figura J-15 - Eficiência da floculação em função do tempo de floculação.
Coagulante: Cloreto Férrico. $Gf = 60s^{-1}$ e $Vs = 0,5cm/min$.
Fonte: Tabela F-1.



APÊNDICE A

Desenvolvimento da primeira derivada parcial da equação da
floculação em relação ao parâmetro G_f

f

Desenvolvimento da equação referente à primeira derivada parcial da equação da floculação em relação ao parâmetro G_f (gradiente de velocidade médio na floculação)

A equação da floculação desenvolvida por BRATBY et al (1977) para reatores estáticos é a seguinte:

$$\frac{n_0}{n_1} = \left[\frac{K_B}{K_A} G_f + \left(1 - \frac{K_B}{K_A} G_f \right) e^{-K_A G_f T_f} \right]^{-1}, \text{ ou, reescrevendo:}$$

$$\frac{n_1}{n_0} = \frac{K_B}{K_A} G_f + e^{-K_A G_f T_f} - \frac{K_B}{K_A} G_f e^{-K_A G_f T_f}$$

O desenvolvimento da primeira derivada parcial em relação a G_f é mostrado a seguir:

$$\frac{\partial \frac{n_1}{n_0}}{\partial G_f} = \frac{K_B}{K_A} + e^{-K_A G_f T_f} (-K_A T_f) - \left[\frac{K_B}{K_A} e^{-K_A G_f T_f} + \frac{K_B}{K_A} G_f e^{-K_A G_f T_f} (-K_A T_f) \right]$$

fazendo $\frac{\partial \frac{n_1}{n_0}}{\partial G_f} = 0$, tem-se:

$$0 = \frac{K_B}{K_A} - K_A T_f e^{-K_A G_f T_f} - \frac{K_B}{K_A} e^{-K_A G_f T_f} + \frac{K_B}{K_A} K_A G_f T_f e^{-K_A G_f T_f}$$

$$K_A T_f e^{-K_A G_f T_f} = \frac{K_B}{K_A} \left[1 - e^{-K_A G_f T_f} + K_A G_f T_f e^{-K_A G_f T_f} \right]$$

$$K_B = \frac{K_A^2 T_f e^{-K_A G_f T_f}}{1 + e^{-K_A G_f T_f} (K_A G_f T_f - 1)}, \text{ ou}$$

$$K_B = \frac{K_A^2 T_f e^{-K_A G_f T_f}}{1 + K_A G_f T_f e^{-K_A G_f T_f} - e^{-K_A G_f T_f}}$$

