

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

INFLUÊNCIA DA PRÉ - OZONIZAÇÃO NA COAGULAÇÃO - FLOCULAÇÃO
UTILIZANDO O CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE

VOLUME I

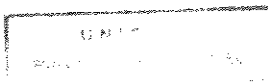
MARIA DE LOURDES DI MATTEO

ORIENTADOR: DR. LUIZ DI BERNARDO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade de Campinas, para obtenção do título Mestre em Hidráulica e Saneamento.

*VERSÃO DEFINITIVA
PROVADA
Luiz Di Bernardo
26/07/93*

Campinas
Estado de São Paulo
Junho de 1992



INFLUÊNCIA DA PRÉ - OZONIZAÇÃO NA COAGULAÇÃO - FLOCULAÇÃO
UTILIZANDO O CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE

VOLUME I

MARIA DE LOURDES DI MATTEO

ORIENTADOR: DR. LUIZ DI BERNARDO

DEDICATÓRIA

A

Jesus Cristo,

Meu pai e à memória de minha mãe.

AGRADECIMENTOS

Ao Prof. Dr. Luiz Di Bernardo pela orientação, interesse e apoio no decorrer desta pesquisa.

Ao Coordenador do Curso de Pós-Graduação em Hidráulica e Saneamento, Prof. Dr. Evaldo Coiado, pela dedicação e orientação dispensadas.

À UNICAMP pelo auxílio financeiro recebido.

Ao Serviço Municipal de Água e Esgoto de Piracicaba (SEMAE), na pessoa de seu Presidente Eng. Hugo Marcos Piffer Leme e ao chefe de Departamento de Produção e Tratamento, Eng. Gilson Luis Merli, pelas facilidades no uso do laboratório para a realização do trabalho experimental.

À empresa Filsan Equipamentos e Sistemas S/A. pela concessão dos equipamentos para elaboração dos ensaios de ozonização.

Ao Instituto de Física e Química, da USP-São Carlos, Departamento de Química, pela atenção e disponibilidade das células especiais para uso no espectrofotômetro.

Aos técnicos do laboratório de saneamento da Faculdade de Engenharia Civil (UNICAMP) pela colaboração.

Ao Prof. Dr. Ruben Bresaola Junior pela atenção e colaboração durante a realização da revisão bibliográfica.

Aos docentes do Departamento de Hidráulica e Saneamento da UNICAMP pelo incentivo.

Ao desenhista Antonio Carlos Donizete Roque pela execução das figuras.

Ao Eng. Geraldo Giraldi de Oliveira pelo incentivo e apoio no início do curso.

Em especial, ao meu noivo, Eng. Roberto Bresaola pelo incentivo, colaboração, pela dedicação e paciência dispensadas durante o decorrer de todo este trabalho.

S U M Á R I O

1. Introdução.....	1
2. Objetivos.....	6
3. Revisão Bibliográfica.....	7
3.1 - Coagulação - Floculação.....	7
3.1.1 - Considerações Gerais.....	7
3.1.1.1 - Alcalinidade, Acidez e pH.....	8
3.1.1.2 - Dureza.....	10
3.1.1.3 - Sólidos Totais e Condutividade.....	11
3.1.1.4 - Temperatura.....	12
3.1.1.5 - Características Micro- biológicas.....	13
3.1.1.6 - Metais.....	15
3.1.1.7 - Turbidez e Número de Partículas.....	19
3.1.1.8 - Cor.....	22
3.1.2 - Origem das Cargas das Partículas.....	24
3.1.2.1 - Substâncias Húmicas.....	24
3.1.2.2 - Partículas Coloidais.....	25
3.1.3 - Estabilidade dos Colóides.....	26
3.1.3.1 - Configuração da Dupla Camada Elétrica.....	26
3.1.4 - Coagulação - Floculação.....	30
3.1.4.1 - Coagulação.....	30
3.1.4.2 - Mecanismos de Coagu- lação.....	32
3.1.4.3 - Floculação.....	35
3.1.5 - Diagrama de Coagulação.....	36
3.1.5.1 - Considerações Iniciais.....	36
3.1.5.2 - Diagrama de Solubilida- de do Cloreto Férrico.....	37

3.1.5.3 - Espécies de Ferro em Equilíbrio com o Precipitado.....	39
3.1.6 - Aplicabilidade do Diagrama de Solubilidade do Composto de Ferro na Coagulação.....	41
3.1.6.1 - Características Gerais Diagrama de Coagulação.....	41
3.1.7 - Influência da Concentração da Solução do Coagulante na Eficiência da Coagulação.....	48
3.2 - Ozônio.....	49
3.2.1 - Considerações Gerais.....	49
3.2.2 - Propriedades Químicas do Ozônio.....	56
3.2.3 - Produção de Ozônio.....	68
3.2.3.1 - Equipamento de Preparação do Gás Alimentador.....	73
3.2.3.2 - Geradores de Ozônio.....	75
3.2.3.3 - Dispositivos Elétricos.....	76
3.2.3.4 - Sistema de Refrigeração.....	78
3.2.3.5 - Instrumentação.....	80
3.2.3.6 - Câmara de Contato.....	80
3.2.3.7 - Destruição do Excesso de Ozônio.....	81
3.2.4 - Transferência de Ozônio.....	82
3.2.5 - Análises para Determinação da Concentração de Ozônio.....	92
3.2.5.1 - Métodos para Análises de Ozônio Dissolvido na Água.....	94
3.2.6 - Pré-Ozonização.....	98
3.2.6.1 - Benefícios da Pré - Ozonização.....	105
3.2.7 - Pós - Ozonização.....	129
3.2.8 - Aspectos de Saúde Pública.....	129

4. Investigação Experimental.....	132
4.1 - Considerações Iniciais.....	132
4.2 - Descrição das Instalações.....	136
4.2.1 - Equipamento para Ensaio de Coa - gulação - Flocculação.....	136
4.2.2 - Conjunto Piloto de Geração de Ozônio.....	137
4.3 - Programação do Trabalho Experimental.....	156
4.4 - Produtos Químicos.....	157
4.5 - Fase I: Ensaio de Coagulação-Flocculação.....	159
4.5.1 - Confeccção de Diagrama de Coa - gulação.....	159
4.5.1.1 - Considerações Iniciais.....	159
4.5.1.2 - Caracterização da Água Bruta.....	160
4.5.1.3 - Procedimento do Tra - balho.....	161
4.5.1.4 - Seleção dos Pontos ótimos de Coagulação - Flocculação.....	162
4.6 - Fase II: Ensaio Preliminares à Pré - Ozonização.....	162
4.6.1 - Considerações Iniciais.....	162
4.6.2 - Metodologia para Determinação do Ozônio na Fase Gasosa.....	163
4.6.2.1 - Determinação da Produção.....	163
4.6.2.2 - Determinação do Exces so de Gás Ozônio "Off- gas"	165
4.6.3 - Estudo do Comportamento da Água Bruta Pré - Ozonizada, Controlada com Ensaio de Flocculação em Fun- ção do Tempo.....	166
4.6.3.1 - Considerações Iniciais.....	166

4.6.3.2 - Metodologia dos Ensaios Preliminares de Flocculação.....	170
4.6.4 - Metodologia Para Determinação do Ozônio na Fase Líquida.....	173
4.6.4.1 - Determinação do Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico.....	174
4.6.4.2 - Determinação do Residual de Ozônio na Água, através do Método Colorimétrico (Indigo Trissulfonato, Método B).....	179
4.7 - Fase III: Aplicação da Pré - Ozonização.....	184
4.7.1 - Considerações Iniciais.....	184
4.7.2 - Procedimento.....	184
4.7.2.1 - Aplicação da Pré - Ozonização.....	184
4.7.2.2 - Ensaios de Coagulação-Floculação.....	188
5. Resultados.....	192
5.1 - Características da Água de Estudo.....	192
5.2 - Fase Experimental I.....	192
5.3 - Fase Experimental II.....	193
5.4 - Fase Experimental III.....	197
6. Discussão.....	210
6.1 - Fase Experimental I.....	210
6.1.1 - Diagramas de Eficiência de Coagulação.....	211
6.2 - Fase Experimental II.....	214
6.3 - Fase Experimental III.....	218
6.3.1 - Exames Bacteriológicos.....	218
6.3.2 - Determinação do Residual de Ozônio na Água.....	219

6.3.3 - Ensaio de Coagulação, Floculação com as Águas Brutas Natural e Pré-Ozonizadas.....	220
6.3.3.1 - Remoção de Turbidez e Cor Aparente da Água Decantada.....	220
6.3.3.2 - Remoção de Ferro e Man ganês.....	222
7. Conclusões.....	229
8. Recomendações.....	232
9. Referência Bibliográfica.....	234
Apêndice - A	251
Apêndice - B	292
Apêndice - C	295
Apêndice - D	335
Apêndice - E	344
Apêndice - F	352
Apêndice - G	360
Apêndice - H	455
Apêndice - I	512

LISTA DE TABELAS

Tabela	TÍTULO	Página
3.1 -	Características dos Microrganismos que podem estar presentes nas Águas de Abastecimento.....	14
3.2 -	Características da Sedimentabilidade de Partículas Suspensas e em Estado Coloidal.....	21
3.3 -	Efeitos dos Oxidantes em Alguns Elementos Constituintes nas Águas Superficiais.....	53
3.4 -	Comparação das Propriedades do Cloro e Ozônio.....	55
3.5 -	Grupos Funcionais Orgânicos e Orgânicos Metálicos passíveis de reação com o Ozônio.....	60
3.6 -	Parâmetros utilizados para Projeto de Geradores de Ozônio.....	78
4.1 -	Resultados das Análises Físico, Físico-Química, Química e Bacteriológica do Rio Piracicaba.....	134
4.2 -	Resultados das Análises Químicas do Rio Piracicaba.....	135
4.3 -	Resumo das Fases Experimentais.....	156
4.4 -	Produtos Químicos.....	157
4.5 -	Tempos de Floculação * Velocidade de Sedimentação.....	171
5.1 -	Características da Água de Estudo.....	192
5.2 -	Pares de Valores (Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação) Obtidos Através dos Diagramas de Coagulação.....	193

	Página
5.3 - Resumo de Tabelas com Resultados dos Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação das Águas Brutas Natural e Pré-Ozonizadas Anexas ao Apêndice C.....	194
5.4 - Resumo das Tabelas Anexas aos Apêndices D; E e F.....	195
5.5 - Resumo Geral de Tabelas e Figuras com Resultados dos Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação das Águas Brutas Natural e Pré - Ozonizadas.....	198
5.6 - Resumo das tabelas contendo valores das condições de operação de ozonização - Apêndice G...200	
5.7 - Resumo das Concentrações Médias Residuais de Ozônio na Água (Método Colorimétrico) à Produção Constante - Apêndice G.....	201
5.8 - Resumo dos Resultados dos Exames Bacteriológicos.....	201
5.9 - Resumo Geral de Tabelas e Figuras com Resultantes dos Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação das Águas Brutas Natural e Pré - Ozonizadas, para Cada Velocidade de Sedimentação - Anexas ao Apêndice H.....	203
5.10 - Resumo das Maiores Remoções de Turbidez - Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min.....	204
5.11 - Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min.....	205
5.12 - Resumo das Maiores Remoções de Turbidez - Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min.....	205

5.13 - Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min.....	206
5.14 - Resumo das Maiores Remoções de Turbidez - Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min.....	206
5.15 - Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min.....	207
5.16 - Resumo das Maiores Remoções de Turbidez - Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min.....	208
5.17 - Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min.....	209
A.1 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	252
A.2 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	253
A.3 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	254
A.4 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	255
A.5 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	256

A.6	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	257
A.7	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	258
A.8	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	259
A.9	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	260
A.10	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	261
A.11	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	262
A.12	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	263
A.13	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	264
A.14	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	265

A.15 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	266
A.16 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	267
A.17 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	268
A.18 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	269
A.19 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	270
A.20 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	271
A.21 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	272
A.22 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	273
A.23 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	274

	Página
A.24 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	275
A.25 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	276
A.26 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	277
A.27 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	278
A.28 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	279
A.29 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	280
A.30 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	281
A.31 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	282
A.32 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	283

A.33 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	284
A.34 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	285
A.35 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	286
A.36 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	287
A.37 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	288
A.38 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	289
A.39 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	290
A.40 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente.....	291
C.1 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	296

	Página
C.2 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	297
C.3 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	298
C.4 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	299
C.5 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	300
C.6 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	301
C.7 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	302
C.8 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	303
C.9 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	304
C.10 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	305

C.11 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	306
C.12 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	307
C.13 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	308
C.14 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	309
C.15 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	310
C.16 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	311
C.17 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	312
C.18 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	313

	Página
C.19 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	314
C.20 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	315
C.21 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	316
C.22 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	317
C.23 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	318
C.24 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	319
C.25 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	320
C.26 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	321
C.27 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	322

Página

C.28 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	323
C.29 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	324
C.30 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	325
C.31 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	326
C.32 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	327
C.33 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	328
C.34 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	329
C.35 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	330
C.36 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	331

	Página
C.37 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	332
C.38 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	333
C.39 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, para valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural.....	334
D.1 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	336
D.2 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	337
D.3 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	338
D.4 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	339
D.5 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	340
D.6 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	341
D.7 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	342
D.8 - Residual de Ozônio na água, Método Iodométrico.....	343
E.1 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	345

E.2	- Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.....	346
E.3	- Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.....	347
E.4	- Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.....	348
E.5	- Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.....	349
E.6	- Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.....	350
E.7	- Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.....	351
F.1	- Ensaio de Pré-Ozonização.....	353
F.2	- Residuais de Ozônio na água, Método Colorimétrico.....	354
F.3	- Residuais de Ozônio na água, Método Colorimétrico.....	355
F.4	- Residuais de Ozônio na água, Método Colorimétrico.....	356
F.5	- Residuais de Ozônio na água, Método Colorimétrico.....	357
F.6	- Residuais de Ozônio na água, Método Colorimétrico.....	358
F.7	- Residuais de Ozônio na água, Método Colorimétrico.....	359

6.1	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	362
6.2	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	363
6.3	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	364
6.4	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	365
6.5	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	366
6.6	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	367
6.7	- Ensaio de Pré-Ozonização.....	376
6.8	- Concentração do residual de Ozônio na Água.....	378
6.9	- Resultados de Exames Bacteriológicos.....	380
6.10	- Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	382

G.11 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	383
G.12 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	384
G.13 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	385
G.14 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	386
G.15 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	387
G.16 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	396
G.17 - Concentração do residual de Ozônio na Água.....	398
G.18 - Resultados de Exames Bacteriológicos.....	400
G.19 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	402
G.20 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	403

6.21 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	404
6.22 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	405
6.23 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	406
6.24 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	407
6.25 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	416
6.26 - Concentração do residual de Ozônio na Água.....	418
6.27 - Resultados de Exames Bacteriológicos.....	420
6.28 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	422
6.29 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	423
6.30 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	424

6.31 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	425
6.32 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	426
6.33 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	427
6.34 - Ensaio de Pré-Ozonização.....	436
6.35 - Concentração do residual de Ozônio na Água.....	438
6.36 - Resultados de Exames Bacteriológicos.....	440
6.37 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	442
6.38 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	443
6.39 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	444
6.40 - Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	445

6.41 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	446
6.42 - Ensaio de Coagulação, Flocculação e Sedimentação. Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente.....	447
H.1 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min).....	457
H.2 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min).....	458
H.3 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min).....	459
H.4 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min).....	460
H.5 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min).....	461

H.6	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min).....	462
H.7	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min).....	471
H.8	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min).....	472
H.9	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min).....	473
H.10	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min).....	474
H.11	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min).....	475
H.12	- Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min).....	476

H.13 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min).....	485
H.14 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min).....	486
H.15 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min).....	487
H.16 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min).....	488
H.17 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min).....	489
H.18 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min).....	490
H.19 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min).....	499

H.20 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min).....	500
H.21 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min).....	501
H.22 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min).....	502
H.23 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min).....	503
H.24 - Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural (Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min).....	504
I.1 - Concentrações de Ferro e Manganês na Água.....	513

LISTA DE FIGURAS

Figura	TÍTULO	Página
1.1 -	Localização da Bacia do Rio Piracicaba.....	2
1.2 -	Esquema da Bacia do Rio Piracicaba.....	3
3.1 -	Concentração Molar das Diferentes Espécies no Sistema do Ácido Carbono, em Função da Variação do pH.....	9
3.2 -	Relação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade.....	12
3.3 -	Diagrama de Solubilidade para o Sistema $\text{FeCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	17
3.4 -	Diagrama de Solubilidade para o Sistema $\text{MnCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$	18
3.5 -	Distribuição de Tamanhos das Partículas Presentes em Águas Naturais.....	20
3.6 -	Efeito da Filtração de uma Suspensão em Leito de Areia.....	21
3.7 -	Esquema da Superfície de uma Partícula Coloi- dal com a Distribuição de Cargas Elétricas Segundo o Modelo de Stern.....	27
3.8 -	Distribuição do Potencial na Dupla Camada Elétrica.....	28
3.9 -	Energia Potencial de Interação entre as Partículas Coloidais.....	29

	Página
3.10 - Relação entre a Concentração de Colóides e a Dosagem de Coagulante para Floculação e Sedimentação.....	34
3.11 - Diagrama de Solubilidade para o Hidróxido de Ferro III.....	38
3.12 - Composição das Espécies em uma Solução Estoque de Cloreto Férrico.....	39
3.13 - Concentração de Ferro III em Função do pH.....	40
3.14 - Diagrama de Coagulação do Ferro III.....	43
3.15 - Diagrama de Coagulação do Ferro III com Resultados de Dois Diferentes Estudos.....	43
3.16 - Diagrama de Coagulação-Percentagem de Cor Remanescente em Função da Dosagem de Cloreto Férrico e do pH.....	45
3.17 - Diagrama de Coagulação-Percentagem de Cor Remanescente em Função da Dosagem de Cloreto Férrico e do pH.....	46
3.18 - Diagrama de Coagulação do Ferro III. Percentagem de Remoção de Cor em Função da Dosagem de Cloreto Férrico e do pH.....	47
3.19 - Pontos de Aplicação de Oxidantes Químicos em Tratamento de Água.....	51
3.20 - Possíveis Formas do Ozônio Devido a Ressonância Eletrônica.....	56
3.21 - Mecânismo de Cadeia Cíclica da Decomposição do Ozônio.....	58

	Página
3.22 - Reações entre o Ozônio e Compostos Orgânicos na água.....	59
3.23 - Esquemas do Comportamento da Molécula de Ozônio.....	61
3.24 - Possível Reação Eletrofilica do Ozônio com Grupos Aromáticos.....	63
3.25 - Configuração Básica de Geradores de Ozônio.....	71
3.26 - Gerador de Ozônio.....	76
3.27 - Decomposição Térmica do Ozônio [A 5% (peso) de O ₂ ; B 2% (peso) de O ₂ ; C 1% (peso) de O ₂ ; 0.5% (peso) de O ₂].....	79
3.28 - Exemplo de uma Unidade Destruidora de Ozônio.....	82
3.29 - Perfil da Concentração de Gás Durante a sua Absorção.....	83
3.30 - Solubilidade do Ozônio em função da Pressão na Temperatura de 20°C.....	87
3.31 - Variação da Concentração de Ozônio em Função da Temperatura (°C).....	88
3.32 - Influência da Temperatura na Concentração de Ozônio Dissolvido.....	89
3.33 - Velocidade de Ascensão das Bolhas em Função do Diâmetro.....	91
3.34 - Reação Estéquiométrica entre o Ozônio e o Indigo Trissulfonato.....	98

	Página
3.35 - Ozonização do Fenol.....	111
3.36 - Eficiência da Pré-Ozonização na Redução de Bacteriófagos.....	115
3.37 - Remoção da Cor da Água do Rio Merrimack, Ma, através das Unidades de Tratamento, com e sem Pré-Ozonização.....	119
3.38 - Efeito da Pré-Ozonização e Pré-Cloração no Valor de THMFP (7d) em Instalações Piloto, com Diferentes Meios Granulares.....	123
3.39 - Redução Média no Nível de THMFP na Estação de Tratamento de Água de Los Angeles.....	123
3.40 - Interação Entre Ozônio, Brometos e Precursores de THM.....	127
3.41 - Tolerância do Ser Humano ao Ozônio.....	130
4.1 - Fotografia do Aparelho de Coagulação - Floculação, Utilizado nos Ensaios da Primeira Fase Experimental.....	137
4.2 - Fluxograma do Conjunto de Geração de Ozônio....	138
4.3 - Unidade Completa de Geração de Ozônio.....	139
4.4 - Fotografia do Cilindro de Oxigênio.....	140
4.5 - Fotografia do Gerador de Ozônio Utilizado no Desenvolvimento da Pesquisa.....	141
4.6 - Esquema de um Gerador de Ozônio (piloto).....	142
4.7 - Fotografia Ilustrando o Interior do Gerador de Ozônio.....	143

	Página
4.8 - Fotografia do Sistema de Distribuição do Gás ozônio.....	144
4.9 - Fotografia das Colunas de Produção, Excesso e de Destruição do ozônio.....	144
4.10 - Fotografia da Coluna de Produção de Ozônio Contendo Solução de Iodeto de Potássio Oxidada pela Ação do Ozônio.....	145
4.11 - Esquema da Câmara de Contato e da Coluna de Excesso de Ozônio (off gas).....	147
4.12 - Fotografia da Câmara de Contato.....	148
4.13 - Fotografia Ilustrando o Ponto de Entrada do Gás Ozônio na Câmara e o Local de Descarga Para Limpeza.....	149
4.14 - Fotografia do Difusor de Ozônio.....	149
4.15 - Fotografia Ilustrando o Topo da Câmara, onde está Situado o Ponto de Saída do Excesso do Gás Ozônio.....	150
4.16 - Fotografia da Coluna de Excesso de Ozônio.....	151
4.17 - Fotografia da Coluna Queimadora de Ozônio.....	152
4.18 - Fluxograma do Conjunto para Determinação de Residual de Ozônio na Água (Método Iodométrico), através dos Frascos lavadores....	154
4.19 - Fotografia do Conjunto para Determinação de Residual de Ozônio na Água (Método Iodométrico), através dos frascos lavadores....	155
4.20 - Esquema das Adaptações Efetuadas na Câmara de Contato.....	167

4.21 - Fotografia do Novo Sistema de Coleta de Amostras.....	168
4.22 - Esquema das Alterações realizadas nos reatores de Ensaio de Floculação.....	169
4.23 - Fotografia do Antigo Sistema de Coleta de Amostras.....	170
4.24 - Fluxograma dos Vários Tipos de Ensaios de Floculação Realizados.....	172
4.25 - Pontos de Coleta de Amostras de Residual de Ozônio na Câmara de Contato.....	176
4.26 - Região de Influência de Cada Torneira de Coleta na Câmara de Contato.....	180
6.1 - Ozonização de Água Pura Contendo Ácido Fúlvico (250 mg/l). Evolução do Grupo Carboxílico contido no Ácido Fúlvico em Função da Dosagem de Ozônio.....	226
6.2 - Efeito da Dosagem de Coagulante Ferro III e Concentração do Ácido Fúlvico, no Residual de Ferro Após Coagulação e Clarificação.....	227
B.1 - Diagrama de Coagulação - Fe(III) - Turbidez Remanescente (%).....	293
B.2 - Diagrama de Coagulação - Fe(III) - Cor Aparente Remanescente (%).....	294

- G.1.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....369
- G.1.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....369
- G.2.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....370
- G.2.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....370
- G.3.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....371
- G.3.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....371
- G.4.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....372

- G.4.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....372
- G.5.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....373
- G.5.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....373
- G.6.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....374
- G.6.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....374
- G.10.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....389
- G.10.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....389

- G.11.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....390
- G.11.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....390
- G.12.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....391
- G.12.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....391
- G.13.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....392
- G.13.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....392
- G.14.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....393

- G.14.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....393
- G.15.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....394
- G.15.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....394
- G.19.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....409
- G.19.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....409
- G.20.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....410
- G.20.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....410

- G.21.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....411
- G.21.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....411
- G.22.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....412
- G.22.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....412
- G.23.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....413
- G.23.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....413
- G.24.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....414

	Página
G.24.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	414
G.28.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	429
G.28.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	429
G.29.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	430
G.29.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	430
G.30.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	431
G.30.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....	431

- G.31.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....432
- G.31.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....432
- G.32.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....433
- G.32.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....433
- G.33.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....434
- G.33.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....434
- G.37.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....449

- G.37.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....449
- G.38.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....450
- G.38.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....450
- G.39.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....451
- G.39.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....451
- G.40.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....452
- G.40.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....452

- G.41.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....453
- G.41.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....453
- G.42.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....454
- G.42.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.....454
- H.1.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min, nas Condições Especificadas.....464
- H.1.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas....464
- H.2.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min, nas Condições Especificadas.....465

- H.2.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas....465
- H.3.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min, nas Condições Especificadas.....466
- H.3.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas....466
- H.4.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min, nas Condições Especificadas.....467
- H.4.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas....467
- H.5.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min, nas Condições Especificadas.....468
- H.5.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas....468

- H.6.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7cm/min, nas Condições Especificadas.....469
- H.6.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas....469
- H.7.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min, nas Condições Especificadas.....478
- H.7.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas....478
- H.8.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min, nas Condições Especificadas.....479
- H.8.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas....479
- H.9.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min, nas Condições Especificadas.....480

- H.9.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas....480
- H.10.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min, nas Condições Especificadas.....481
- H.10.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas....481
- H.11.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min, nas Condições Especificadas.....482
- H.11.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas....482
- H.12.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1cm/min, nas Condições Especificadas.....483
- H.12.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas....483

- H.13.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min, nas Condições Especificadas..... 492
- H.13.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.... 492
- H.14.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min, nas Condições Especificadas..... 493
- H.14.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.... 493
- H.15.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min, nas Condições Especificadas..... 494
- H.15.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.... 494
- H.16.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min, nas Condições Especificadas..... 495

- H.16.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas....495
- H.17.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min, nas Condições Especificadas.....496
- H.17.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas....496
- H.18.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6cm/min, nas Condições Especificadas.....497
- H.18.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas....497
- H.19.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min, nas Condições Especificadas.....506
- H.19.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas....506

- H.20.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min, nas Condições Especificadas.....507
- H.20.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas....507
- H.21.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min, nas Condições Especificadas.....508
- H.21.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas....508
- H.22.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min, nas Condições Especificadas.....509
- H.22.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas....509
- H.23.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min, nas Condições Especificadas.....510

- H.23.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas....510
- H.24.1 -Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8cm/min, nas Condições Especificadas.....511
- H.24.2 -Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas....511

LISTA DE SIMBOLOS

- a : área interfacial específica (m^{-1});
 $[A]$: concentração do gás dissolvido (M);
 $[A^*]$: solubilidade do gás A (M);
 C : concentração do ozônio na fase líquida (g/m^3);
 C^* : concentração do ozônio na fase gasosa (g/m^3);
 D_A : difusão do gás (m^2/s);
 D_{coag} : dosagem de coagulante (mg/l);
 Doz
 A_{plic} : dosagem de ozônio aplicado (mg O_3 /l);
 $[I]_e$: concentração da espécie (eq/l);
 E : fator pela qual a presença da reação química aumenta a máxima absorção física, igual a $K_L \cdot a \cdot [A^*]$;
 H : constante da Lei de Henry para ozônio (0,082 $atm \cdot m^3 \cdot g/mol$ à 25°C);
 K : taxa constante de decomposição do gás ($l^{m-1} \cdot mol^{1-m}/s$);
 K_i : taxa de decomposição do substrato ($M^{-1} s^{-1}$)
 K_L : coeficiente de transferência de massa líquida (m/s);
 K_o : taxa constante de decomposição do ozônio ($M^{-1} s^{-1}$);
 m : ordem da reação do gás;
 N_A : taxa de absorção do gás ($mol/s \cdot m^2$);
 P_a : pressão parcial do ozônio na fase gasosa (kPa);
 pH_c : pH de coagulação;
 pK_a : constante de dissociação do ácido;
 r : taxa de decomposição do ozônio ($mol/l \cdot s$);
 S_i : os substratos presentes na água e que consomem o ozônio (g);

- T : temperatura da água ($^{\circ}\text{C}$);
t_f : tempo de floculação (min);
T_{oz} : tempo de aplicação de ozônio (min);
V_s : velocidade de sedimentação (cm/min);

R E S U M O

O contínuo aumento da poluição devido ao desenvolvimento industrial e o crescimento populacional em uma área específica pode afetar cada vez mais a qualidade das fontes dos mananciais, exigindo o uso de tecnologias confiáveis de tratamento para abastecimento público.

Quando compostos orgânicos e inorgânicos, e altas concentrações de microrganismos estão presentes na água, a pré-oxidação é altamente recomendada, como é o caso da cidade de Piracicaba, a qual extrai a água bruta do rio de mesmo nome.

Devida a alta dosagem de cloro livre na pré-cloração para se atingir o "break point", e a potencialidade de formação de trihalometanos, a aplicabilidade de um desinfectante primário alternativo, como o ozônio, foi estudada em uma unidade piloto.

A revisão bibliográfica enfoca as características do diagrama de coagulação do cloreto férrico para remoção de turbidez e cor, e o processo de ozonização, incluindo geração, aplicação e resultados da unidade piloto e em escala natural, no tratamento de água. Neste trabalho são também apresentados detalhes sobre a unidade piloto e a metodologia usada na investigação experimental.

Baseado no estudo realizado, concluiu-se que a pré-ozonização resultou efetiva na remoção do número de coliforme (para todas as dosagens de ozônio aplicadas). A remoção mais significativa de turbidez e cor aparente ocorreu através dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação para a velocidade de sedimentação de 0,8cm/min, nas dosagens de cloreto férrico de 60mg/l (pHc=6,4) e 15mg/l (pHc=3,6) para as águas brutas natural e pré-ozonizadas. A melhor remoção de ferro, independentemente das condições da água, ocorreu para a dosagem de cloreto férrico de 60mg/l (pHc=6,4).

S U M M A R Y

The continuous increase of pollution due to industrial development and growth of population in a specific area may affect more and more the quality of water sources, demanding the use of reliable treatment technologies for public supply.

When organic and inorganic compounds and high concentrations of microorganisms are present in the water, preoxidation is strongly recommended as it is the case of the city of Piracicaba, SP, Brazil, which intake raw water from a river with the same name.

Because of the high dosage of free chlorine for prechlorination at breakpoint dosage and the potenciality of forming trihalomethanes, the applicability of an alternative of primary disinfectant such as ozone was studied in a pilot plant facility.

Literature review focusing coagulation diagram characteristics of ferric chloride for turbidity and colour removal, and the ozonation process, including generation, application and results of pilot plant and full-scale plants for water treatment are presented herein. Details about the pilot plant and methodology used for experimental work are also presented.

Based on the study performed, it was concluded that preozonation resulted effective in the reduction of coliform number (for all dosages of ozone applied). The most significative remotions of turbidity and colour apparent, through assays of coagulations, flocculation and sedimentations, occurred in the velocity of sedimentation of 0,8cm/min, at the ferric chloride dosages of 60mg/l (pHc=6,4) and 15mg/l (pHc=3,6) for the raw waters (natural and ozonated). The best remotion of iron, independently of water conditions, occurred at the dosage of ferric chloride of 60mg/l (pHc=6,4).

1. INTRODUÇÃO

As atividades econômicas e sociais de uma região, constituem fatores geradores de transformações no meio ambiente. Neste sentido, a atividade industrial ocupa papel de destaque, pelos seus efeitos diretos, como a geração de poluição e exploração de recursos naturais, ou indiretos, como a atração de outras indústrias, a alteração da produção rural e concentração populacional. O desenvolvimento desenfreado, sem um planejamento adequado do controle ambiental, tem sido fato preocupante em nossos dias. O aumento progressivo da poluição-contaminação dos cursos d'água, a maioria responsável pelo abastecimento de muitas comunidades, tem sido causa de pesquisas de implantação de novas tecnologias de tratamento, para que seja distribuída água com parâmetros enquadrados nas exigências de potabilidade.

A bacia hidrográfica do rio Piracicaba (Figura 1.1) situa-se em uma das regiões de maior desenvolvimento do Estado de São Paulo, apresentando grandes centros urbanos como Campinas, Americana, Limeira, Piracicaba, Sumaré, Rio Claro, e outros em pleno desenvolvimento como Valinhos e Santa Bárbara.

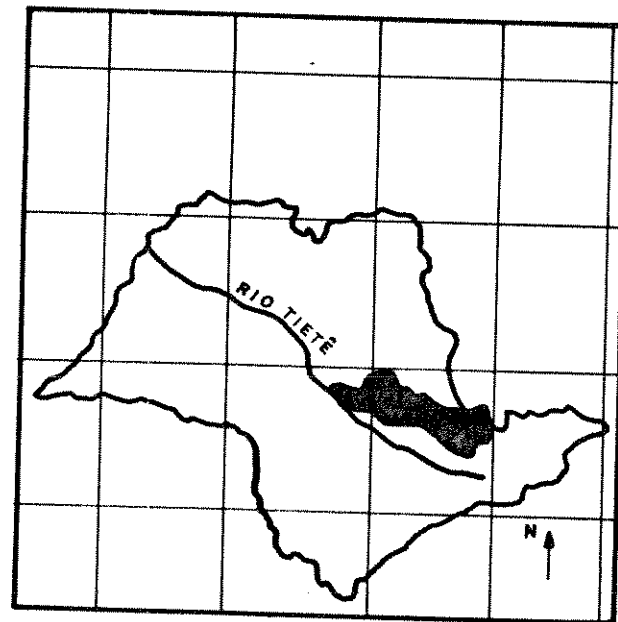


FIGURA 1.1 - Localização da Bacia do Rio Piracicaba.
Extraído de Prochnow, 1981.

A bacia do rio Piracicaba abrange uma área de 12.400 km², com 90% situada em território paulista, com quarenta municípios e, o restante, em território mineiro, com apenas quatro municípios. Apresenta forma alongada no sentido leste-oeste, comprimento aproximado de 250 km e largura média de 50 km, e faz divisa ao norte com a bacia do rio Mogi-Guaçu, à leste com a bacia do rio Paraíba, ao sul com as bacias dos rios Capivari e Jundiá e à oeste com pequenas bacias hidrográficas contribuintes desse mesmo rio. É formada pelas sub-bacias dos rios Corumbataí com 1.700 km², Jaguari com 4.290 km² e Atibaia com 2.760 km² (Derísio, 1987; Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990). A Figura 1.2 ilustra um esquema da bacia do rio Piracicaba.

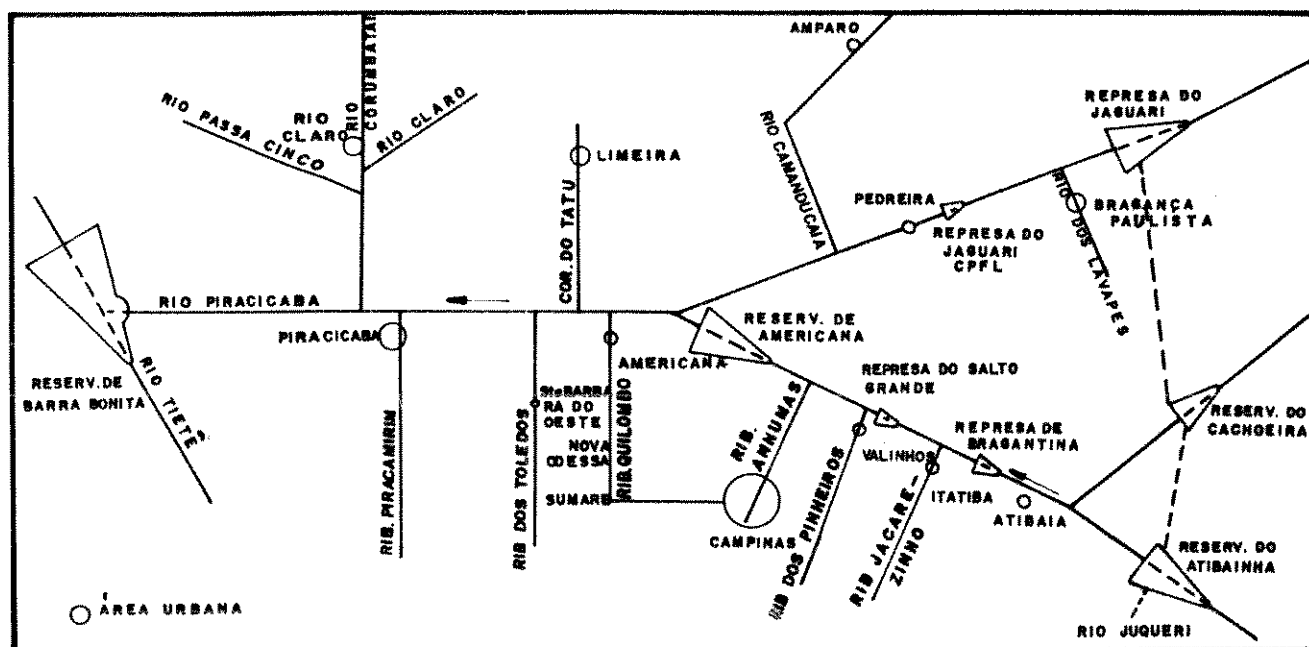


FIGURA 1.2 - Esquema da Bacia do Rio Piracicaba.
Extraído de Derísio, 1987.

O rio Piracicaba é um dos mananciais situados no Estado de São Paulo que mais vem sentindo os efeitos do progresso. Diariamente, são lançados no mesmo, altas concentrações de cargas poluidoras, modificando as características da água, principalmente no período de estiagem, trazendo dificuldades para o sistema de abastecimento de parte da cidade de Piracicaba.

Os esgotos urbanos, juntamente com os despejos industriais, constituem os principais focos de poluição orgânica da bacia do Piracicaba. A população urbana servida é da ordem de 1.680.000 habitantes, totalizando 113 t/dia de DBO. Sómente nove pequenos municípios possuem tratamento de esgoto ou seja, são removidos apenas 4% da carga orgânica total produzida na bacia (Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990).

Nessa bacia estão implantadas indústrias cujos despejos líquidos apresentam características de toxicidade, como galvanoplastias e indústrias químicas (Derísio, 1987). Além destas destacam-se as usinas de açúcar e álcool, indústrias petroquímicas, papel e celulose e alimentícias (Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990). Nas indústrias sucro-alcooleiras, a remoção da carga poluidora é bastante significativa (cerca de 99%), mas nas demais atividades industriais, a remoção é de apenas 69% , em média (Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990).

Segundo Derísio (1987), em todos os pontos monitorados nesta bacia, no ano de 1985, foram observados coliformes totais e fecais, com valores acima dos limites permissíveis, em função, principalmente, da ausência de sistema de tratamento de esgotos sanitários.

Mortandade de peixes, interrupção de sistemas de tratamento de água devido à poluição dos mananciais, além de queixas da população contra odores e cor da água, são constantes na época de estiagens severas (Conselho Estadual de Recursos Hídricos, 1990 e Derísio, 1987), e, que não são facilmente removidos pela pré-cloração (um dos processos utilizados em duas estações de tratamento de água, na cidade de Piracicaba). Esse procedimento, conforme Rook (1974), possibilita a formação de trihalometanos (THM), compostos que são potencialmente perigosos à saúde.

Em vários países do mundo, a necessidade do controle de THM, forçou a realização de pesquisas sobre métodos substitutivos e apropriados para o controle da matéria orgânica presente nas águas de abastecimento (Glaze, 1987). O ozônio tem sido utilizado extensivamente como oxidante e desinfetante em tratamento de águas superficiais para a produção de água potável na Europa e está cada vez mais sendo aplicado como pré - oxidante nos

Estados Unidos, substituindo a pré-cloração (Grasso et al., 1989). Segundo Glaze (1987), o ozônio pode oxidar muitos compostos orgânicos, inorgânicos e sintéticos, danosos ou potencialmente tóxicos quando presentes nas águas de abastecimento.

Dentre os vários benefícios da pré-ozonização, podem ser destacados a enorme eficiência na remoção de Ferro (II) e Manganês (II) responsáveis pela ocorrência de coloração na água distribuída, na redução de turbidez e cor, pela poderosa ação como oxidante primário e, pela propriedade de coagular constituintes da água natural, auxiliando na coagulação-floculação e possibilitando deste modo, uma diminuição da dosagem de coagulantes químicos a serem adicionados à água a ser tratada (Dowbiggin e Singer, 1989; Farvadin e Collins, 1989; Glaze, 1987; Lepage, 1985; Paillard et al., 1989; Richard e Jacq, 1989).

Em várias estações de tratamento de água, é efetuada a pré-ozonização e empregado o cloreto férrico como coagulante. Este composto possui a propriedade de formar flocos mais densos e maiores que os demais coagulantes e de poder atuar em uma faixa mais ampla de pH. (McKeon e Muldowney, 1987).

Com base neste contexto, dentre as várias pesquisas atualmente em desenvolvimento para melhoria do tratamento de água, decidiu-se investigar o emprego do ozônio como pré-oxidante e do cloreto férrico como coagulante, utilizando-se da água do rio Piracicaba, com a finalidade de se estudar a eficiência na redução de cor aparente, turbidez, ferro, manganês e bactérias.

2. OBJETIVOS

O desenvolvimento deste trabalho tem como principal objetivo estudar a influência da dosagem de ozônio e o tempo de contato nas características de coagulação-floculação de águas de abastecimento, utilizando o cloreto férrico como coagulante.

3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1 - COAGULAÇÃO - FLOCULAÇÃO

3.1.1 - Considerações Gerais

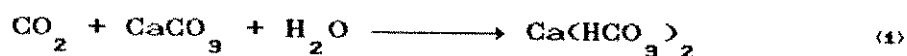
A coagulação - floculação transforma pequenas partículas em agregados maiores, passíveis de sedimentação. O processo global da coagulação inclui duas fases separadas e sequenciais: formação das espécies do coagulante e desestabilização das partículas e, colisões. A formação das espécies do coagulante e desestabilização das partículas ocorrem, por meio de processos químicos e, dependem principalmente do pH em que se realizam, enquanto que as colisões entre as partículas (suspensas e em estado coloidal) é um fenômeno físico de transporte realizado pela difusão e movimento do fluido e controlado por características físicas e químicas do meio.

A coagulação depende, portanto, das características da água bruta, tais como alcalinidade, pH, temperatura, cor, turbidez, sólidos totais dissolvidos, força iônica, tamanho e distribuição das partículas em suspensão e em estado coloidal, potencial zeta, qualidade microbiológica, presença de metais e da intensidade de agitação. A floculação consiste na agregação das

partículas coaguladas, de modo a resultar os flocos, que são removidos por sedimentação. A floculação é, essencialmente, um fenômeno físico e depende da temperatura da água e condições de agitação promovida (Di Bernardo, 1990).

3.1.1.1) Alcalinidade, Acidez e pH

A alcalinidade pode ser entendida como a capacidade da água em neutralizar ácidos, enquanto que, a acidez, pode ser definida como a capacidade da água em neutralizar bases. Os bicarbonatos representam a maior parte de alcalinidade, uma vez que são formados em quantias consideráveis, através da ação do gás carbônico em materiais do solo:



Ácidos orgânicos que são resistentes à oxidação biológica, como por exemplo, o ácido húmico, formam sais que adicionam alcalinidade à água. Sob certas condições, as águas naturais podem conter apreciáveis quantias de alcalinidade por carbonatos e hidróxidos (Sawyer e McCarty, 1978).

A alcalinidade e acidez de soluções aquosas baseiam-se, normalmente, no sistema do ácido carbônico (H_2CO_3), que é um ácido diprótico fraco; isto significa que o sistema do ácido carbônico apresenta três pontos de equivalência. Esse fenômeno é ilustrado através da Figura 3.1 (Bennefield et al., 1982 e Di Bernardo, 1990).

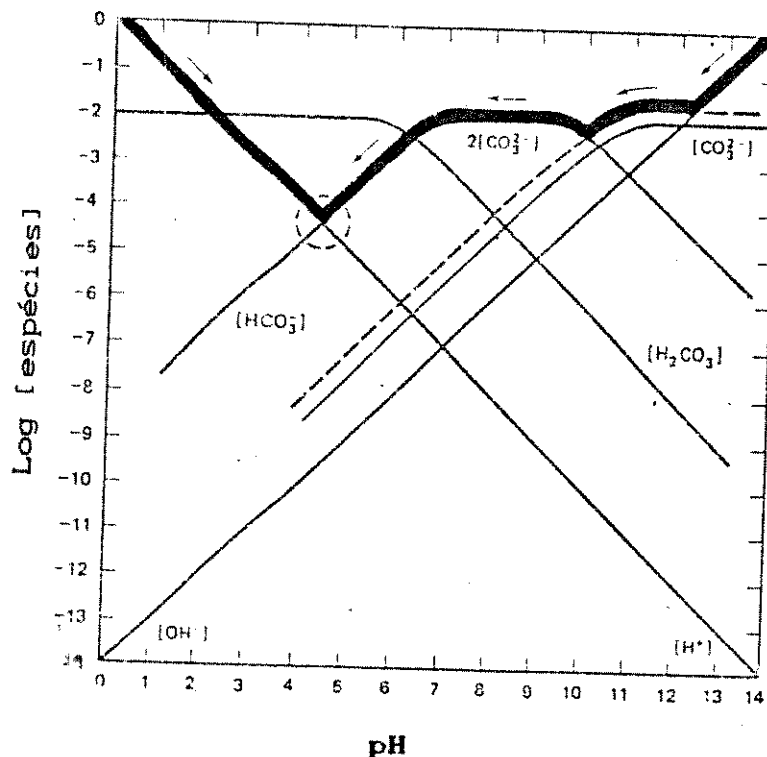


FIGURA 3.1 - Concentração Molar das Diferentes Espécies no Sistema do Ácido Carbono, em Função da Variação do pH.
Extraído de Bennefield, 1982.

Segundo Bennefield et al. (1982) e Di Bernardo (1990), assumindo que a alcalinidade seja devida à presença de uma base forte em solução de ácido carbônico e, a acidez, como a quantidade de ácido forte em solução, tem-se as reações:

$$[\text{Alc}]_e = [\text{CO}_3^{-2}]_e + [\text{HCO}_3^-]_e + [\text{OH}^-]_e - [\text{H}^+]_e \quad (2)$$

$$[\text{Acid}]_e = [\text{H}_2\text{CO}_3]_e + [\text{HCO}_3^-]_e + [\text{H}^+]_e - [\text{OH}^-]_e \quad (3)$$

Coagulantes como sulfato de alumínio e cloreto férrico, liberam prótons em solução aquosa e formam, em função do pH, diferentes espécies hidrolisadas. Se, após a

coagulação, a água for floculada e decantada, antes da filtração, é necessária a formação do precipitado de alumínio, $Al(OH)_3p$, ou de ferro, $Fe(OH)_3p$, que ocorre em condições particulares da combinação "dosagem do coagulante * pH de coagulação resultante". Assim, se a água apresentar alcalinidade baixa, pode ser necessária a adição de alcalinizante para neutralizar prótons liberados, de forma que, para uma determinada dosagem do coagulante, o pH resultante seja aquele que otimiza a coagulação. Por outro lado, se a alcalinidade for elevada, o pH da água bruta muda pouco após a adição do coagulante, dificultando a coagulação quando o sulfato de alumínio for utilizado, de modo que um ácido pode ser requerido para o ajuste de pH ou então, utilizar-se do cloreto férrico, pois a formação do precipitado de $Fe(OH)_3p$, ocorre em valores de pH mais elevados (Di Bernardo, 1990).

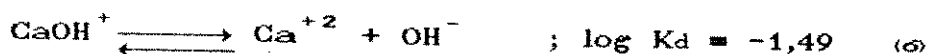
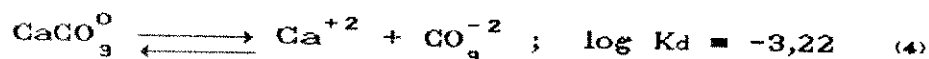
Segundo o autor, existe para cada água, uma ou mais faixas de valores de pH, para as quais ocorre uma eficiente coagulação - floculação, permitindo a remoção de turbidez ou cor. Essas faixas variam muito porque dependem das características das impurezas da água e também das propriedades do coagulante utilizado.

3.1.1.2) Dureza

A dureza presente na água é causada por cátions divalentes. Seus principais causadores são cálcio, magnésio, estrôncio, íons de ferro e de manganês. É expressa geralmente, na forma de carbonato de cálcio, embora possa ocorrer também dureza em forma de bicarbonatos, sulfatos, cloretos e silicatos (Sawyer e McCarty, 1978).

Snoeyink e Jenkins (1980) evidenciam que os íons de cálcio podem formar complexos solúveis fracos com carbonatos, tais como $CaCO_3^0$ e $CaHCO_3^+$; com hidróxidos como

CaOH^+ e de sólidos como $\text{CaCO}_{9(p)}$. As equações (4), (5) e (6) ilustram quimicamente o processo, onde podem ser vistos os valores das constantes de dissociação:



Segundo Dowbiggin e Singer (1989), algumas pesquisas mostraram que altos níveis de cálcio corresponderam a maiores taxas de agregação das partículas, auxiliando deste modo, a coagulação. Esses autores, realizando experimentos com materiais húmicos e concentrações variáveis de cálcio, detectaram aumentos substanciais na taxa de agregação das partículas, com o aumento do cálcio e obtiveram flocos maiores e mais densos na floculação.

As investigações realizadas por Hundt (1985) e O'Melia (1987) mostraram que o íon cálcio exerce grande influência na desestabilização das partículas. Segundo os autores, esse efeito pode ser atribuído a vários fenômenos, tais como, adsorção-neutralização, compressão da dupla camada e formação de pontes iônicas de cálcio e substâncias húmicas (Black, Birknere Morgan, 1965; Dowbiggin e Singer, 1989; Farvadin e Collins, 1989).

3.1.1.3) Sólidos Totais e Condutividade

O teor de sólidos totais dissolvidos (STD) representa a medida dos íons totais em solução. A condutividade elétrica ou a condutância específica (expressa em mho/cm ou $\mu\text{mho/cm}$) pode estar relacionada com o teor de STD, conforme mostra a Figura 3.2.

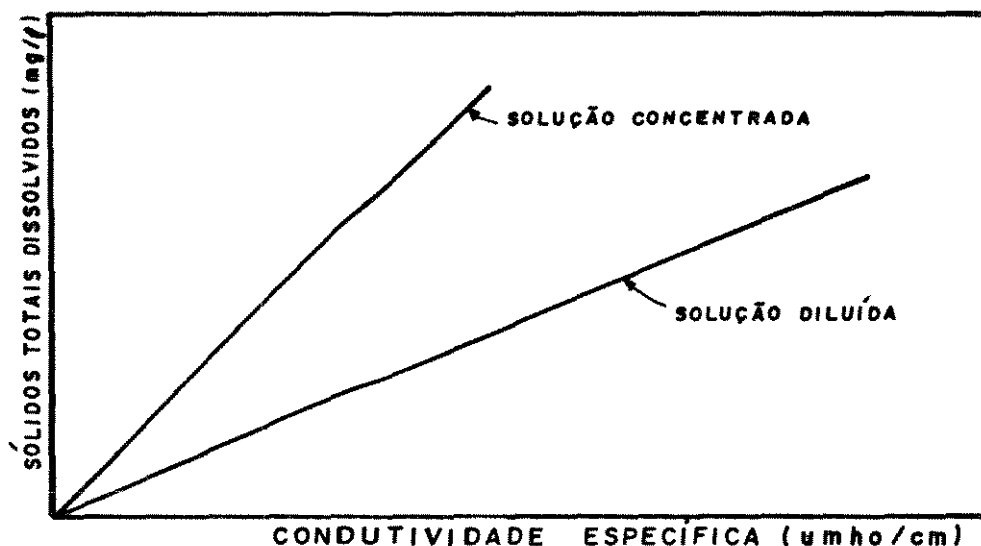


FIGURA 3.2 - Relação entre Sólidos Totais Dissolvidos e Condutividade.
Extraído de Di Bernardo, 1990.

De acordo com Di Bernardo (1990) valores elevados de STD, aumentam a solubilidade dos precipitados $Al(OH)_3$ e $Fe(OH)_3$, influenciam na cinética da coagulação e afetam a formação e precipitação do carbonato de cálcio. A força iônica da solução está relacionada, também, com o teor da STD, devida a presença de sódio, magnésio, cloreto, sulfato, carbonato e bicarbonato. Águas com valores de força iônica muito diferentes, apresentam características de coagulação diferentes, mesmo que os demais parâmetros de qualidade sejam semelhantes.

3.1.1.4) Temperatura

Amirtharajah (1987 b), Morris e Knocke (1984) indicam que a temperatura desempenha um papel importante no processo de remoção de turbidez quando são usados coagulantes com íons metálicos, decrescendo em temperaturas baixas, principalmente para valores entre 0 e 4°C. Morris e Knocke (1984), obtiveram resultados que

mostraram um grande impacto na coagulação com compostos de alumínio para esses valores de temperaturas. Afirmam, também, que a formação de flocos sofre sensível influência com a variação da temperatura, cujo aumento acelera o processo até certos limites.

3.1.1.5) Características Microbiológicas

Problemas de saúde pública estão relacionadas com a presença de microrganismos nas fontes de abastecimento pública (Branco, 1978).

Segundo o autor, microrganismos como vírus e bactérias constituem um perigo sanitário, pois através da água podem transmitir a hepatite infecciosa, poliomelite e outras doenças. Dentre as várias moléstias de origem bacteriana, associadas ao abastecimento público, algumas de caráter endêmico foram reportadas, como a cólera (causada pela *Vibrio cholerae*), uma das mais importantes das moléstias transmitidas pela água, devido ao número de mortes que causou em endemias ocorridas no século passado, e a febre tifóide causada pela bactéria do grupo *Salmonella*.

A presença de algas pode causar sérios problemas nas estações de tratamento de água, pois algumas espécies causam gosto e odor na água, enquanto outras, podem obstruir rapidamente as unidades de filtração, (Di Bernardo, 1990).

A Tabela 3.1, apresenta as características principais dos microrganismos que afetam os sistemas de tratamento:

TABELA 3.1 Características dos Microrganismos que Podem Estar Presentes nas Águas de Abastecimento. Extraído de Di Bernardo 1990

ORGANISMO	TAMANHO (Å)	CARGA DA SUPERF.	FORMATO	ESTADO	FORMA RESIST
VÍRUS	10^2-10^9	Negativa	Variável	Parasita	-
BACTÉRIA	10^2-10^5	Negativa	Bastão Espiralada Cocus Vibrião	Vida livre Parasita	Esporo
ALGAS AZUL-VERDE	10^4	Negativa	Cocus Filamento	Vida livre Simbiótica	Cisto
ALGA VERDE	10^4-10^6	Negativa	Colóide	Vida livre Simbiótica	Esporo Cisto
PROTOZOÁRIO	10^4-10^6	Negativa	Variável	Vida livre Parasita	Cisto
FUNGO	10^4-10^6	Negativa	Filamento Cocus	Vida livre Parasita	Esporo
HELMINTO	10^4-10^9	Negativa	Variável	Vida livre Parasita	Ovo

O uso da pré-cloração tem resultado numa diminuição de organismos patogênicos antes da sedimentação e/ou filtração (Branco, 1978).

Segundo Di Bernardo (1990) a coagulação também é um fator importante para auxiliar a remoção de microrganismos porque qualquer que seja a tecnologia de tratamento que requeira coagulação prévia, a remoção destes microrganismos está relacionada com a eficiência da coagulação. Di Bernardo (1990) relata que a carga negativa e o tamanho dos microrganismos normalmente presentes na água, afetam a coagulação.

Em geral, a produção de água filtrada com baixa turbidez é um indicador da ausência da maior parte dos microrganismos patogênicos, especialmente quando a turbidez é inferior a valores da ordem de 1,0 UT, (Di Bernardo, 1990; Sawyer e McCarty, 1978).

De acordo com Di Bernardo (1990), a coagulação é de fundamental importância para a produção de água com turbidez baixa, pois mesmo que ainda existam microrganismos, a desinfecção resulta mais efetiva que em águas com turbidez mais elevada.

Segundo Dowbiggin e Singer (1989); Glaze (1987); Nebel, (1981) a técnica da pré-oxidação da água bruta natural com o ozônio tem sido empregada atualmente, em substituição à pré - cloração, quando a mesma contém precursores da formação de trihalometanos e grau relativamente elevado de contaminação microbiológica. Estes autores verificaram ainda que o ozônio auxilia a coagulação e reduz a dosagem de coagulante.

3.1.1.6) Metais

Segundo Di Bernardo (1990), em algumas regiões, metais como ferro e manganês ocorrem devida a interação da água com o solo, enquanto que, metais como níquel, zinco, cromo, mercúrio, cádmio, cobre e outros, surgem nas fontes de abastecimento através da contaminação provocada pelos despejos líquidos industriais ou atividades agrícolas. De acordo com Sawyer e McCarty (1978), a presença destes metais nas águas superficiais é devida principalmente, às mudanças das condições ambientais.

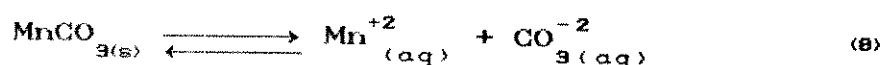
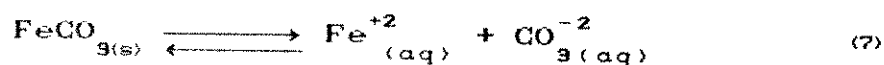
Segundo os referidos autores, o ferro pode estar presente no solo, principalmente, na forma de óxido férrico insolúvel e sulfeto ferroso. Em algumas áreas porém, pode aparecer como carbonato ferroso e pode ser dissolvido em águas com excesso de dióxido de carbono. O manganês está presente no solo, principalmente, como dióxido de manganês, o qual é muito insolúvel. Em condições anaeróbias, o manganês é reduzido do estado +4 para +2, tornando-se solúvel, como ocorre com o dióxido de ferro.

Segundo Bennefield et al. (1982), nas águas

naturais, o ferro é encontrado nas formas de estado de oxidação +2 ou +3, enquanto o manganês pode ser encontrado nas formas +2, +3, +4, +6 ou +7. No entanto, Morgan e Stumm (citados em Bennefield et al., 1982), verificaram que, em águas que contêm oxigênio dissolvido, o Fe^{+3} e Mn^{+4} são encontrados somente em estado estável de oxidação. As formas químicas associadas com estas duas espécies são altamente insolúveis, indicando portanto que estão presentes pouco ferro e manganês na forma solúvel.

A presença destes metais nas águas de abastecimento pode trazer sérios problemas aos consumidores. Do ponto de vista sanitário e nas concentrações normalmente encontradas, não se conhecem efeitos adversos à saúde, mas podem atribuir um gosto levemente metálico à água, além de manchar roupas e louças, e possibilitar o crescimento de certas bactérias (como as ferrobactérias) no interior de tubulações, causando a redução da seção útil e provocando cor, turbidez e sabor à água, (Bennefield et al., 1982; Committee, 1987; Di Bernardo, (1989); Sawyer e MacCarty, 1978).

Bennefield et al. (1982), evidenciam que a maioria das águas brutas naturais possuem uma quantidade significativa de alcalinidade, e como resultado, numa faixa de pH compreendida entre 6,5 e 9,5, as concentrações de ferro e manganês solúveis contidas nestas águas são frequentemente controladas pela solubilidade de seus carbonatos:



Quando a fase sólida do carbonato controla o equilíbrio das concentrações de ferro e manganês solúveis, a concentração solúvel dessas espécies em qualquer pH pode ser obtida através de diagramas de $\log [\text{espécies}] * \text{pH}$,

para os sistemas $\text{FeCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$ e $\text{MnCO}_3 - \text{H}_2\text{O}$, conforme ilustram as Figuras 3.3 e 3.4, respectivamente (Bennefield et al., 1982).

Nessas Figuras pode ser verificado que o ponto de mínima solubilidade do FeCO_3 ocorre para valores de pH próximos de 8 e do MnCO_3 , próximo a 10. Estas Figuras mostram ainda que, para um certo valor de pH, a solubilidade do carbonato de ferro (II) e do carbonato de manganês (II) é inversamente proporcional a concentração de equilíbrio das espécies de carbono total, isto é, quanto maior a concentração das espécies de carbono total, menor é a da espécie metálica solúvel. Como a alcalinidade da maioria das águas brutas naturais é devida principalmente a existência de sistemas de ácido carbônico, esta relação também existe entre a alcalinidade e a concentração do metal solúvel.

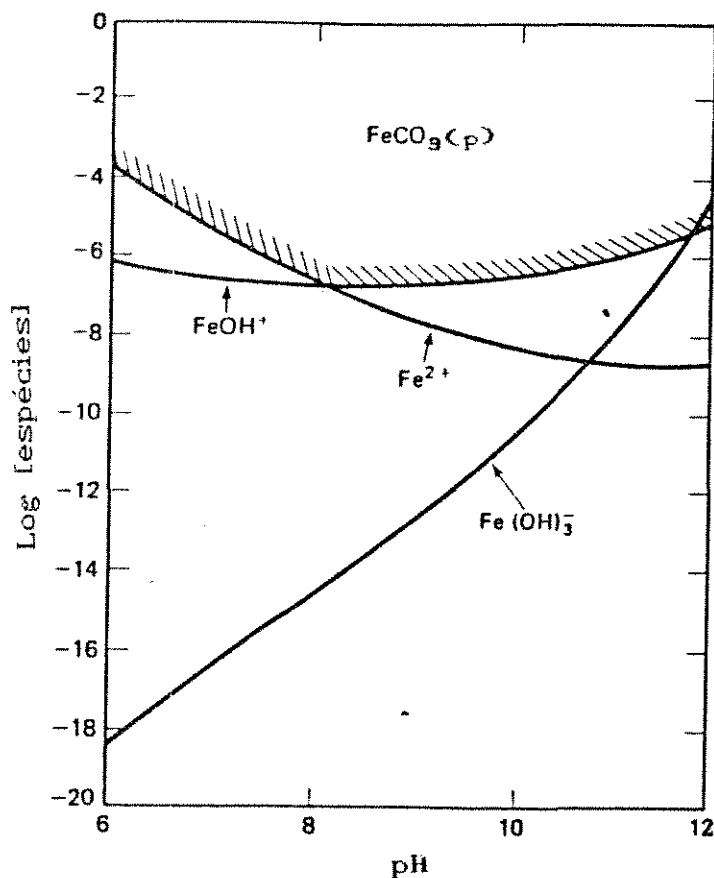


FIGURA 3.3 - Diagrama de Solubilidade para o Sistema $\text{FeCO}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$.
Extraído de Bennefield, 1982.

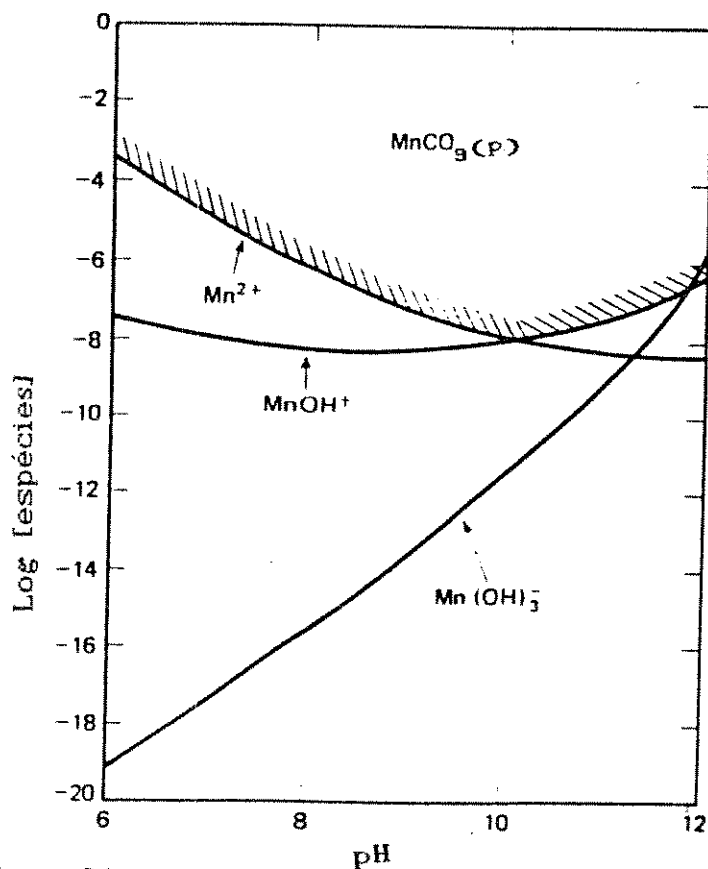


FIGURA 3.4 - Diagrama de Solubilidade para o Sistema $MnCO_3.H_2O$.
Extraído de Bennefield, 1982.

De acordo com Sawyer e Mccarty (1978), a oxidação do ferro e manganês para a forma de Fe^{+3} e Mn^{+4} , formam precipitados. A taxa de oxidação não é rápida, podendo as formas reduzidas persistirem por algum tempo. Segundo os autores, isto ocorre quando o pH é menor que 6 com oxidação do ferro e menor que 9, com a oxidação do manganês. As taxas podem ser aumentadas pela presença de certos catalisadores inorgânicos ou através da ação de microrganismos

Segundo Di Bernardo (1989) certas substâncias orgânicas encontradas nas águas superficiais formam complexos solúveis com ferro ou manganês, podendo não ser oxidadas satisfatoriamente para formar compostos insolúveis e deste modo, podem não ser removidos na sedimentação e/ou filtração.

O uso de oxidantes como o cloro livre, dióxido

de cloro ou ozônio, pode auxiliar a remoção dos metais. No caso do manganês, tem sido necessário um pH superior a 8, quando o cloro livre é utilizado, enquanto que, com o ozônio, há indícios de que, com pH em torno de 6,5 a 7,5, é possível formar o precipitado MnO_2 , sem afetar a coagulação com o sulfato de alumínio ou cloreto férrico (Di Bernardo, 1990) e, evitar a formação de precursores de trihalometanos (Knocke et al., 1987).

3.1.1.7) Turbidez e Número de Partículas

Segundo Sawyer e MacCarty (1978), a turbidez pode ser causada por uma grande variedade de sólidos que estão compreendidos na faixa coloidal à dispersão grosseira, dependendo do grau de turbulência. A turbidez presente nas águas superficiais é devida, principalmente, à presença de partículas em estado coloidal (argilas), em suspensão (silte), matéria orgânica e inorgânica finamente dividida, plâncton e outros organismos microscópicos (Bennefield et al., 1982).

Segundo Bennefield et al. (1982), Di Bernardo (1990) e Perez et al. (1984), é considerada como solução, uma dispersão de partículas muito pequenas ou substâncias orgânicas dissolvidas na água. No primeiro caso, tem-se uma dispersão coloidal, em que as partículas apresentam velocidade de sedimentação muito pequena. No segundo, trata-se de uma solução, onde as moléculas de substâncias húmicas são responsáveis pela cor verdadeira das águas naturais. A Figura 3.5, apresenta a distribuição de tamanho de partículas normalmente presentes nas águas superficiais:

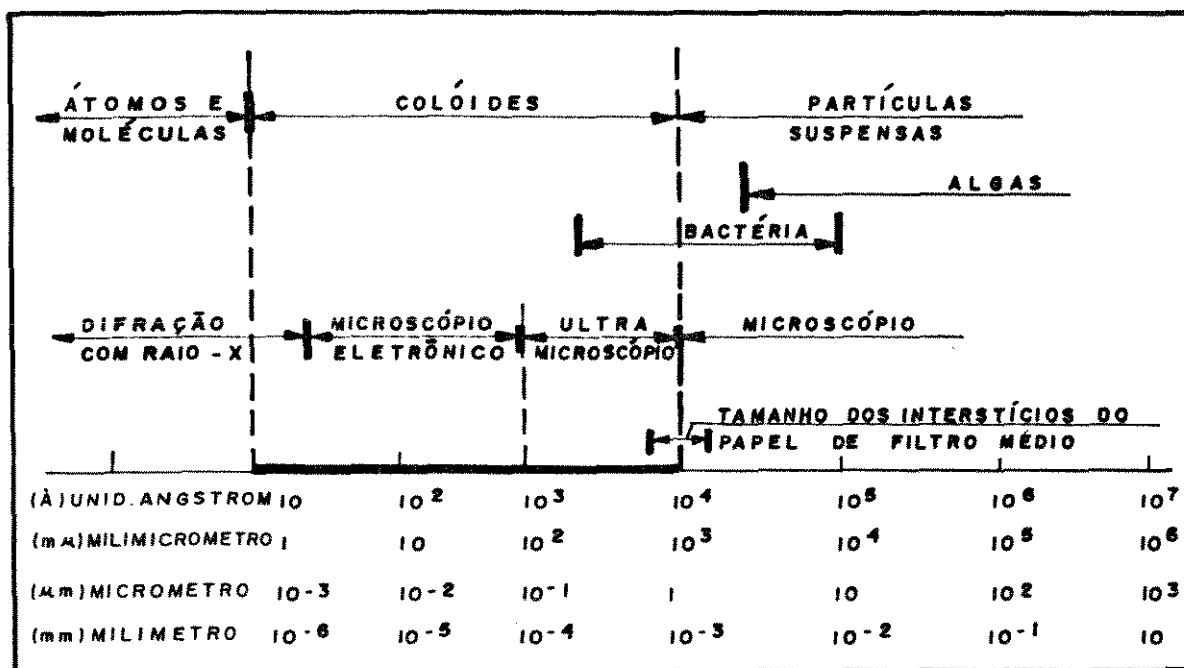


FIGURA 3.5 - Distribuição de Tamanhos das Partículas Presentes em Águas Naturais. Extraído de Stumm, 1978.

Embora a velocidade de sedimentação das partículas suspensas e em estado coloidal seja relativamente pequena, conforme dados presentes na Tabela 3.2, muitas não são removidas nos decantadores, podendo ser removidas na filtração, o que pode ser visto na Figura 3.6, cujas curvas referem-se à água bruta e água filtrada sem adição de coagulante (Di Bernardo, 1990):

TABELA 3.2 Características da Sedimentabilidade de Partículas Suspensas e em Estado Coloidal Extraído de Di Bernardo 1990

TAMANHO DA PARTÍCULA (μm)	CARACTERÍSTICAS	ÁREA SUPERFICIAL (m^2) (*)	VELOCIDADE DE SEDI MENTAÇÃO (mm/s) (**)
100	areia fina	$9,15 \times 10^{-2}$	$7,9 \times 10^0$
10	silte	$9,15 \times 10^{-1}$	$1,5 \times 10^{-1}$
1	bactéria	$9,15 \times 10^0$	$1,5 \times 10^{-3}$
1×10^{-1}	colóide	$9,15 \times 10$	$1,5 \times 10^{-5}$
1×10^{-2}	colóide	$2,83 \times 10^{-2}$	$1,5 \times 10^{-6}$

(*) obtida a partir de uma partícula esférica com $100 \mu\text{m}$ de diâmetro.

(**) calculada para $t = 20 \text{ }^\circ\text{C}$ e $P = 2650 \text{ Kg/m}^3$.

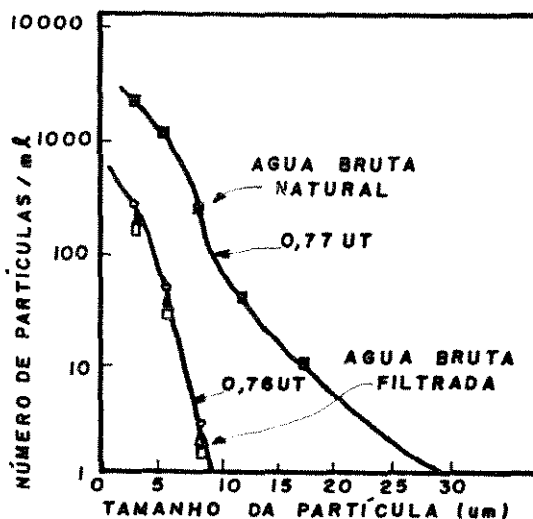


FIGURA 3.6 - Efeito da Filtração de uma Suspensão em Leito de Areia. Extraído de Di Bernardo, 1990.

De acordo com a Figura 3.6, Di Bernardo (1990) evidencia que a turbidez é praticamente a mesma, apesar do número de partículas e da distribuição de tamanhos serem diferentes, indicando que, além da turbidez, é necessária a determinação do número de partículas e da distribuição dos tamanhos das partículas na água, já que a coagulação é muito afetada pela superfície específica.

Segundo Di Bernardo (1989), e Sawyer e MacCarty (1978), na maioria das águas de escoamentos superficiais,

os organismos patogênicos costumam, quase sempre, estar associados a partículas responsáveis pela turbidez, que parecem utilizá-las como substrato e forma de proteção. Assim sendo, quando se promove a redução da turbidez da água bruta, são também, parcialmente removidos os organismos patogênicos a ela associados. A cloração nos sistemas de abastecimento é mais eficiente quanto menor o valor da turbidez, pois o material em suspensão pode envolver o organismo e dificultar a ação do desinfetante, (Sawyer e McCarty, 1978).

3.1.1.8) Cor

A cor nas águas naturais é, geralmente, devida a produtos da decomposição de matéria orgânica presente no próprio manancial ou de húmus dos solos adjacentes. Assim sendo, há uma ação quantitativa entre cor e carbono orgânico presente na água (Branco, 1978).

De acordo com Di Bernardo (1990), Edwards e Amirtharajah (1985), a presença de matéria orgânica nas águas superficiais pode ser decorrente de várias fontes. Os compostos orgânicos naturais têm origem na degradação de plantas e animais e são denominadas de substâncias húmicas, que englobam os ácidos húmicos, fúlvicos e himatomelânicos. A medida e controle da cor que eram feitos por razões estéticas, passou a ter maior importância a partir do momento em que esses compostos foram detectados como precursores na formação de trihalometanos (THM), durante a desinfecção com o cloro. Segundo Perez et al. (1984) e Sawyer e McCarty (1978), os compostos responsáveis pela coloração da água podem reagir com o cloro para produzir compostos organoclorados, principalmente clorofórmio (CHCl₃). Rook (citado em Perez et al., 1984), relata que o clorofórmio tem sido identificado como um composto carcinogênico em estudos realizados com animais.

De acordo com Di Bernardo (1990), e Edwards e Amirtharajah (1985), as substâncias húmicas são amorfas, ácidas, predominantemente aromáticas, hidrofílicas com cadeias de peso molecular entre 10^2 e 10^5 g. As principais frações, de acordo com suas solubilidades são citadas a seguir:

a) ácidos húmicos : fração solúvel em meio alcalino (insolúvel em meio ácido);

b) ácidos fúlvicos : fração solúvel em meios alcalinos e ácidos;

c) ácidos himatomelânicos : fração solúvel em meio alcalino e em álcool (insolúvel em ácidos);

d) humina : insolúvel nos meios ácidos e alcalinos.

A análise das substâncias húmicas por espectroscopia, revela que tais compostos podem apresentar grupos funcionais como carboxílicos, fenólicos, alcoólicos, quenô-nios, metoxílicos, carbonilos e, grupos aromáticos (Di Bernardo, 1990; Sawyer e McCarty, 1978).

Segundo Di Bernardo (1990), as dimensões das moléculas das substâncias húmicas variam com o pH e grau de polimerização e, portanto a cor medida deve estar relacionada com o pH. Edwards e Amirtharajah (1985) verificaram que os materiais húmicos são geralmente carregados negativamente, resultantes da presença de grupos funcionais, tais como carboxílicos e fenólicos; com o aumento do pH, aumenta a estabilidade devida a dissociação desses grupos, resultando num acréscimo do número de cargas negativas presentes na solução.

Segundo Perez et al. (1984) os compostos que produzem a cor existente na água não provêm unicamente da decomposição de produtos naturais, mas também de hidróxidos metálicos, como ferro e manganês. Branco (1978) acredita que vários microrganismos podem causar fenômenos de cor nas águas; as bactérias, por exemplo, sendo capazes de oxidar o ferro ou o manganês e podem, indiretamente,

promover alterações da cor das águas.

De acordo com Sawyer e McCarty (1978), a cor causada por material em suspensão refere-se à cor aparente e é diferenciada da cor verdadeira, devida aos extratos vegetais ou orgânicos serem de características coloidais. Portanto, a cor aparente inclui não somente a cor devida às substâncias em solução, mas também pela ocorrência de matéria em suspensão (Edwards e Amirtharajah, 1985).

3.1.2) Origem das Cargas das Partículas

3.1.2.1) Substâncias Húmicas

Apesar de ainda não se ter um conhecimento profundo da estrutura molecular das substâncias húmicas para diferentes valores de pH, acredita-se que a presença de grupos funcionais carboxílicos e fenólicos confirmam carga negativa às moléculas das substâncias húmicas (Di Bernardo, 1990; Edwards e Amirtharajah, 1985).

Segundo Di Bernardo (1990), e Snoeyink e Jenkins (1980), as substâncias húmicas têm facilidade de se combinar com metais, embora a natureza da associação seja uma questão ainda não totalmente resolvida. Ainda segundo esses autores, a formação de complexos ou quelatos, entre os grupos funcionais das substâncias húmicas e os metais, bem como a associação entre as substâncias húmicas e os hidróxidos metálicos, provavelmente, pela adsorção das mesmas às superfícies dos hidróxidos metálicos, ocorrendo a estabilização em suspensão, parecem ser as formas de ligações importantes que dificultam a coagulação e sedimentação.

Embora a natureza dos complexos formados entre as substâncias húmicas e os metais não seja completamente conhecida, Snoeyink e Jenkins (1980) relatam que esses complexos tem grande influência na distribuição dos metais em solução e em suspensão. Com o bloqueio de vários grupos

funcionais das substâncias húmicas e exposição subsequente das espécies modificadas na presença dos metais em solução, é possível obter uma idéia daqueles que são importantes na complexação que se verifica.

3.1.2.2) Partículas Coloidais

Segundo Bennefield et al. (1982), as partículas coloidais não são limitadas a particulares grupos de substâncias, mas são classificadas pelos seus respectivos tamanhos, e podem variar de 1,0 nm à 1,0 μm , embora, segundo eles, alguns autores considerem que a faixa coloidal se estenda até 10 μm .

As dispersões coloidais mais comumente encontradas no meio aquático são as emulsões (dispersão líquido-líquido) e suspensões (dispersão sólido-líquido) (Bennefield et al., 1982). Os sistemas coloidais podem ser classificados em hidrófobos, onde se incluem as argilas e óxidos metálicos e hidrófilos, caracterizados por proteínas, sabões, detergentes sintéticos (Bennefield et al., 1982; Di Bernardo, 1990; Perez et al., 1984).

Segundo Di Bernardo (1990), os colóides hidrófobos não repelem completamente as moléculas de água, pois uma ou duas camadas são adsorvidas na superfície externa das partículas. Nesses sistemas, as propriedades das superfícies das partículas são muito importantes, principalmente nas águas naturais, que podem apresentar diferentes tipos de argila (caulinita, montmorilonita, illita) e diferentes elementos químicos como alumínio, silício, magnésio, potássio, oxigênio e hidrogênio, combinados conforme o tipo de argila.

Segundo Bennefield et al. (1982); Perez et al. (1984), as propriedades eletrocinéticas dos colóides mostram que estes possuem cargas elétricas, cujo sinal e magnitude dependem da natureza do material coloidal. Os colóides, com cargas elétricas similares, se repelem, não

formando agregados. A carga elétrica das partículas, fator responsável pela estabilidade coloidal, segundo os autores, pode ser adquirida através das imperfeições na estrutura cristalina, quando se tem argilas, ou adsorção de íons da solução nas superfícies das mesmas. A dissolução diferenciada de íons de cargas elétricas opostas, bem como a ionização da superfície de grupos funcionais, são os outros fatores responsáveis por essa carga no núcleo da partícula.

3.1.3 - Estabilidade dos colóides

3.1.3.1) Configuração da Dupla Camada Elétrica

Segundo Bennefield et al., 1982 e Di Bernardo, 1990, a dupla camada elétrica é constituída das cargas das superfícies coloidais e dos íons de cargas opostas que se acumulam nas vizinhanças das partículas coloidais. A superfície negativa das partículas coloidais é compensada por íons positivos tais como Na^+ , H^+ , Ca^{+2} , etc, exceto quando se tem adsorção negativa, fenômeno possível de ocorrer em qualquer dispersão contendo cargas iônicas. Os íons com carga contrária à da superfície coloidal são atraídos por força eletrostática e, devida a difusão térmica, tendem a se distribuir através da dispersão. A dupla camada apresenta, portanto, concentração mais elevada de íons positivos próximos à superfície negativa do colóide, a qual diminui à medida que se afasta do centro.

Segundo os referidos autores, esta característica de difusão dos íons de carga contrária à da partícula foi primeiramente introduzida por Helmholtz e reconhecida por Gouy e Chapman por volta de 1910 e Stern, em 1924.

De acordo com Bennefield et al. (1982); Di Bernardo (1990) e Perez et al. (1984), o modelo proposto

por Stern pode ser utilizado para descrever a distribuição do potencial elétrico na superfície coloidal. A Figura 3.7 mostra esquematicamente as características de uma partícula coloidal, com a distribuição de cargas segundo o modelo proposto por Stern. Este modelo possui três potenciais elétricos de interesse: Potencial de Nernst (PN), Potencial de Stern (PS) e Potencial Zeta (PZ).

De acordo com os mesmos autores, o potencial elétrico desenvolvido pela presença da partícula na água varia com a distância a partir da superfície do colóide. Segundo Stern (citado em Bennefield et al., 1982; Di Bernardo, 1990 e Perez et al., 1984), existe uma distância mínima a , entre a superfície do colóide e os íons de carga contrária, que depende do tamanho dos mesmos, onde o potencial de Nernst (PN) decresce linearmente, até um valor, conhecido como potencial de Stern (PS). A partir da distância a , o potencial elétrico diminui exponencialmente com a distância, passando por uma região onde se tem o potencial zeta (PZ).

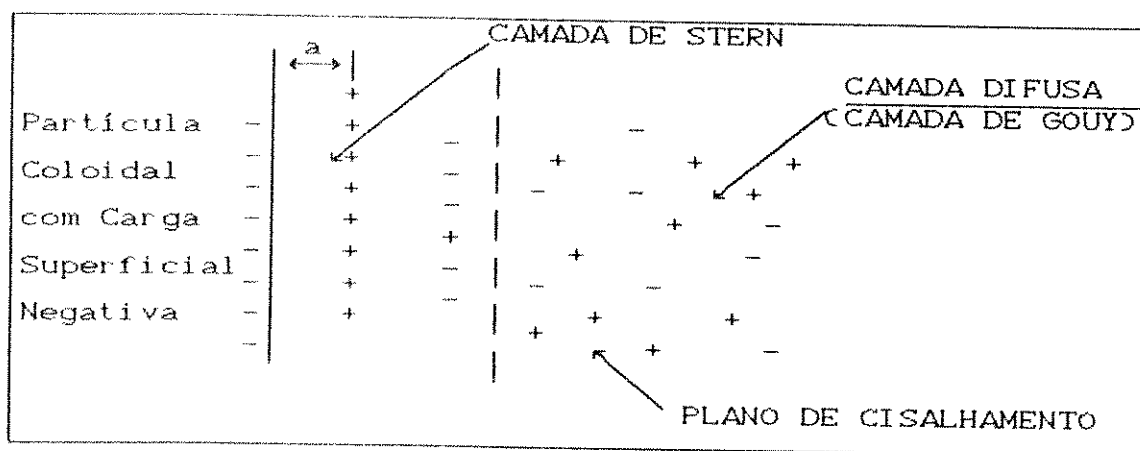


FIGURA 3.7 - Esquema da Superfície de uma Partícula Coloidal com a Distribuição de Cargas Elétricas Segundo o Modelo de Stern. Extraído de Bennefield, 1982.

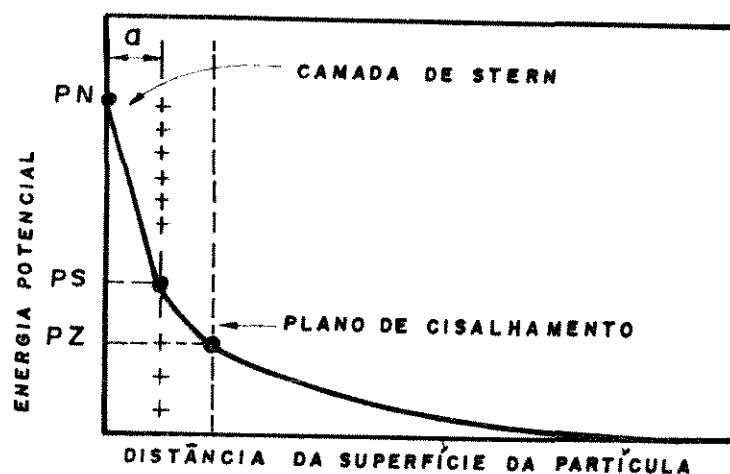


FIGURA 3.8 - Distribuição do Potencial na Dupla Camada Elétrica.
 Extraído de Bennefield, 1982.

Segundo Bennefield et al. (1982) e Di Bernardo (1990), a desestabilização das partículas coloidais ocorre pelas forças de gravidade, de Van Der Waals e pelo movimento Browniano. Quando duas partículas similares se aproximam, as forças opostas entram em ação, iniciando uma interação repulsiva, resultando no afastamento das mesmas. A quantidade de trabalho para se manter afastadas de duas partículas coloidais, partindo-se de uma distância infinita, é chamada de potencial de repulsão (VR), e é tanto maior quanto mais próximas estiverem as partículas. Por outro lado, há a ação das forças atrativas de Van Der Waals, que combinadas com o potencial de repulsão fornecem a energia de interação resultante sobre as partículas coloidais. A Figura 3.9 mostra, esquematicamente, as curvas oriundas da energia potencial repulsiva, da energia atrativa de Van Der Waals, bem como a curva resultante.

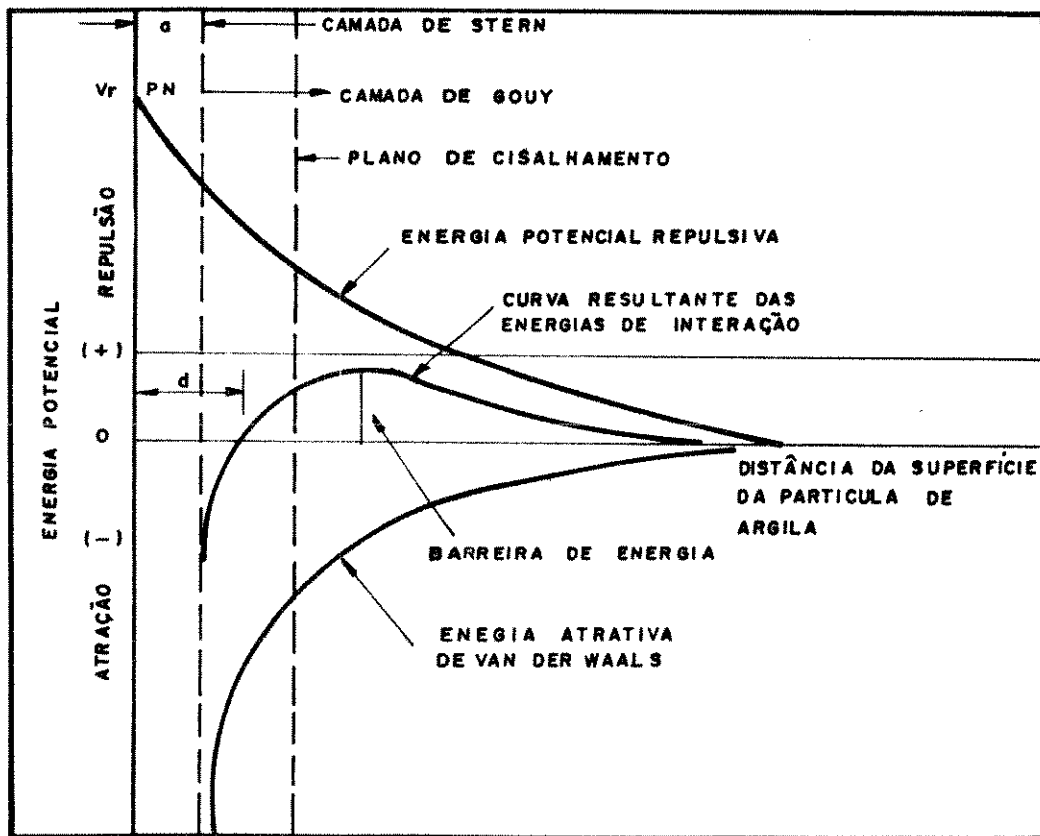


FIGURA 3.9 - Energia Potencial de Interação entre as Partículas Coloidais.
Extraído de Di Bernardo, 1990.

De acordo com Bennefield et al. (1982) e Di Bernardo (1990) as forças de repulsão, mostradas na Figura 3.9, predominam a partir de uma certa distância d , abaixo da qual, as forças atrativas de Van Der Waals fazem com que as partículas permaneçam unidas. Assim, para que duas partículas coloidais se aproximem, deverão possuir energia cinética suficiente para vencer a barreira de energia proveniente do efeito combinado dos potenciais de atração e repulsão, ou ainda, através de coagulantes químicos, diminuir a ação do potencial de repulsão com a consequente queda da barreira de energia.

3.1.4 - Coagulação-Floculação

3.1.4.1) Coagulação

De acordo com Di Bernardo e Penna (1986), dentro das diversas operações unitárias realizadas em um sistema de tratamento de água, a coagulação exerce um papel fundamental. Em geral a coagulação tem sido considerada como o resultado da reação do coagulante com a água a ser tratada, envolvendo, a dispersão uniforme do coagulante em toda a massa líquida e a reação do coagulante com a água bruta, ações estas, distintas, porém complementares.

Segundo Letterman et al. (1973) para que se ocorra coagulação eficiente, é necessária uma mistura intensa para a distribuição uniforme do coagulante na água, para que haja a maior possibilidade de contato do coagulante com a água e as partículas suspensas, antes do final das reações. Estas, segundo Amirtharajah e Trusler (1986), ocorrem imediatamente após a adição do coagulante, sendo necessária, por este motivo, uma intensa agitação no ponto de aplicação do coagulante à água, para assegurar distribuição uniforme.

A função da mistura rápida é assegurar a dispersão total do reagente em toda a massa de água, para que haja coagulação completa e homogênea (Di Bernardo e Penna, 1986; Letterman et al., 1973; Richter et al., 1984). Durante a mistura rápida, o coagulante, geralmente um sal hidrolisante, tal como sulfato de alumínio ou cloreto férrico, é dispersado no meio turbulento (Letterman et al., 1973).

Amirtharajah (1987 a) propôs um modelo teórico para avaliar o desempenho da desestabilização das partículas com coagulantes inorgânicos, baseado no mecanismo de adsorção - desestabilização. O autor assume a que as espécies hidrolisadas, que provocam a desestabilização, são carregadas por turbilhões do tamanho

da micro escala de Kolmogoroff (η), que colidem com as partículas coloidais da água bruta. O tamanho dos turbilhões é controlado pelo do ajuste da energia introduzida no reator de mistura rápida. Di Bernardo (1990) evidencia que a mistura rápida ineficiente pode ter efeitos prejudiciais, tais como, desperdício do produto químico utilizado e ocorrência de uma baixa taxa de partículas agregantes para uma dada dosagem química.

Dados de pesquisas realizadas por Hudson (citado em Letterman et al., 1973) mostram que a mistura rápida tem grande influência na eficiência da floculação. Foi verificado por Hudson que os flocos formados após a mistura rápida continham, consideravelmente, mais sólidos que aqueles formados sem a mesma.

Letterman et al. (1973), indicam a existência de um tempo ótimo de mistura rápida e sugere que as condições anteriores à formação dos flocos são importantes e que a função da operação da mistura rápida é mais que simplesmente dispersão de coagulantes. Ainda, segundo o autor, o fato da taxa de floculação inicial ser maior quando é usado um período ótimo de mistura rápida, é indicativo de que o estágio inicial de formação de flocos durante a operação de mistura rápida, tem grande influência na taxa de floculação durante a operação de mistura lenta.

De acordo com Amirtharajah e Trusler (1986); Di Bernardo (1989); Letterman et al. (1973); Perez et al. (1984), o gradiente médio de velocidade para a mistura rápida está compreendido no intervalo entre 700 a 1.200 s^{-1} (GT 7.000 a 12.000) e maior que 3500 s^{-1} (GT maior que 30.000) para o mecanismo de adsorção - neutralização e de 500 a 1200 s^{-1} (GT 10.000 a 30.000) quando a coagulação ocorre por varredura.

3.1.4.2) Mecanismos de Coagulação

Atualmente, segundo Bennefield et al. (1982), a coagulação é considerada como sendo o resultado da ação de quatro mecanismos distintos: compressão da dupla camada (teoria de DLVO); adsorção - neutralização; varredura; adsorção-formação de pontes. Segundo Johnson e Amirtharajah (1983), a desestabilização de colóides na água ocorre predominantemente nos mecanismos de adsorção-neutralização e varredura. Existem algumas espécies químicas capazes de serem adsorvidas na superfície das partículas coloidais. Se estas espécies forem carregadas com cargas contrárias às da superfície dos colóides, haverá a desestabilização dos mesmos, (Bennefield et al., 1982; Di Bernardo, 1990).

O'Melia (citado em Johnson e Amirtharajah, 1983) relata que, para o mecanismo de adsorção -neutralização, metais catiônicos como Fe^{+3} e $Alum^{+4}$ hidratam-se em meio aquoso originando, em função da concentração dos íons metálicos e do pH, compostos hidroxó - complexos, que contém um ou mais íons metálicos (complexos mono e polinucleares). Esses complexos hidroxó - metálicos são adsorvidos mais rapidamente que os íons metálicos não hidrolisados. Segundo Di Bernardo et al. (1987), esse comportamento é pronunciado para espécies poli-hidroxos nucleares, podendo ser atribuído ao fato de que as espécies hidrolisadas são maiores e menos hidratadas que a não hidrolisada, bem como a presença de grupos hidróxidos coordenados apresentam melhores condições de adsorção.

O'Melia e Stumm (citados em Johnson e Amirtharajah, 1983), mostram que, devida a adsorção de espécies carregadas opostamente, os colóides tornam-se desestabilizados, permitindo que ocorra a coagulação. A desestabilização pelo mecanismo de adsorção - neutralização implica na possibilidade de restabilização,

havendo também relação entre a área superficial dos colóides e dosagem do coagulante.

Bennefield et al. (1982) e Di Bernardo (1990) indicam que a atração entre a superfície do colóide e a espécie adsorvida resulta, provavelmente, de interações químicas, tais como, pontes de hidrogênio, reações de coordenação e de troca iônica. Sua manifestação é de intensidade superior a dos efeitos eletrostáticos, o que permite explicar a restabilização de partículas coloidais pela reversão da carga superficial. Segundo os referidos autores, no mecanismo da varredura, dependendo da quantidade de sal (coagulante) adicionada, do pH e da concentração de algumas espécies de íons presentes na água, poderá ocorrer a formação de precipitados. As partículas coloidais presentes comportam-se como núcleos de condensação para estes precipitados e, desta forma, são removidos por sedimentação. Coagulantes, tais como sulfato de alumínio e cloreto férrico, podem provocar a coagulação de partículas coloidais pela formação de compostos insolúveis como hidróxido de alumínio e hidróxido de ferro.

De acordo com Di Bernardo et al. (1987), embora as dosagens de coagulantes normalmente utilizadas na prática e os correspondentes valores de pH ocorram em regiões de supersaturação com respeito ao hidróxido metálico, isto não implica que a precipitação dessa espécie surja rapidamente, indicando que um certo grau de supersaturação deva ser atingido para que se tenha uma taxa elevada de precipitação, o que irá depender da temperatura e concentração dos colóides da suspensão. Na região localizada acima dessa supersaturação crítica há a formação de um precipitado amorfo, capaz de envolver as impurezas da água e removê-las por sedimentação. Nas investigações realizadas por Packhaman (citado em Bennefield et al., 1982), foi verificado que a dosagem ótima de coagulante que causa coagulação por varredura, é

inversamente proporcional à concentração de colóides. Di Bernardo et al. (1987) acreditam que, com baixa concentração de colóides, não há número suficiente de partículas para fornecer a oportunidade de contato em um tempo razoável.

Os mecanismos de adsorção-neutralização e de varredura podem ser visualizados em gráficos especiais, em que são levados em conta parâmetros como dosagem do coagulante, concentração de colóides e pH (Di Bernardo et al., 1987). O gráfico da Figura 3.10 mostra como a concentração de colóides influencia a coagulação, que pode ocorrer por varredura (zona 4) ou adsorção (zona 2). Na zona 1, a dosagem de coagulante é insuficiente para promover uma coagulação eficiente e, na zona 3, ocorre a restabilização das partículas coloidais (Bennefield et al., 1982; Di Bernardo et al., 1987; Perez et al., 1984).

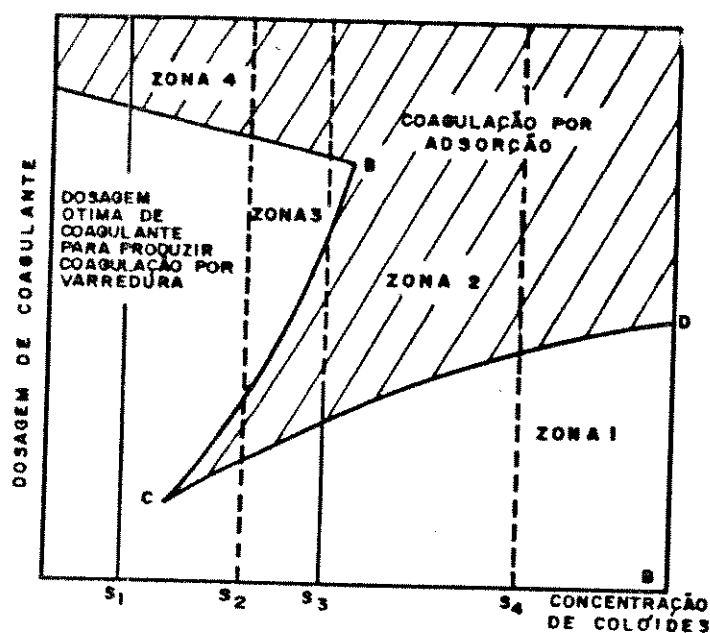


FIGURA 3.10 - Relação entre a Concentração de Colóides e a Dosagem de Coagulante para Coagulação, Floculação e Sedimentação. Extraído de Stumm e O'Mélia, 1968.

3.1.4.3) Floculação

Num nível elementar, floculação pode ser analisado considerando-se as colisões de partículas desestabilizadas (mecanismo de adsorção - neutralização) ou, através de colisões entre colóides e partículas floculentas formadas pela presença de hidróxidos devido à adição de coagulantes inorgânicos (mecanismo da varredura) (Di Bernardo, 1989). A agitação lenta da água coagulada, favorece a formação de partículas maiores de características sedimentáveis, ou de microflocos, que serão retidos no processo de filtração direta, (Di Bernardo, 1987); Richter et al., 1984). Estes contatos podem ocorrer através do movimento Browniano ou floculação pericinetica; da variação do gradiente de velocidade ou floculação ortocinetica e, através da sedimentação diferencial, que ocorre quando as partículas maiores colidirem com partículas menores sedimentáveis (Bennefield et al., 1982; Di Bernardo, 1990; Richter et al., 1984).

Segundo Bennefield et al. (1982) e Richter et al. (1984), o gradiente de velocidade e o tempo de contato são fatores importantes no desempenho da floculação. Para os autores, o valor do gradiente de velocidade deve estar compreendido preferivelmente, entre 10 e 100 s^{-1} e o tempo de contato num intervalo de 1.200 a 3.600 s.

Dados de pesquisas realizadas por Di Bernardo et al. (1987), mostraram que, para uma determinada eficiência, existe um período mínimo de floculação, abaixo do qual essa eficiência não é obtida, independentemente do valor de G e, para um certo período de floculação, há um valor ótimo de G , acima do qual a ruptura é mais significativa que a agregação.

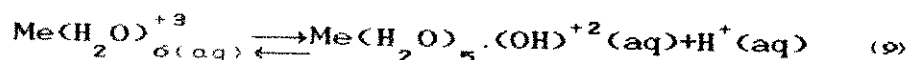
3.1.5 - Diagrama de Coagulação

3.1.5.1) Considerações Iniciais

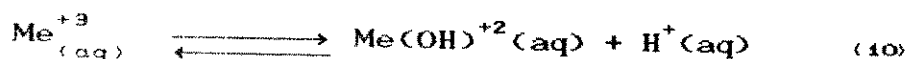
Recentemente, Amirtharajah (1982, 1983 e 1985) e Di Bernardo et al. (1987), propuseram uma nova forma de apresentação dos resultados de ensaios de floculação, com a confecção de um diagrama onde se relaciona o pH de coagulação em abcissa, a dosagem de coagulante e as diversas espécies complexas de alumínio (ou ferro) em ordenada, relacionando a eficiência de remoção de turbidez ou cor.

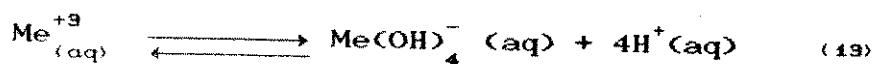
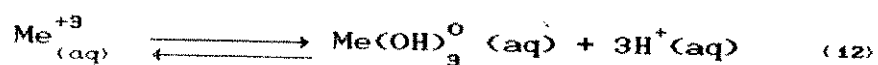
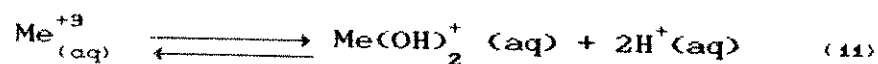
Trabalhos de pesquisas realizados na década de oitenta (Amirtharajah 1982, 1983, 1985 e Di Bernardo et al. 1987), obtiveram resultados que mostraram a importância do diagrama de solubilidade de compostos de alumínio e ferro na coagulação. Isso se verifica porque em função da dosagem destes coagulantes e, do pH em que o fenômeno se realiza, diferentes mecanismos de coagulação poderão estar atuando.

Segundo Bennefield et al. (1982) e Di Bernardo (1990), como os cátions metálicos têm características dos ácidos fracos, a formação de hidroxocomplexos metálicos pode ser considerada como a ionização desses cátions ácidos. As reações de número 9; 10; 11; 12 e 13 descrevem diferentes reações de ionização para um íon metálico trivalente, que podem originar, somente complexos mononucleares. De acordo com Bennefield et al. (1982), esses tipos de reações de ionização ocorrem sempre que os sais do íon metálico são dissolvidos em água e, uma vez que são liberados íons H^+ , a solução resultante será ácida.



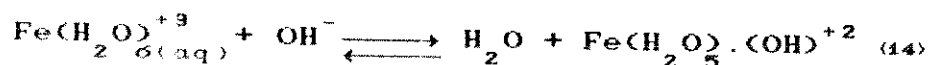
ou:



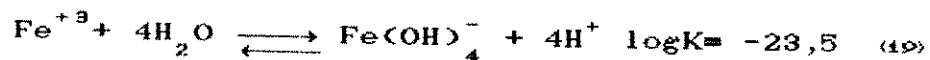
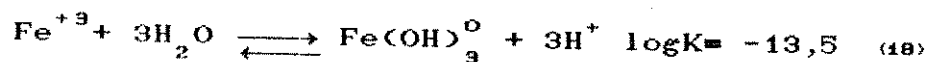
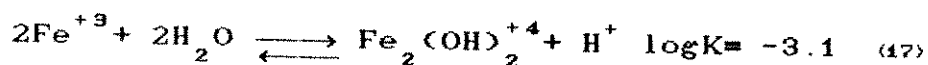
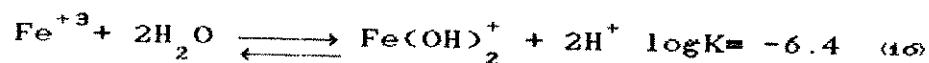
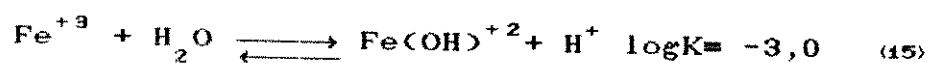


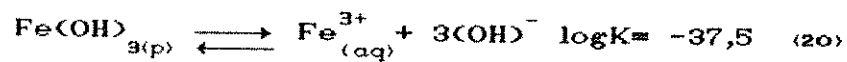
3.1.5.2) Diagrama de Solubilidade do Cloreto Férrico

De acordo com Bennefield et al. (1982), a construção do diagrama de solubilidade do cloreto férrico baseia-se nas diferentes reações deste quando em meio aquoso. As reações de número 14 a 20 representam esses fenômenos químicos, bem como os valores das constantes de equilíbrio de cada uma, para água pura na temperatura de 25 °C.



ou:





Da equação (20), de solubilização de $\text{Fe(OH)}_{3(p)}$, resulta:

$$\begin{aligned} 10^{-37,5} &= [\text{Fe}^{3+}] \cdot [\text{OH}^-]^3 \\ -37,5 &= \log [\text{Fe}^{3+}] + 3 \log [\text{OH}^-] \\ \log [\text{Fe}^{3+}] &= 4,5 - 3 \text{ pH} \end{aligned} \quad (21)$$

Considerando-se as reações de número 14 a 21, obtêm-se as equações de número 22 a 26. Essas equações podem ser dispostas em gráficos, como o mostrado na Figura 3.11, em que se tem o diagrama de equilíbrio das diferentes espécies de ferro III em função do pH e da concentração de cada uma delas, em equilíbrio com o precipitado $\text{Fe(OH)}_{3(p)}$.

$$\log [\text{Fe(OH)}^{2+}] = 1,5 - 2\text{pH} \quad (22)$$

$$\log [\text{Fe(OH)}_2^+] = -1,9 - \text{pH} \quad (23)$$

$$\log [\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] = 5,9 - 4\text{pH} \quad (24)$$

$$\log [\text{Fe(OH)}_3^0] = -9,0 \quad (25)$$

$$\log [\text{Fe(OH)}_4^-] = \text{pH} - 19 \quad (26)$$

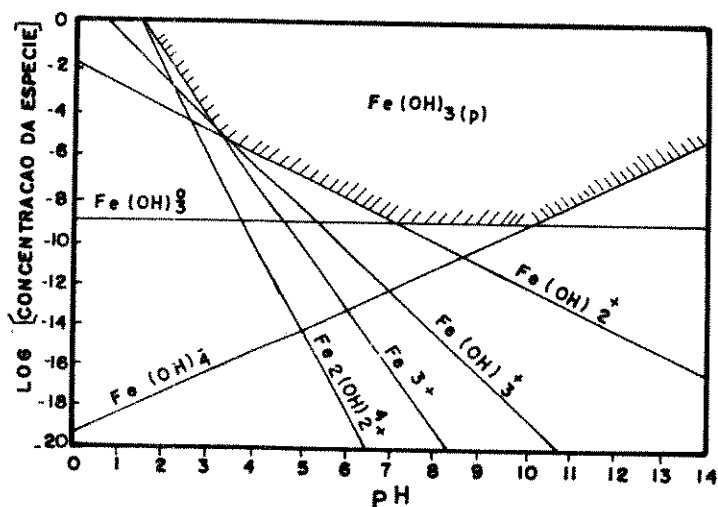


FIGURA 3.11 - Diagrama de Solubilidade para o Hidróxido de Ferro III.
Extraído de Bennefield, 1982.

De acordo com Bennefield et al. (1982), é possível construir o diagrama da solução estoque do cloreto férrico, conforme Figura 3.12, a partir das reações de número 21 a 26:

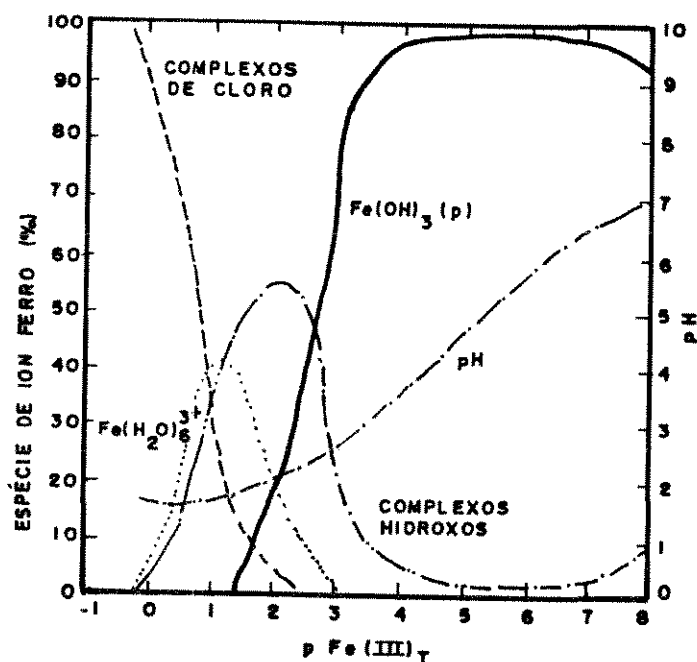


FIGURA 3.12 - Composição das Espécies em uma Solução Estoque de Cloreto Férrico. Extraído de Di Bernardo, 1990.

3.1.5.3) Espécies de Ferro em Equilíbrio com o Precipitado

Segundo Di Bernardo (1990), o efeito dos hidroxocomplexos na solubilidade do ferro é melhor evidenciado no diagrama, quando se utiliza em ordenada, o logaritmo da concentração da espécie, expressa em ferro. Assim sendo, as equações de número 21 a 26 anteriormente obtidas, devem ser alteradas, ficando as reações expressas em termos de Fe III e pH, em equilíbrio com o precipitado

$\text{Fe(OH)}_{3(p)}$ Estas alterações são evidenciadas na série de reações de número 27 a 31, apresentadas por Snoeyink e Jenkins (1980) que permitem a construção do diagrama expressa em termos de Fe^{3+} solúvel, apresentado na Figura 3.13.

$$\log [\text{Fe}^{3+}] = 4 - 3 \text{ pH} \quad (27)$$

$$\log [\text{Fe(OH)}^{2+}] = 1,84 - 2 \text{ pH} \quad (28)$$

$$\log [\text{Fe(OH)}_2^+] = 2,74 - \text{pH} \quad (29)$$

$$\log [\text{Fe}_2(\text{OH})_2^{4+}] = 5,2 - 4 \text{ pH} \quad (30)$$

$$\log [\text{Fe(OH)}_4^-] = \text{pH} - 19 \quad (31)$$

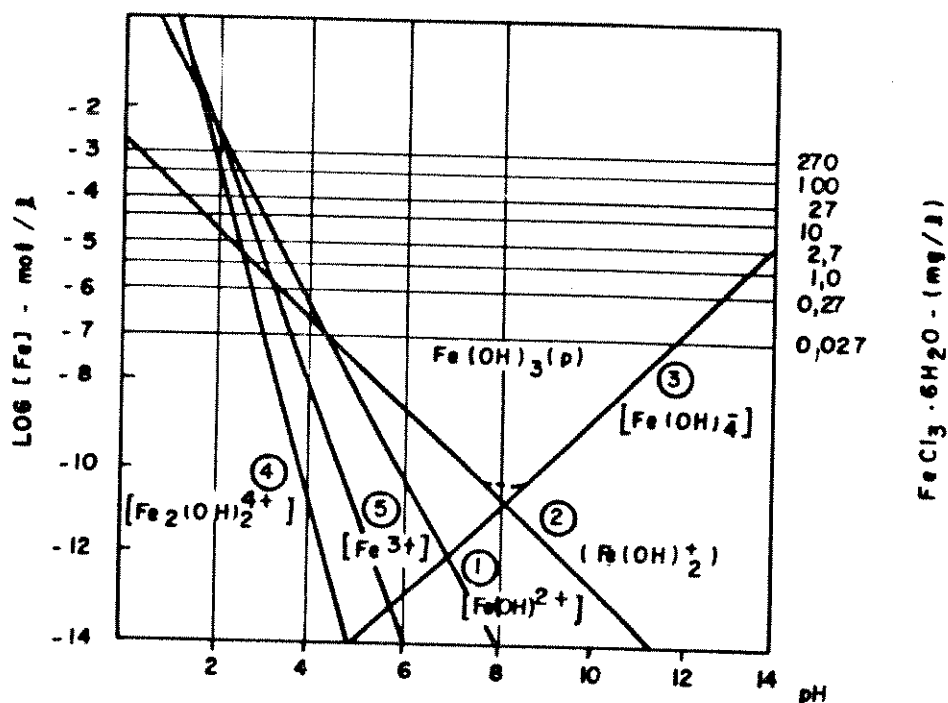


FIGURA 3.13 - Concentração de Ferro III em Função do pH. Extraído de Snoeyink e Jenkins, 1980.

O diagrama da Figura 3.13 mostra as áreas onde pode, teóricamente, ocorrer a formação do $\text{Fe}(\text{OH})_{3(p)}$. Conforme Snoeyink e Jenkins (1980), pelo fato de cada linha representar a concentração que pode existir nos vários valores de pH, quando em equilíbrio com o precipitado, pode ser razoável que qualquer concentração de uma particular espécie, acima de sua linha de solubilidade no diagrama, estará supersaturada com respeito ao precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_{3(p)}$ para aquela espécie. A concentração limite de $\text{Fe}(\text{OH})_{3(p)}$ estará acima da linha que representar a mais alta concentração de espécies de ferro em qualquer ponto do diagrama. O limite do precipitado para qualquer valor de pH representa, na realidade, a soma das concentrações de todas as espécies presentes naquele pH. Quando, porém, ocorrer predominância de uma espécie para um determinado valor de pH, então, sua concentração, pode coincidir com o limite do precipitado de ferro.

3.1.6 - Aplicabilidade do Diagrama de Solubilidade do Composto de Ferro na Coagulação

3.1.6.1) Características Gerais do Diagrama de Coagulação

A Figura 3.13 consiste no diagrama das diferentes espécies de ferro em equilíbrio com o precipitado de $\text{Fe}(\text{OH})_{3(p)}$; em função da dosagem de cloreto férrico, pode-se obter as condições ótimas de coagulação para a filtração direta ou tratamento completo (Di Bernardo, 1990 e Johnson e Amirtharajah, 1983). Segundo os referidos autores, além da importância das características da água bruta na eficiência da coagulação, a concentração da solução estoque, tipo e mecanismo de coagulação e características da unidade de mistura rápida também desempenham papel importante na coagulação. De acordo com os autores, devido a fatores estudados por eles, o

diagrama da estabilidade teórica mostrado na Figura 3.13 não é o mais recomendado para o estudo do comportamento de coagulantes de Fe(III). Desta maneira, segundo Amirtharajah e Mills (1982) e Matijevic (1973), foram necessários estudos de resultados empíricos para definir as áreas específicas de coagulação, restabilização e não coagulação.

Baseando-se em resultados de pesquisas, sobre a coagulação de águas naturais e artificiais, que são submetidas à filtração direta ou floculação, sedimentação e filtração e, utilizando o diagrama de solubilidade do ferro, Johnson e Amirtharajah (1983), desenvolveram o diagrama da Figura 3.14, interpolando dados obtidos de diferentes trabalhos de pesquisas anteriores, com o emprego de cloreto férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) como coagulante.

Nessa Figura encontra-se delimitada a região em que a coagulação ocorre por varredura (região 1), com predominância do precipitado $\text{Fe}(\text{OH})_{3(p)}$. A região 2 em que prepondera o mecanismo de neutralização de cargas por adsorção das espécies hidrolisadas do ferro, como Fe^{3+} , $\text{Fe}(\text{OH})^{2+}$ e $\text{Fe}(\text{OH})_2^+$, é estabelecida pelos limites de restabilização e também pela reversão de cargas. Uma vez que a carga seja invertida pela adsorção de espécies hidrolisadas carregadas opostamente, ocorrerá a restabilização.

Os resultados das pesquisas realizadas por Stumm e O'Melia, 1968, (citados em Amirtharajah e Johnson, 1983), mostraram que a adsorção de íons metálicos hidrolisados na superfície da camada dispersa pode ser responsável pela desestabilização ou pela reversão do potencial zeta. Na região 3, ocorre a restabilização de cargas, sendo que o limite delineado pode variar com a área superficial dos colóides.

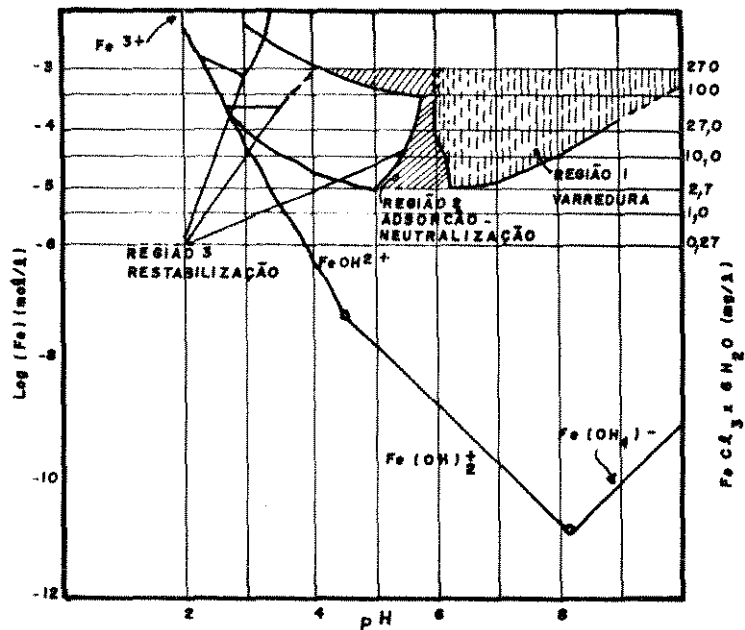


FIGURA 3.14 - Diagrama de Coagulação do Ferro III.
Extraído de Johnson e Amirtharajah, 1983.

Com a finalidade de verificar o diagrama de coagulação para o ferro, Johnson e Amirtharajah (1983) lançaram, no diagrama proposto, os resultados de dois diferentes estudos de coagulação, conforme Figura 3.15.

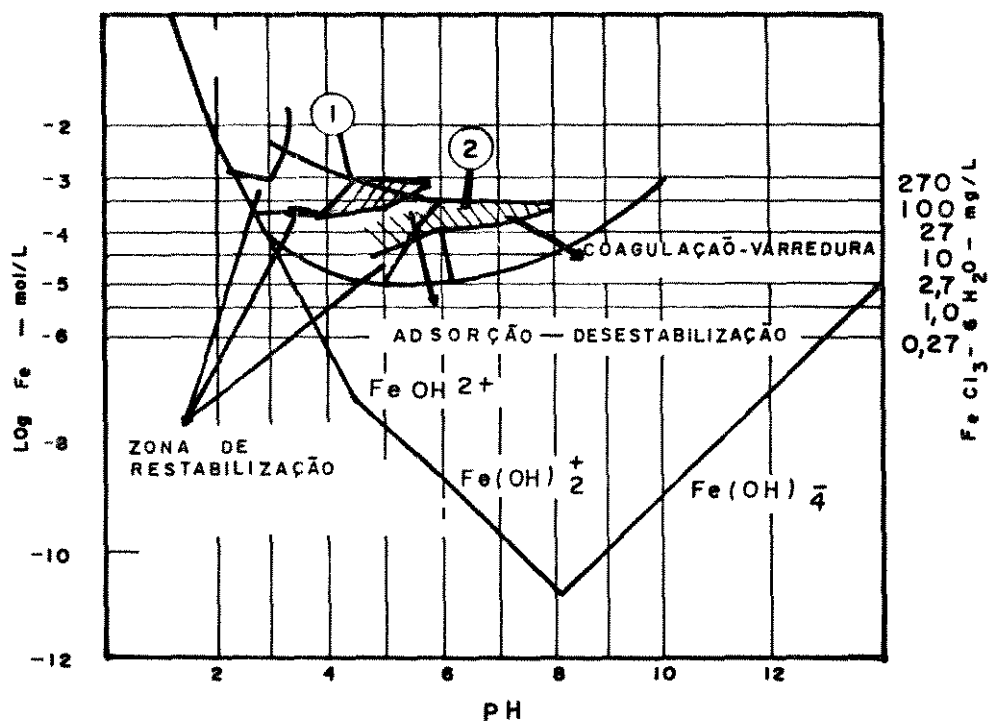


FIGURA 3.15 - Diagrama de Coagulação do Ferro III com Resultados de Dois Diferentes Estudos.
Extraído de Johnson e Amirtharajah, 1983.

A área hachurada 1 foi obtida através de resultados de coagulação de esgoto bruto com cloreto férrico, realizadas por Lee e Jenkins (citados em Johnson e Amirtharajah, 1983), com turbidez inicial de 345 uT; esta área representa uma efetiva coagulação, com turbidez remanescente menor que 10 uT. As investigações realizadas por Rubin e Kovac (citados em Johnson e Amirtharajah, 1983), indicaram que, um aumento na concentração de sólidos, leva a um aumento da área superficial disponível para adsorção e, conseqüentemente um aumento na dosagem de coagulante aplicado, antes de ocorrer o fenômeno da restabilização, fato verificado no diagrama, mostrando concordância com a teoria e diagrama apresentado.

A região 2 mostra uma região efetiva para coagulação de vírus, cujos estudos foram realizados por Manwaring et al. (citado em Johnson e Amirtharajah, 1983). A turbidez inicial apresentou-se baixa (13,5 uT). O limite esquerdo da região de coagulação prolongou-se para a região de restabilização, o que era esperado para águas com baixa turbidez e pequena área superficial dos sólidos.

As Figuras 3.16 e 3.17 apresentam diagramas de coagulação, com compostos de ferro, para remoção de cor, obtidos através de dados de pesquisas realizados por Nolen (citado em Amirtharajah, 1989). Na primeira Figura (3.16) pode ser observado o efeito da remoção de cor, em função do pH e da dosagem de cloreto férrico, para água bruta apresentando cor inicial de 100 uH e valores de turbidez inicial entre 27 e 30 uT. A Figura 3.17 apresenta valores de remoção de cor da água bruta apresentando o mesmo valor de cor (100 uH), porém com turbidez inicial igual a zero. Comparando essas duas Figuras, os autores verificaram que a turbidez não altera de maneira significativa a dosagem do coagulante (cloreto férrico) para a remoção de cor.

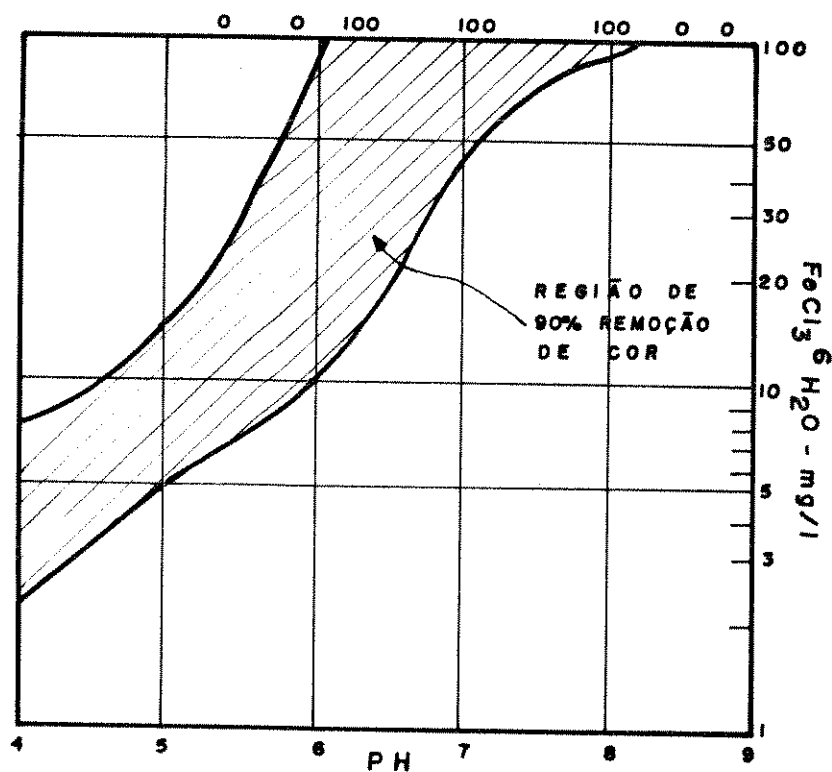


FIGURA 3.16 - Diagrama de Coagulação - Percentagem de Cor Remanescente em Função da Dosagem de Cloreto Férrico e do pH. Cor Inicial = 100 uH; Turbidez Inicial = 27 a 30 uT. Extraído de Amirtharajah, 1989.

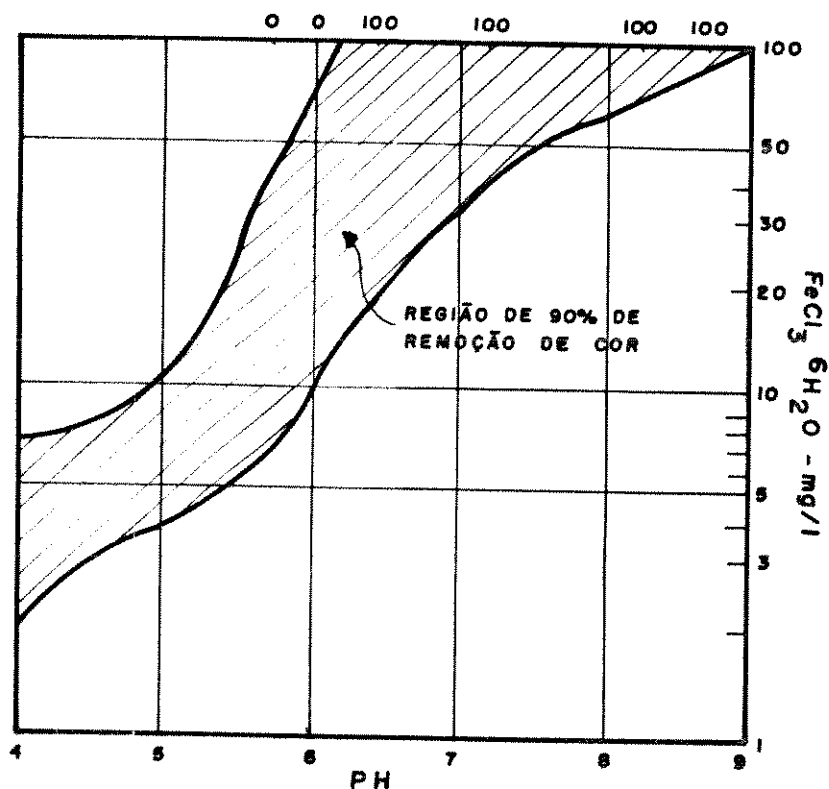


FIGURA 3.17 - Diagrama de Coagulação - Percentagem de Cor Remanescente em Função da Dosagem de Cloreto Férrico e do pH.
 Cor Inicial = 100 uH; Turbidez Inicial = 0 uT
 Extraído de Amirtharajah, 1989.

Trabalhando com águas preparadas em laboratório a partir de água destilada e ácidos húmicos, com diferentes valores de cor e com teor de turbidez igual a zero, Amirtharajah (1989) obteve o diagrama presente na Figura 3.18. Para esse trabalho de pesquisa foram utilizadas águas com teores de ácido húmico inicial igual a 4 mg/l e 20 mg/l, que conferiram às águas valores de medida de cor iguais à 100 uH e 500 uH, respectivamente. O diagrama mostra uma remoção de 90% de cor para os dois tipos de água.

Segundo o autor, com a utilização dos dados das Figuras 3.16, 3.17 e 3.18 é possível prever as condições químicas para uma efetiva remoção de cor, usando o cloreto férrico como coagulante.

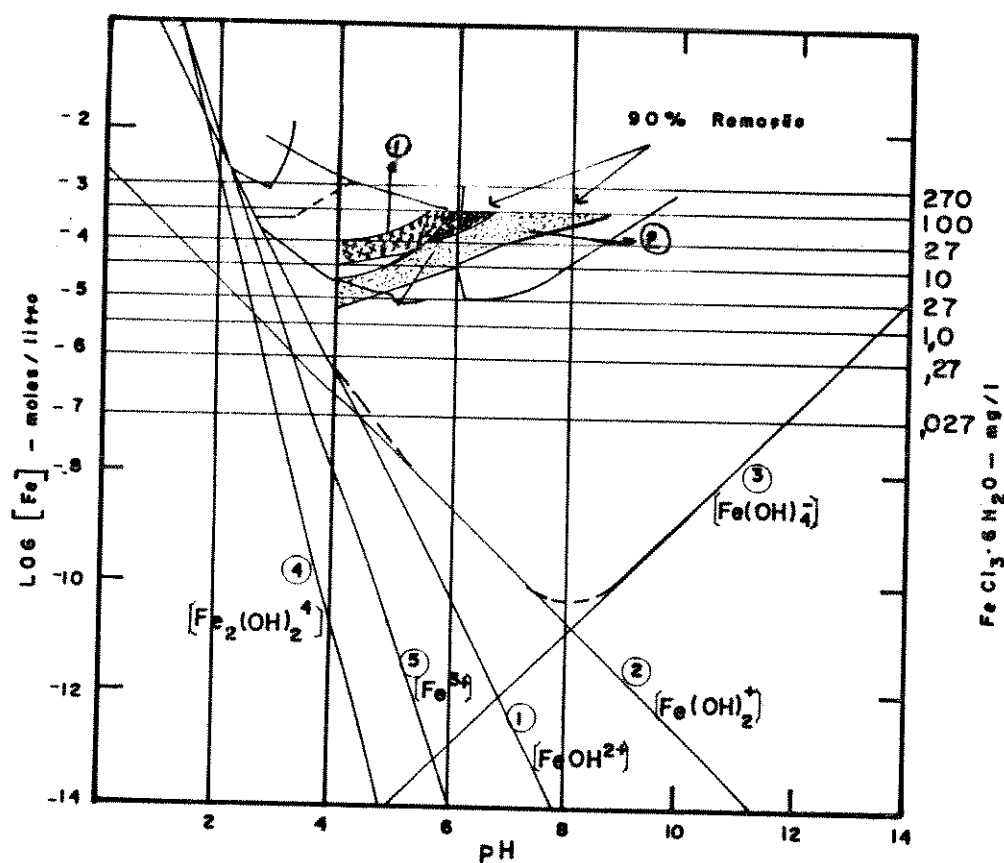




FIGURA 3.18 - Diagrama de Coagulação do Ferro III. Porcentagem de Remoção de Cor em Função da Dosagem de Cloreto Férrico e do pH.
 Ácido Húmico=4 mg/l; Cor Inicial=100 uH 
 Ácido Húmico=20mg/l; Cor Inicial=500 uH 
 Turbidez = zero
 Extraído de Amirtharajah, 1989.

3.1.7 - Influência da Concentração da Solução do Coagulante na Eficiência da Coagulação

O estudo da concentração da solução do coagulante que é aplicado em uma água, tem recebido maior atenção por parte dos pesquisadores, principalmente depois que se começou a verificar mais intensivamente os produtos de hidrólise dos coagulantes na água e a influência na eficiência da coagulação-floculação.

Segundo Di Bernardo (1990) e Johnson e Amirtharajah (1983), a concentração da solução estoque de cloreto férrico pode variar de 0,1 à 50 % nas estações de tratamento de água, o que contribui para que ocorra uma maior ou menor porcentagem de ferro na forma de $\text{Fe}(\text{H}_2\text{O})_6^{3+}$, ou na forma de hidróxido-complexos, pois o pH também varia. De acordo com esses autores, em função do mecanismo em que ocorre a coagulação, há alguma influência da concentração da solução de cloreto férrico, na eficiência da coagulação.

Matijevic e Janauer (citados em Johnson e Amirtharajah, 1983) verificaram que a composição das espécies de sais de ferro em solução dependia do pH, concentração, temperatura, modo de preparação, idade, tipo de ânions presentes e outros fatores. Mesmo para o método de diluição, foi observado existir efeito, em soluções de nitrato férrico. Segundo os referidos autores, um aumento na temperatura promove um acréscimo no processo de hidrólise, levando à rápida formação de precipitados e, quanto mais antiga for a solução, maior é o efeito da coagulação. Os sais de ferro são geralmente efetivos na coagulação para uma faixa mais ampla de valores de pH do que quando o sulfato de alumínio é utilizado.

3.2 - OZÔNIO

3.2.1 - Considerações Gerais

Embora a ação germicida do ozônio tenha sido evidenciada na França, no final do século passado, o ozônio começou a ser utilizado como desinfetante de água de abastecimento público a partir de 1906, na Estação de Tratamento de Água de Bon Voyage, em Nice, França. Desde então, mais de mil estações de tratamento de água por toda a Europa, adotaram esta prática (Glaze, 1987 e Rice, 1985).

Segundo Bernard (1988), desde o período em que o ozônio começou a ser utilizado na Europa, o conhecimento teórico de seus efeitos em níveis moleculares e o progresso tecnológico através da produção do ozônio tiveram considerável desenvolvimento. Conforme Richard (1988), as técnicas de ozonização foram desenvolvidas mais significativamente nos últimos 25 anos, particularmente na França, Alemanha Ocidental e Suíça. Na América do Norte, o ozônio começou a ser recentemente empregado em tratamento de água.

De acordo com Rice (1985), o número de estações que utilizam o ozônio nos Estados Unidos, cresceu de 5 em 1977, para 20 em 1984. Durante este mesmo período, o número de estações no Canadá que empregam o ozônio, aumentou de 23 para aproximadamente 50 estações. Segundo Glaze (1987), grandes estações começaram a operar nos Estados Unidos da América, como a de Los Angeles, que possui uma das maiores instalações de geração de ozônio do mundo, com a finalidade de auxiliar no processo de coagulação e no controle de precursores de trihalometanos - THM e, a de Hackensack onde o ozônio é empregado para remover cor, ferro, manganês e controlar os precursores de de THM.

Segundo Sease (1976), vem aumentando a utilização do ozônio nas estações de tratamento de água no Japão. Em seis municipalidades japonesas, vários proble-

mas, como de sabor e odor, foram sanados com o uso do ozônio, e na África do Sul, o emprego do ozônio já vem ocorrendo em várias estações de tratamento de água.

No Brasil, de acordo com Francisco (1988), o uso da tecnologia do ozônio começou em 1983, quando algumas estações de tratamento necessitaram de alternativas para os métodos convencionais de pré - cloração e pré - aeração de águas superficiais. Segundo o referido autor, de 1985 em diante, a partir da associação entre duas indústrias nacionais, adquiriu-se uma experiência considerável em procedimentos laboratoriais, estações pilotos em campo e no mercado dos ozonizadores industriais.

Segundo Francisco (1988), foram realizados testes pilotos de pré-ozonização em estações de tratamento de água, como a de Manaus (Rio Negro), no estado do Amazonas, e a do Baixo Cotia, na região metropolitana de São Paulo. Segundo o mesmo autor, algumas indústrias, como a Pirelli, localizadas em Campinas e Sumaré (SP), bem como a Cutrale, em Araraquara, (SP), estão empregando a pré-ozonização em suas estações de tratamento de água, para o uso industrial. O ozônio está sendo utilizado também, e com sucesso, no controle da qualidade microbiológica no processo de engarrafamento de água mineral, em São Paulo. Ainda, de acordo com o autor, no Equador, o ozônio começou a ser utilizado recentemente na estação de tratamento de água de Manta, para auxiliar na remoção de cor, matéria orgânica, odor e sabor.

Segundo Glaze (1987), entre os importantes processos químicos envolvidos no tratamento de água pode-se identificar (i) a desinfecção, que previne as doenças caracterizadas por veiculação hídrica e, (ii) a oxidação que promove a degradação e remoção de compostos indesejáveis, que podem ser tóxicos, ou que causam sabor e odor desagradáveis ou cor na água. A possibilidade do uso de oxidantes químicos no tratamento de águas de

abastecimento, pode ser esquematicamente visualizado através da Figura 3.19.

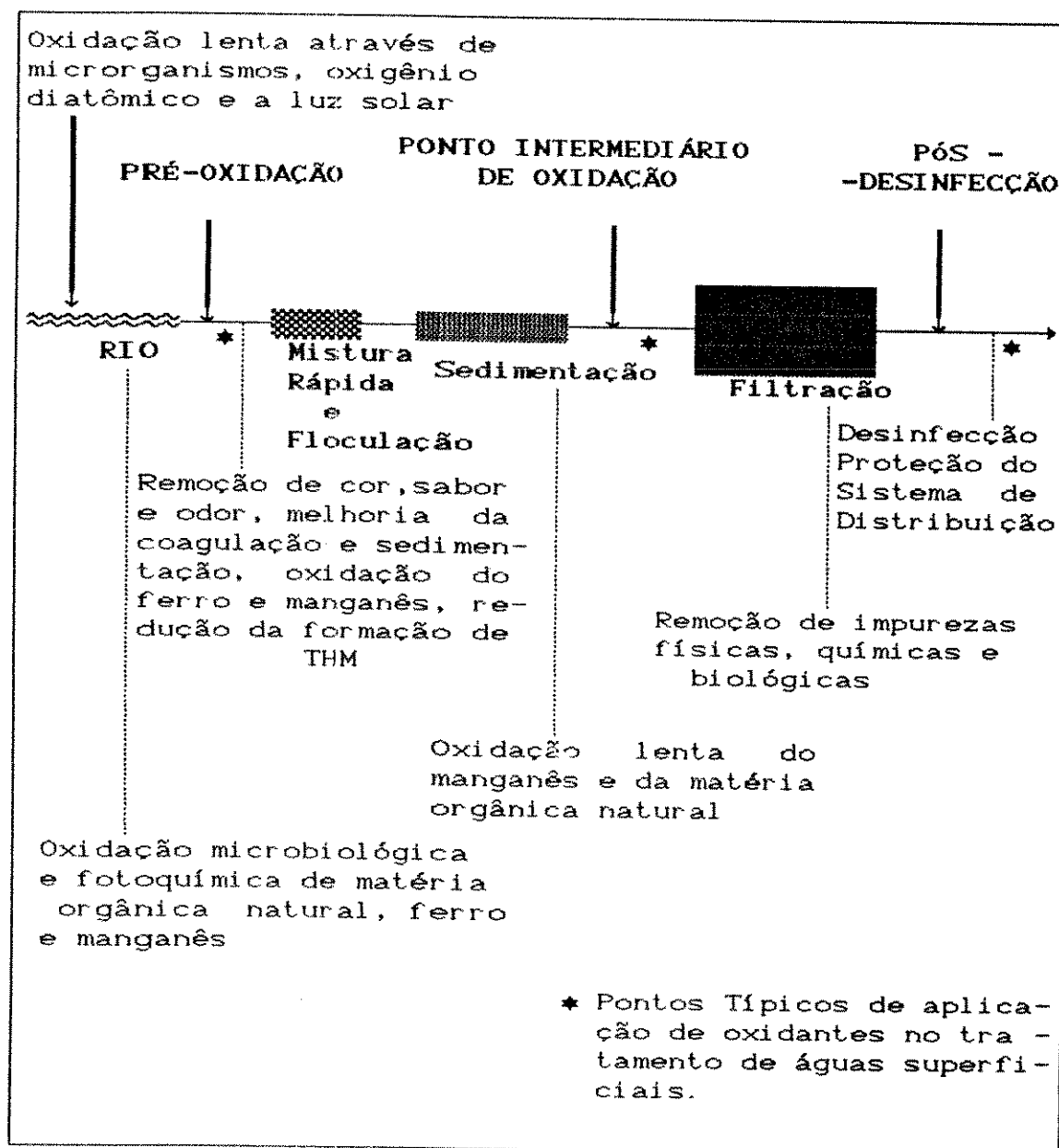


FIGURA 3.19 - Pontos de Aplicação de Oxidantes Químicos em Tratamento de Água. Extraído de Glaze, 1987.

O cloro tem sido a escolha tradicional nas estações de tratamento de água por ser um forte desinfetante e oxidante. A sua eficiência é bem conhecida, como demonstra

do pelo drástico decréscimo das doenças intestinais transmitidas por veiculação hídrica (Geering, 1989).

Na década de 70, segundo Rook (1974), foi observado que a adição de cloro nas águas para abastecimento público não trazia somente efeitos positivos. Através da reação do mesmo com a matéria orgânica, são formados subprodutos prejudiciais à saúde humana, especialmente compostos halogenados, tais como os trihalometanos. De acordo com Jolley et al. (1985); Klein e Smith (1989) e Rook (1974), este efeito negativo é intensificado pela qualidade declinante da água bruta, devido o aumento dos volumes de esgotos domésticos e de águas residuárias industriais lançados nos rios e aos avanços tecnológicos que incluíram a produção de mais compostos químicos, elementos estes, que, invariavelmente, aparecem nos afluentes às estações de tratamento de água.

Canter (1978) verificou, em testes efetuados em animais, que muitos compostos halogenados orgânicos, resultantes da oxidação com o cloro, apresentavam características mutagênicas ou até carcinogênicas. O autor mostra que a ligação entre a concentração de THM em água potável e a incidência de câncer, embora não conclusivamente, é sustentada por estudos epidemiológicos.

Segundo Drago (1989), muitos trabalhos têm sido realizados na investigação de métodos alternativos para a substituição do cloro livre. O tratamento por cloraminas (combinação do cloro livre com amônia) surgiu como a alternativa mais popular para o processo de desinfecção, porque não produzem THMs. No entanto as cloraminas são oxidantes fracos e necessitam de um auxiliar na pré-oxidação. Os oxidantes mais fortes, como o dióxido de cloro e o ozônio, estão sendo considerados como substitutos do cloro no início e na fase intermediária do tratamento de água (Glaze, 1987).

A Tabela 3.3, ilustra os efeitos de vários

oxidantes e, como demonstrado por Richard (1988), verifica-se que o ozônio, com exceção da amônia, é um dos oxidantes mais poderosos.

Di Bernardo (1989), evidencia entre algumas desvantagens do uso do dióxido de cloro, a possível formação de clorato e clorito, compostos que podem oxidar a hemoglobina, causando a metemoglobinemia, ou ainda, segundo o autor, se for usado cloro em excesso na produção do dióxido de cloro, poderá haver a formação de THM.

TABELA 3.3 Efeitos Dos Oxidantes Em Alguns Elementos Constituintes Nas Águas Superficiais
Extraído de Richard 1988

ELEMENTOS	OXIDANTE				
	AR	Cl ₂	ClO ₂	O ₃	KMnO ₄
FERRO	++	++	+++	+++	+
MANGANÊS		+	++	+++	+++
COR	-	+	+	++	
SABOR E ODOR	-	+	+	+++	-
NH ₃	-	+	-	-	-
COT	-	+	+	+	+
SUBST. REDUTORAS	-	++	++	++	+
BIODEGRADABILIDADE		-	-	++	
DESINFECÇÃO	-	++	++	++	

<input type="checkbox"/>	→ Nenhum efeito	<input type="checkbox"/>	→ Regular	<input type="checkbox"/>	→ Ótimo
<input type="checkbox"/>	→ Ruim	<input type="checkbox"/>	→ Bom		

Segundo Masschelein (1988), o ozônio, já tem seu uso reconhecido na desinfecção e melhoria das propriedades organolépticas da água. De acordo com Bernard (1989), o ozônio evita a formação de haloformas na etapa da

pré-oxidação, mesmo em presença de substâncias precursoras. Segundo Cognet et al. (1986); Glaze (1987) e Gilli et al. (1989), os produtos de decomposição do ozônio (radicais) possuem uma força oxidante superior ao mesmo e, além disso, parecem produzir menores quantidades de substâncias mutagênicas que o cloro livre ou seus derivados. A substituição do cloro pelo ozônio na etapa da pré-oxidação aumenta a eficiência da clarificação da água, incluindo uma maior remoção do potencial orgânico e de THM, conforme foi verificado por Richard (1988).

Segundo Prendiville (citado em Dowbiggin e Singer, 1989) foram realizados vários testes de comparação entre o cloro e o ozônio na pré-oxidação e verificou-se que este último resultava superior como auxiliar de coagulação. Pesquisas realizadas por Drago (1989) mostraram que o ozônio aumenta a eficiência da coagulação e reduz a dosagem de coagulante. Os experimentos efetuados por Dowbiggin e Singer (1989), mostraram que os benefícios da desestabilização das partículas foram observados com coagulantes como sulfato de alumínio, cloreto férrico e polímeros catiônicos.

Jolley et al (1985) realizaram pesquisas visando observar o comportamento do ozônio em relação ao cloro, na destruição de microrganismos patogênicos. O ozônio mostrou comportamento superior ao cloro na destruição dos microrganismos, com eficiência cerca de 20 vezes maior na destruição da bactéria E. coli, de 100 vezes para o Poliovirus 1 e 20 vezes mais eficaz na destruição dos cistos da Entamoeba histolytica. Estas eficiências foram obtidas em função do tempo para destruição, com dosagens e temperaturas similares. O ozônio é um poderoso agente desinfetante e é capaz de inativar bactérias e vírus em pequeno tempo de contato, (Richard, 1988).

A Tabela 3.4 mostra uma comparação relativa entre as propriedades do cloro e do ozônio.

TABELA 3.4 Comparação Das Propriedades Do Cloro e Ozônio
Extraído de Rice e Netzer 1982

PROPRIEDADE	CLORO	OZÔNIO
OXIDANTE	BOM	EXCELENTE
DESINFETANTE	BOM	EXCELENTE
RISCOS À SAÚDE	DOENÇAS DE RINS DOENÇAS DE FÍGADO CÂNCER TUMORES	RISCOS NÃO CONHECIDOS
RESIDUAL	EXCELENTE	POBRE

Embora o cloro seja necessário para manter o residual desinfetante no sistema de distribuição, a dosagem de cloro e a quantidade de compostos clorados, que representam riscos de saúde, são minimizados quando o ozônio é utilizado (Klein e Smith, 1989).

É cada vez maior o número de estações de tratamento que utilizam o ozônio não só como desinfetante primário, como também para a realização de uma ou mais atividades da oxidação (Collins et al., 1989). Segundo os referidos autores, o ozônio pode ser empregado para :

- Desinfecção bacteriana e inativação viral;
- Remoção de substâncias orgânicas, tais como materiais húmicos, pesticidas, detergentes, fenóis ;
- Remoção de precursores de trihalometanos;
- Auxiliar de coagulação;
- Remoção de cor, sabor e odor;
- Oxidação de ferro e manganês solúveis;
- Rompimentos de ligações organometálicas, permitindo que metais, como por exemplo, Fe(III) e o Mn (IV) reajam como coagulantes dos compostos orgânicos remanescentes, levando à uma melhor precipitação;
- Destruição de algas;

- Oxidação de cianeto para cianato e eventualmente, para dióxido de carbono e água e outros compostos.

O ozônio pode também ser empregado no tratamento de água de piscina (desenvolvido na Europa na década de 50), em águas utilizadas nos processos industriais, nas estações de tratamentos de águas residuárias industriais e municipais (Nebel, 1981).

3.2.2 - Propriedades Químicas do Ozônio

O ozônio é o segundo oxidante mais poderoso, excedido em seu potencial de oxidação somente pelo flúor. É um gás que ferve a -112°C à pressão atmosférica, é parcialmente solúvel na água e facilmente detectável em concentrações muito baixas (0,01 a 0,05 mg/l).

O odor pungente do ozônio foi relatado pela primeira vez por Van Mauren, em 1785, nas proximidades de uma descarga elétrica. Em 1840, foi verificado que o odor era resultante da presença de um composto não estabilizado, cuja estrutura foi confirmada em 1872 como um triângulo triatômico alotrópico (Nebel, 1981). Segundo o referido autor, a configuração triangular da molécula do ozônio forma um ângulo de ligação de $116^{\circ}49'$ entre os três átomos de oxigênio, de acordo com estudos de microondas, ou 127° , em conformidade com estudos de difração de elétrons.

As ressonâncias das estruturas das moléculas de ozônio são mostradas na Figura 3.20:

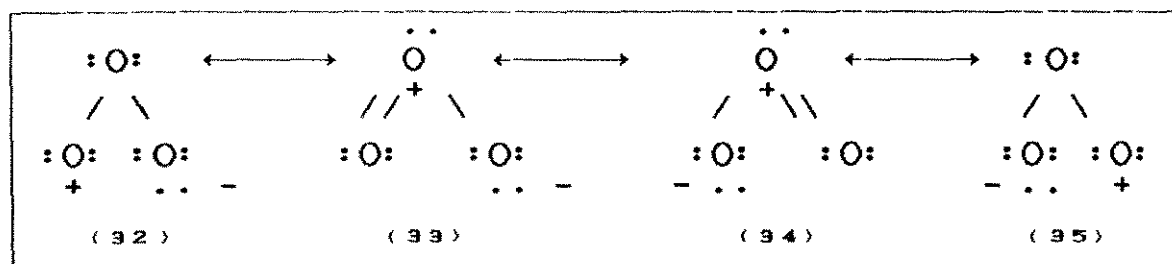
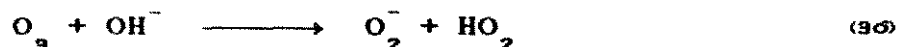


FIGURA 3.20 - Possíveis Formas do Ozônio Devida a Ressonância Eletrônica.
Extraído de Nebel, 1981.

A real estrutura do ozônio é uma ressonância híbrida das configurações mostradas na Figura 3.20. Conforme Nebel (1981), os comprimentos dos dois vínculos são equivalentes à 0,1278 nm. As formas (32) e (35) são os maiores contribuintes das estruturas de ressonância. Elas são caracterizadas por um oxigênio na extremidade, com seis elétrons. A ligação das moléculas de oxigênio resulta de duas ligações do tipo σ e uma ligação π , no qual o orbital alonga-se sobre os três átomos de oxigênio. A distância observada nas ligações de oxigênio são de 0,120 e 0,148 nm para ligações duplas e simples, respectivamente.

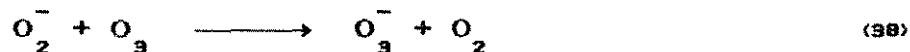
Nas investigações realizadas por Staehelin e Holigné (1982) e (1985) (citados em Chelkowska e Grasso, 1989 e Glaze, 1987), foi observado que, em água pura, a decomposição do ozônio é iniciada pela reação entre o ozônio e íons de OH^- :



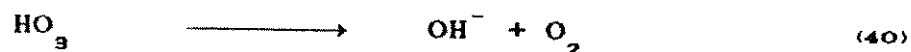
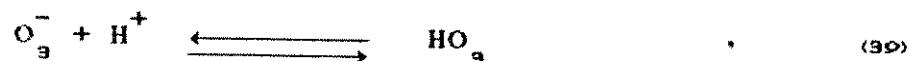
De acordo com Chelkowska e Grasso (1989), o superóxido aniônico O_2^- e o radical hidroperóxil HO_2 estão em equilíbrio ($\text{pK}_a = 4,8$), tal que:



Durante a propagação, o íon superóxido O_2^- transfere imediatamente um elétron ao O_3 , formando o ânion ozoneto e oxigênio molecular,



Conforme os referidos autores, o ânion ozoneto (O_3^-) é protonado e, em seguida, decompõe-se a radical OH , o qual poderá reagir com qualquer soluto, como mostrado a seguir:



A Figura 3.21, mostra esquematicamente a decomposição do ozônio em água pura, como um mecanismo de cadeia cíclica.

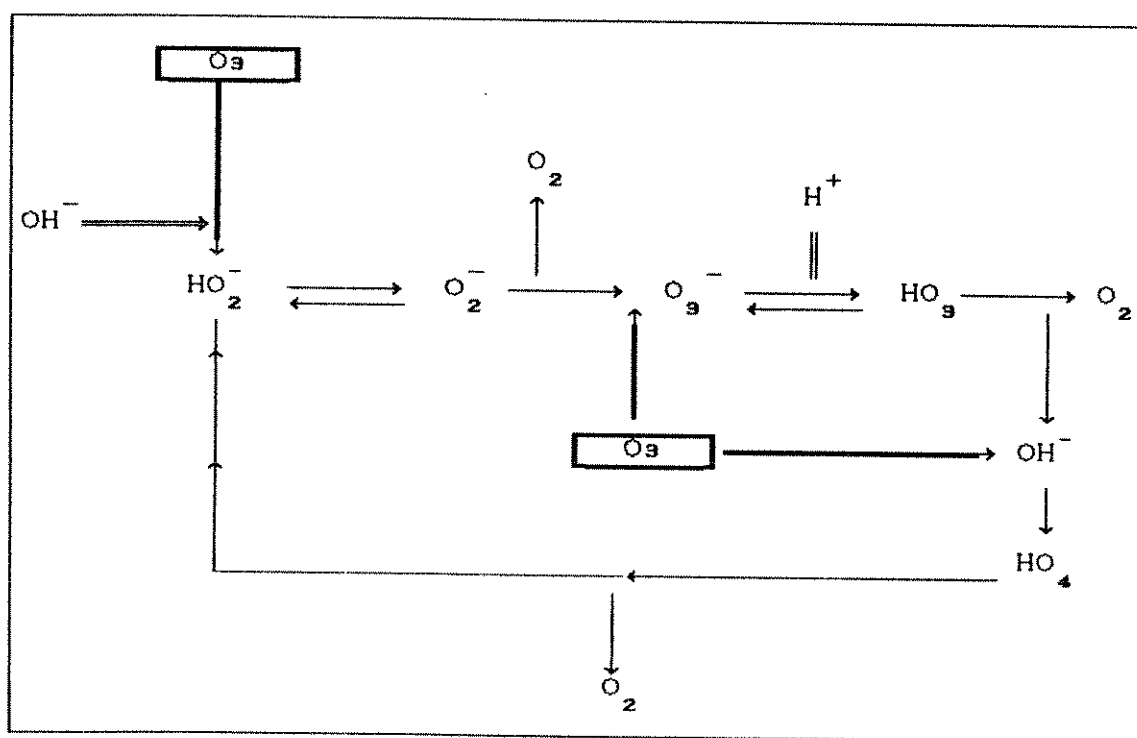


FIGURA 3.21 - Mecanismo de Cadeia Cíclica da Decomposição do Ozônio.

Extraído de Glaze, 1987

Os mecanismos de ação do ozônio em compostos orgânicos ocorrem através das reações do ozônio com estes compostos e podem ser divididos em dois tipos: reações diretas, as quais envolvem o ozônio molecular e, reações in-

diretas, que envolvem reações com os radicais hidroxilas (OH°) (Gilli et al., 1989; Glaze, 1987; Gurol, 1985; Sierka et al., 1989; Staehelin e Hoigné, 1985).

A Figura 3.22, ilustra os caminhos das reações do ozônio com compostos orgânicos na água:

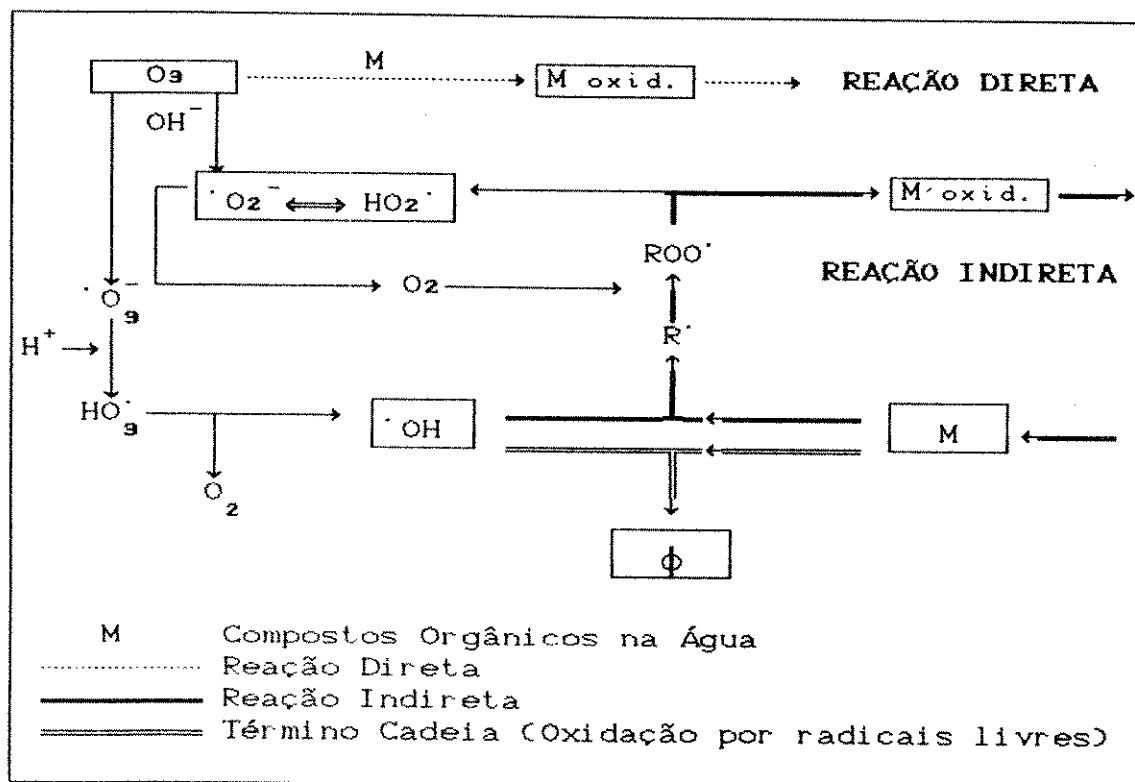


FIGURA 3.22 - Reações Entre o Ozônio e Compostos Orgânicos na Água.

Extraído de Gilli et al., 1989.

Segundo Nebel (1981), a forte natureza eletrofílica do ozônio, permite a reação com uma ampla variedade de grupos funcionais orgânicos e organo - metálicos, conforme Tabela 3.5 :

TABELA 3.5 Grupos Funcionais Orgânicos e Orgânicos Metálicos Passíveis de Reação com o Ozônio

$\diagup \text{C} = \text{C} \diagdown$ (alifático e aromático)			$-\text{C} \equiv \text{C}-$	
$\diagup \text{C} = \text{N}-$	R_3N	RSH	RSR	RSSR
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RSR} \end{array}$	R_3P	$(\text{RO})_3\text{P}$	R_3As	R_2Se
$\begin{array}{c} \text{O} \\ \parallel \\ \text{RCR} \end{array}$	R_3CH	RCH_2OR	R_2CHNH_2	RSCHR_2
$-\text{SiH}$	$-\text{Si}-\text{C}-$	$-\text{Si}-\text{Si}-$	$-\text{C}-\text{Mg}-$	

De acordo com Di Bernardo (1989), apesar do elevado potencial de óxido-redução, o ozônio quando aplicado às águas de abastecimento, causa pequena redução da quantidade do carbono orgânico total. Uma das razões deste comportamento pode ser explicado pelo fato das moléculas dos compostos orgânicos reagirem pouco com o ozônio, onde ocorre a reação direta.

Através de revisão de literatura, sobre os diferentes mecanismos do ozônio em compostos orgânicos, Dore (citado em Anselme et al., 1988) baseando-se em trabalhos de Hoigné (1982) e Staehelin e Hoigné (1983, 1985) e de acordo com Nebel (1981), mostram que o ozônio pode reagir diretamente para formar carbonilas. A maioria das reações diretas do ozônio com compostos orgânicos são baseadas na divisão da dupla ligação do carbono-carbono, comportando -se como um dipólo, como um agente eletrofílico em aromáticos e, como agente nucleofílico, na dupla ligação de C=N.

O comportamento da molécula de ozônio como um dipólo, conduz à 1-3 cicloadição sobre ligações não

saturadas com a formação de estruturas, ilustradas logo abaixo (Di Bernardo, 1989).

O ozônio forma inicialmente um complexo π na dupla ligação com o carbono orgânico, que é relativamente estável abaixo -140°C . O complexo π (41) rompe a ligação π para produzir o ozoneto inicial (Nebel, 1981), conforme a a Figura 3.23 a seguir:

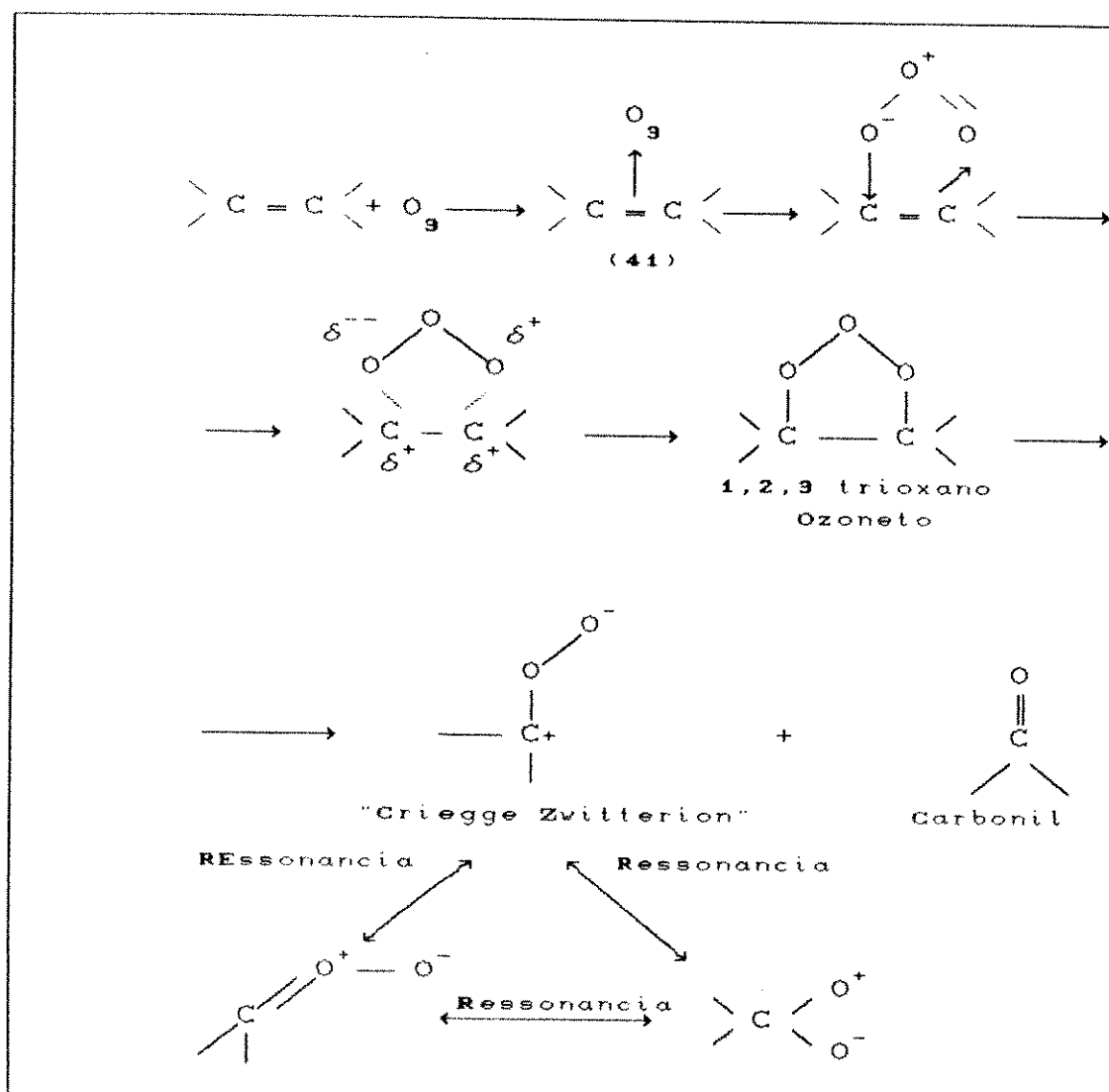
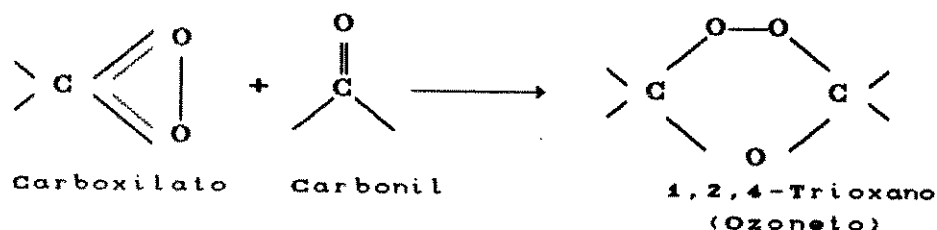
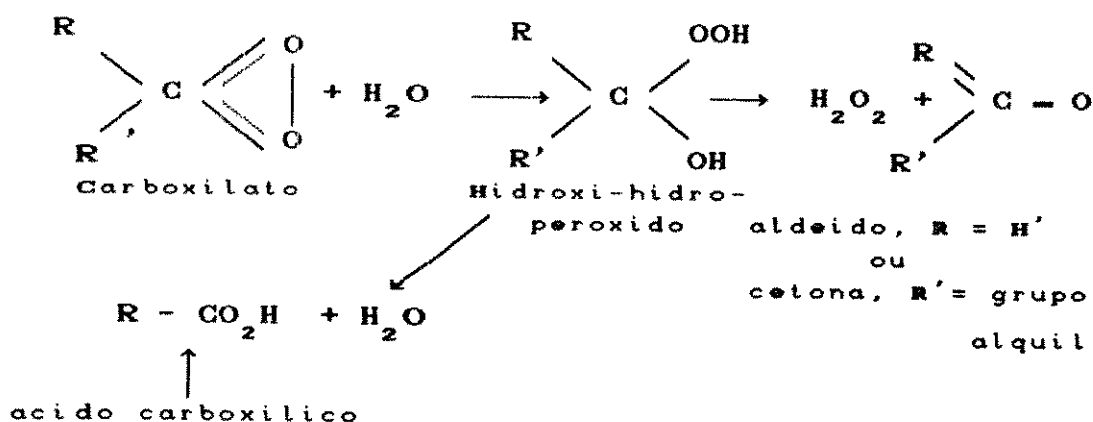


FIGURA 3.23 – Esquemas do Comportamento da Molécula de Ozônio.
Extraído de Nebel, 1981.

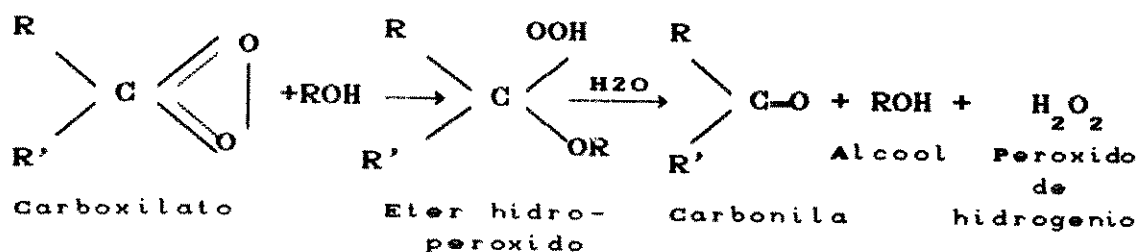
A ressonância híbrida das três formas juntas, apresentadas na Figura 3.23, podem ser retratadas na forma de carboxilato, que reagindo com compostos carbonilas, levam a formação de outra estrutura de ozoneto (Nebel, 1981).



Quando o composto carboxilato é utilizado para purificação de água, em geral, há a formação de hidróxi-hidroperóxido que se decompõe a aldeído, cetona ou ácido carboxílico (Nebel, 1981).



Quando um solvente alcoólico é usado na reação com carboxilato, o produto é o semi-estável éter hidroperóxido que, em presença de água, hidrolisa-se a composto carbonila, álcool e peróxido de hidrogênio (Nebel, 1981).



O ozônio, como agente eletrofílico, tem a sua ação localizada nos sítios de alta densidade eletrônica e os mais representativos exemplos, são encontrados com compostos aromáticos, cuja ação ocorre por anel de hidroxilação (Anselme et al., 1988; Di Bernardo, 1989; Glaze, 1987 e Hoigné, 1982).

Levando em conta a natureza eletrofílica da reação, os grupos doadores de elétrons localizados no ciclo aromático causam significativa reatividade com orientação da hidroxila orto à posição para, o que ocorre com anilina e fenol. A hidroxilação é geralmente seguida pela abertura do ciclo aromático levando à formação de aldeídos, acetonas e ácidos (Di Bernardo, 1989). A reação apresentada na Figura abaixo é um exemplo de como ocorre o ataque hidrofílico aos compostos aromáticos:

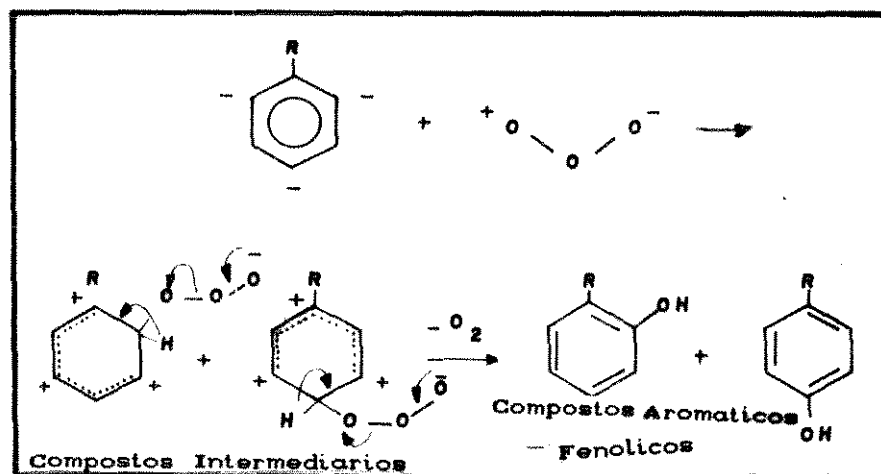


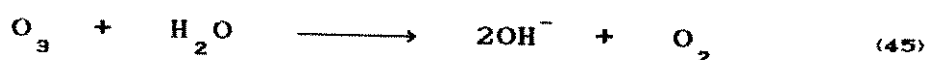
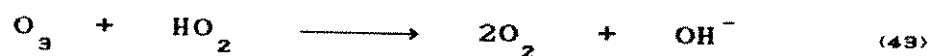
FIGURA 3.24 - Possível Reação eletrofílica do Ozônio com Grupos Aromáticos.
Extraído de Di Bernardo, 1989.

Como agente nucleófilo, na reação direta do ozônio, o ataque ocorre essencialmente nos sítios com déficit eletrônico, (Anselme et al., 1988; Di Bernardo, 1989; Glaze, 1987).

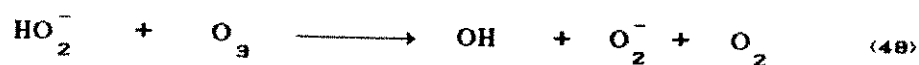
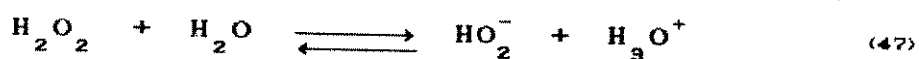
A seguir, um exemplo do ataque nucleofílico no

são conhecidos por serem mais reativos e menos seletivos em suas reações que o ozônio molecular.

As reações de número 42 a 46 mostram exemplos de algumas reações que podem ocorrer num meio aquoso (Gary e Peyton, 1989; Kate e Grasso, 1989 e Sugimutsu et al., 1989):

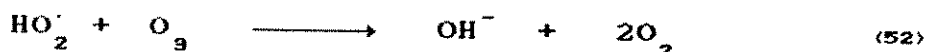
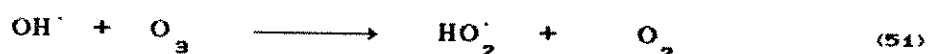
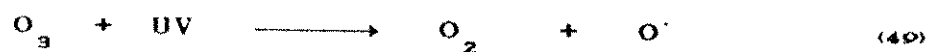


A presença de peróxido de hidrogênio favorece as reações indiretas do ozônio, (Sierka, 1989). Hoigné (citado em Glaze, 1987), identificou o ânion peróxido de hidrogênio (HO_2^-) como uma das espécies que podem iniciar o processo da cadeia cíclica, ilustrada na Figura 3.21. Através de observações, foi verificado que o peróxido de hidrogênio aumenta a eficiência do ozônio na remoção de substâncias orgânicas (Glaze, 1987). De acordo com Gary e Peyton (1989) as reações de número 47 e 48 representam alguns exemplos, conforme abaixo:



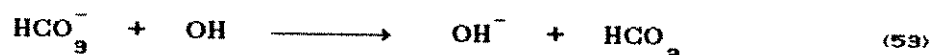
Segundo Jody et al. (1989) e, Sierka et al. (1989), a fotólise da molécula de ozônio pela radiação ultravioleta, produz espécies altamente reativas, possibilitando a oxidação de vários compostos orgânicos. Podem

ocorrer conforme as reações a seguir (Kate e Grasso, 1989; Masschelein, 1989b e, Sugitimutsi et al., 1989):



Segundo Staehelin e Hoigné (citados em Dore et al., 1989), os radicais hidroxilas reagem com íons carbonatos, íons bicarbonatos e outros, que consomem os radicais OH^{\cdot} , podendo desta maneira inibir as reações de oxidação de solutos orgânicos através de reações de radicais livres e limitar a taxa de decomposição do ozônio na água.

De acordo com Glaze (1987), para o caso do bicarbonato, a reação é um simples processo de transferência de elétron com o radical hidroxil conforme reação a seguir:



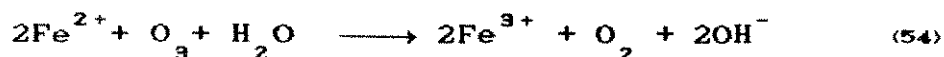
Segundo Nebel (1981), a química inorgânica do ozônio envolve quase todos os membros da Tabela periódica, que não é surpresa, uma vez que o ozônio tem um potencial de oxidação com cerca de 2,09 V. De acordo com o referido autor, o ozônio pode reagir com íons metálicos, tais como cálcio e sódio, para formar ozonetos e óxidos. Todos os membros das séries dos haletos, com exceção do flúor, reagem com o ozônio. O flúor não reage porque é o único elemento que tem o potencial de oxidação maior que o ozônio.

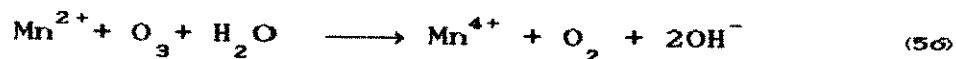
Ainda de acordo com Nebel (1981), segundo

princípios termodinâmicos, o íon cloreto pode reagir com o ozônio para formar cloro. No entanto, esta reação é limitada a reações cinéticas muito lentas e de baixas taxas de produção. Sómente em soluções ácidas é que os cloretos são oxidados, muito lentamente, para a forma de cloro; mesmo assim a taxa de reação sob condições ideais é tão lenta que não possui nenhum significado prático. O brometo, por sua vez, é oxidado pelo ozônio a bromo, em taxas mais elevadas que o íon cloreto. O iodeto reage com o ozônio para formar o iodo. A reação do ozônio com o iodeto de potássio forma a base de várias técnicas analíticas do ozônio.

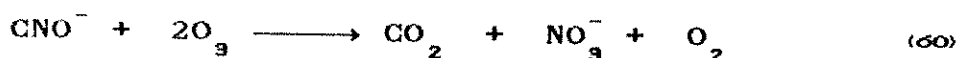
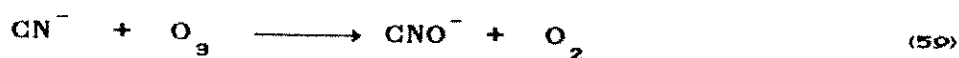
Nebel (1981) cita que os íons metálicos alcalinos não são reativos ao ozônio, uma vez que eles possuem sómente um estado de oxidação. Estes metais podem formar ozonetos iônicos cristalinos os quais contém o íon O_3^- . Os metais classificados quimicamente como de transição são oxidados pelo ozônio em seus mais altos estados de oxidação, os quais são geralmente menos solúveis em águas. Este método de remoção de íons metálicos é empregado comercialmente em muitas estações de tratamento de água, onde existe a necessidade da remoção de ferro e manganês, a níveis muito baixos. Além destes, podem ser removidos, pela oxidação por ozônio e filtração de águas poluídas, metais como níquel, mercúrio, chumbo e outros.

Embora os mecanismos da ação do ozônio sobre os diversos metais ainda não estejam completamente esclarecidos, são bem conhecidas as equações segundo as quais o ferro e manganês são oxidados (Di Bernardo, 1989 e Nebel, 1981).

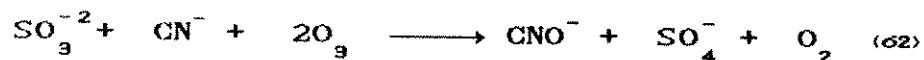




Com relação ao nitrogênio, podem ser citados os ânions nitrogenosos, como por exemplo, nitritos, cianetos, cianatos, tiocianatos e outros, que são oxidados pelo ozônio (Nebel, 1981).



A oxidação do sulfito (SO_3^{-2}) e cianetos (CN^-) pelo ozônio, produzem :



O íon sulfeto pode também ser facilmente oxidado a enxofre, sulfito e finalmente, à sulfato:



3.2.3 - Produção de Ozônio

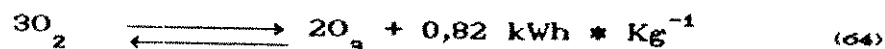
O ozônio é um gás instável, produzido através de descarga elétrica. Como é difícil o seu armazenamento e transporte, devido a sua rápida decomposição, ele é normalmente produzido próximo ao local de consumo (Di Bernardo, 1989; Glaze, 1987 e, Schulhof e Smith, 1988).

Segundo Nebel (1981), o ozônio pode ser gerado de diversas maneiras, sendo que a maioria delas requer que as ligações estáveis da molécula de oxigênio sejam divididas em dois átomos de oxigênio. Estes átomos reagem quase que imediatamente com a molécula do oxigênio para formar o ozônio.

Dentre os métodos existentes para a produção de ozônio, Nebel (1981) ressalta a termólise do ozônio em plasma, que ocorre numa temperatura acima de 2760°C seguido de resfriamento bruto em oxigênio líquido; a oxidação lenta do fósforo; a irradiação beta do oxigênio em reatores nucleares; as eletrólises de alta corrente em soluções de fosfato aquoso, produzindo à temperatura ambiente ozônio e oxigênio no gás anódico; oxidação do fósforo amarelo, presente no ar, a fósforo sesquióxido e produzindo uma pequena quantidade de ozônio; a irradiação ultravioleta do ar ou oxigênio e, descarga elétrica no interior da célula. De acordo com o referido autor, somente os dois últimos processos (por irradiação ultravioleta e descarga da corona), são de importância comercial. Geradores de ozônio por ultravioleta são usados na preservação de alimentos, em cervejarias e em dutos de condução de ar de hotéis e hospitais. Por produzirem baixas concentrações de ozônio, não são utilizados em tratamento de água, porque a eficiência de transferência de ozônio do ar para a água é baixa, além da necessidade de se utilizar um grande volume de ar. São necessários cerca de 44 kW.h, para gerar 1 Kg de ozônio a partir do ar seco pela luz ultravioleta, sob baixas concentrações e altos fluxos de gás. Quando se necessita de grandes quantidades de ozônio e maiores concentrações deste gás, a tecnologia da descarga da corona deve ser aplicada. É uma descarga elétrica silenciosa, que fornece aos elétrons energia cinética suficiente para dividir a dupla ligação, do oxigênio-oxigênio, no impacto com a molécula de

oxigênio. Os dois átomos de oxigênio, produtos desta colisão, reagem com outra molécula de oxigênio para formar o ozônio.

De acordo com Schulhof e Smith (1988), em 1857, Werner Von Siemens, mostrou que o ozônio é produzido a partir do oxigênio, através da reação (64). Segundo os autores, um gerador típico deste processo, requer cerca de 16,5 kWh para produzir 1,0 Kg de ozônio a partir do ar:



Ainda segundo os referidos autores, desde o final do século passado, quando foi construído o primeiro ozonizador por Marius Otto, até o presente momento, os equipamentos operam segundo o mesmos princípios. Basicamente, o oxigênio é introduzido em uma célula, onde ocorre a descarga elétrica, produzida por uma fonte elétrica de alta voltagem. Esta descarga ocorre em uma abertura de dimensões características, entre dois eletrodos (um de alta voltagem e o outro, aterrado), ocupado por duas substâncias dielétricas, uma o oxigênio e a outra, vidro ou cerâmica (geralmente utilizado para limitar a descarga e evitar a formação de arco), conforme mostra esquematicamente a Figura 3.25 :

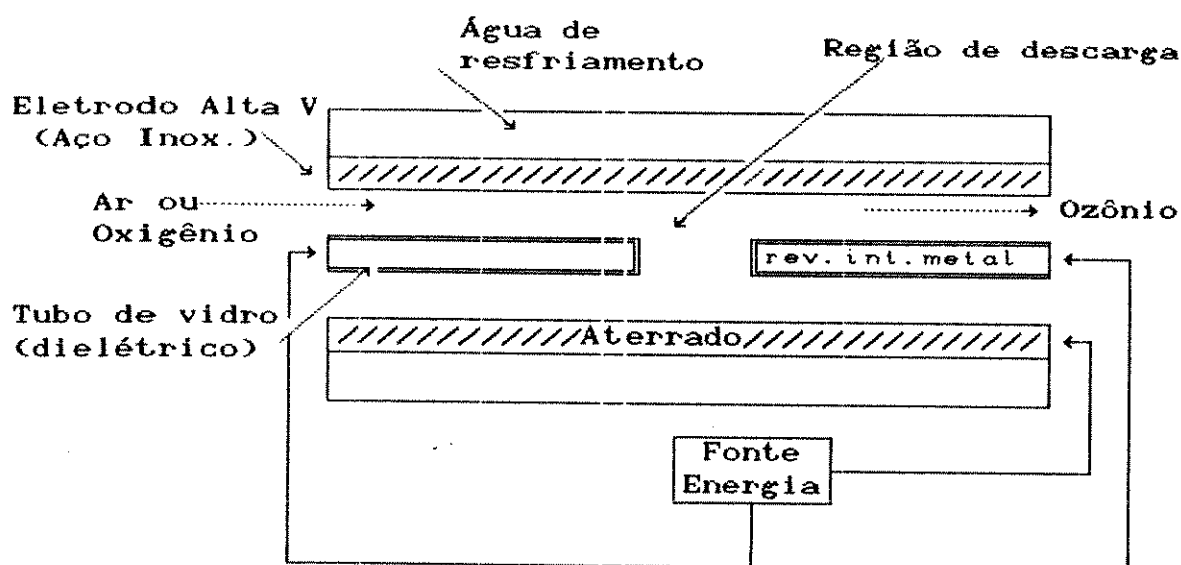
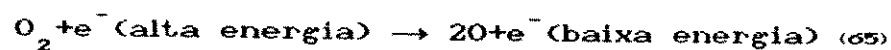
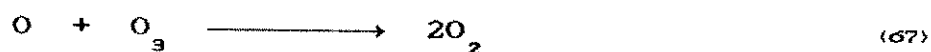


FIGURA 3.25 - Configuração básica de Geradores de Ozônio. Extraído de Glaze, 1987.

Segundo Nebel (1981), a taxa de dissociação da molécula de oxigênio pelo impacto com elétrons de 6 a 7 V de energia, depende da distribuição da energia na descarga da corona, conforme a reação (65):

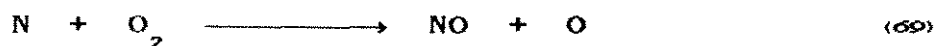
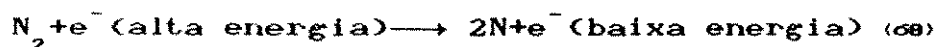


Segundo o referido autor, a descarga da corona é composta por numerosas descargas de pulsação colunares, os quais extinguem-se em pequenos intervalos. Os átomos reativos reagem rapidamente com as moléculas de oxigênio, para formar o ozônio de acordo com a reação (66). Os átomos de oxigênio também reagem com as moléculas de ozônio para formar o oxigênio, como mostra a reação (67).



Nebel (1981), verificou ainda que, quanto mais alta a concentração do ozônio, maior é a sua taxa de destruição pelo átomo de oxigênio, formado no aparelho gerador de ozônio, porém a velocidade de destruição é muito lenta. Portanto a concentração do ozônio deve ser limitada, de modo que a taxa de formação não se iguale à taxa de destruição. Na prática, esta concentração é da ordem de 4 ou 8% da concentração do alimentador de ozônio em forma de ar ou oxigênio, respectivamente.

Esse autor observou também que quando o ozônio é gerado pelo ar seco, os elétrons sofrem impactos com moléculas de nitrogênio, os quais produzem átomos de nitrogênio reativos. A reação (68) mostra esquematicamente este evento. A tripla ligação química do nitrogênio - nitrogênio é muito estável, não ocorrendo assim, muitas reações. O átomo de nitrogênio pode reagir com a molécula de oxigênio e formar mais átomos de oxigênio, os quais são também precursores da formação de ozônio, conforme é mostrado na reação número (69). Segundo o autor, é de menor importância a reação do átomo de nitrogênio que destrói o ozônio (reação de número 70).



Uma vez que a concentração do ozônio na mistura é muito menor que a de oxigênio e, a taxa de reação é menor ainda, o efeito resultante deste modelo de decomposição do ozônio é praticamente desprezível. A oxidação de NO pelo ozônio produz uma mistura de outros óxidos de nitrogênio, como por exemplo, NO_2 , NO_3 e N_2O_5 . Estas reações destroem o ozônio e os átomos de oxigênio, Nebel (1981).

Conforme Nebel (1981) e, Schulhof e Smith (1988), o equipamento de geração de ozônio faz parte de uma instalação bem complexa, que depende do uso do oxigênio ou ar, a partir do qual ozônio é produzido. A instalação de ozonização em uma ETA é composta de: Equipamento de preparação do gás alimentador; Gerador de ozônio; Dispositivo elétrico; Sistema de refrigeração de água; Instrumentação; Câmara de contato; Eliminador do excesso de ozônio.

3.2.3.1) Equipamento de Preparação do Gás Alimentador

Quando é utilizado o ar como alimentador no interior de qualquer tipo de gerador de ozônio, algumas condições devem ser satisfeitas para minimizar a formação de óxidos de nitrogênio e aumentar a eficiência do gerador. Deste modo, o ar deve estar bem limpo e livre de impurezas e ser bem seco, com uma mistura contendo no máximo 25 mg/l de água, o que requer um dispositivo para reduzir o conteúdo da mesma a concentrações inferiores a esse valor (remoção superior à 99%), já que o ar ambiente contém normalmente cerca de 5.000 a 10.000 mg/l de água. O ponto de orvalho deve estar próximo à -50°C . Uma mistura inadequada, com aumento do ponto de saturação, leva à perda do rendimento do aparelho gerador, ocorrendo obstrução dos tubos por depósitos de óxidos, formação de ácido nítrico, corrosão do aço inóx, decréscimo da vida média dos materiais dielétricos, e em limites extremos, a destruição dos dielétricos. Além disso, é necessária uma pressão apropriada para assegurar uma operação contínua e correta do gerador e dos sistemas de contato (Nebel, 1981).

Existem dois sistemas usuais de preparação do ar: alta pressão, recomendado quando é utilizado o gerador tubular de ozônio (pressão de 5 a $7 \cdot 10^5$ Pa) e o de baixa

pressão (≤ 1 a $2 \cdot 10^5$ Pa), recomendado para grandes instalações, onde a produção de ozônio é geralmente superior a $3 \text{ Kg O}_3 / \text{h}$ (Schulhof e Smith, 1988).

A compressão do ar, a refrigeração para obter uma temperatura da ordem de 0°C e a secagem, onde ocorre a remoção de água até um ponto de orvalho próximo de -50°C , são os requisitos necessários para um adequado equipamento de preparação de ar, segundo os referidos autores.

Se a opção for pela utilização do oxigênio como gás alimentador, o mesmo pode ser fornecido em forma de gás (puro ou misturado com nitrogênio) ou como líquido. Segundo Schulhof e Smith (1988), a pureza do gás oxigênio disponível é adequada e não requer instalação de pré-tratamento. Sua pureza, no entanto, deve estar assegurada em cerca de 95% e o ponto de orvalho deve estar próximo à -60°C . Os autores evidenciam que o oxigênio líquido, por sua vez, deve passar primeiramente num vaporizador e, posteriormente, seguir diretamente ao gerador de ozônio. Devido ao seu alto custo, o oxigênio não deve ser lançado à atmosfera depois de sua passagem pelo gerador e pelo sistema de contato de ozônio. Nestes casos, deve-se levar em conta o sistema de recirculação.

Geering (1989), verificou que, na estação de tratamento de água de Zurich, Suíça, a qual emprega atualmente o oxigênio líquido como alimentador, há grandes vantagens econômicas em relação ao uso do ar (que era utilizado anteriormente), sem a formação de compostos tóxicos e nitro-orgânicos.

Segundo Nebel (1981), a produção de ozônio em geradores no qual o O_2 é o gás alimentador é de 1,8 a 2,6 vezes maior do que naqueles que empregam o ar como alimentador.

3.2.3.2) Geradores de Ozônio

Uma alta porcentagem dos geradores de ozônio, que estão atualmente em operação, é baseada nos elementos do projeto original de Welsbach: um tubo dielétrico de vidro, completamente fechado, metalizado internamente e conectado com a fonte energética por meio de aço inoxidável, precisamente centrado dentro de um tubo metálico aterrado. Na abertura existente entre os tubos flui o gás de alimentação. Quanto menor abertura da descarga da corona, maior é a eficiência da energia (Schulhof e Smith, 1988). Segundo os referidos autores, o gerador de ozônio industrial é composto por um certo número destes elementos. Os tubos metálicos são soldados em duas placas finas, formando uma configuração similar àquela dos trocadores de calor. Toda a parte metálica é feita em aço inóx, de alto grau de pureza. Para dissipar o calor liberado durante a formação do ozônio, os eletrodos de aço inox são resfriados com água.

De acordo com Schulhof e Smith (1981), pode-se fabricar dois tipos de ozonizadores, em função da forma dos dielétricos, em placa (os dielétricos são placas de vidro) e em tubular (os dielétricos são feitos de tubos finos de vidro). A espessura do material dielétrico e sua constante dielétrica variam inversamente com a produção de ozônio. Limitações práticas dos eletrodos de vidro requerem que sejam espessos o suficiente para resistir a algum impacto mecânico e à tensão de voltagem.

De acordo com Geering (1989), os geradores de ozônio possuem centenas de eletrodos conectados em paralelo com a fonte de energia. A Figura 3.26 mostra de forma esquemática um aparelho gerador de ozônio.

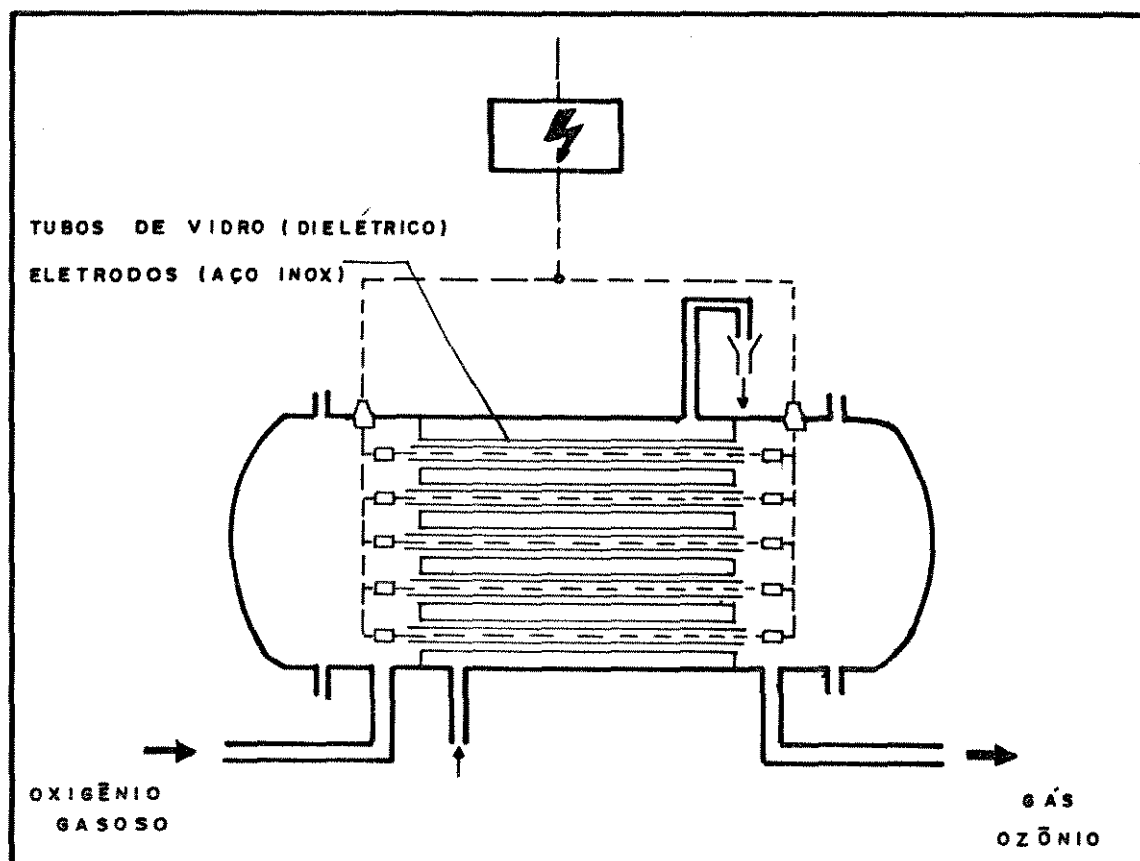


FIGURA 3.26 - Gerador de Ozônio.
Extraído de Geering, 1989.

3.2.3.3) Dispositivos Elétricos

Os dispositivos elétricos produzem a fonte de energia para as diferentes unidades componentes de uma instalação de ozonização. Para cada gerador de ozônio, a energia é transformada em uma forma adequada de corrente, frequência e voltagem.

Nebel (1981), sugere a utilização da corrente

alternada quando o ozônio é gerado na descarga da corona, porque, se a corrente contínua for empregada, os elétrons poderão entrar no espaço da descarga ou do ar e progredir imediatamente para o eletrodo aterrado, onde poderão tornar-se inviáveis para a interação com as moléculas de oxigênio. Quando a corrente alternada é utilizada, o elétron vibra entre os dois eletrodos de acordo com a frequência da corrente.

A produção do ozônio pode ser uma função direta da frequência aplicada ao eletrodo de alta voltagem. Alguns geradores operam na faixa de 600 a 1.000 Hz, enquanto outros funcionam somente na faixa de 50 a 60 Hz (Nebel, 1981 e, Schulhof e Smith, 1988). Segundo Masschelein (1988), a quantidade de ozônio gerada varia exponencialmente com a voltagem aplicada no eletrodo de alta voltagem e, geralmente, encontra-se na faixa de 9.000 a 15.000 V. A maioria dos geradores de ozônio são alimentados através de transformadores contínuos de três fases e possuem um fator de correção de energia por indução. A Tabela 3.6 apresenta um resumo dos parâmetros utilizados para projeto de geradores de ozônio, segundo o referido autor.

TABELA 3.6 Parâmetros Utilizados para Projeto de Geradores de Ozônio.

Extraído de Masschelein 1988

ELEMENTO	PLACA	TUBULAR	
	OTTO	Cerâmica	Welsbach
Abert. descarga (mm)	2-3	1-1,5	2-3
Voltagem (kV)	7,5-20	8-10	7,5-20
Frequência (Hz) (s ⁻¹)	50-500	2000	5-600
Dielétrico (mm)	2,5-5(vidro)	2 * 0,5	< 2
Capacidade (Kg/h) por unidade	2,5 (50 Hz) 6,5 (500 Hz)	6 (O ₂) 2 (ar)	25
E. Requerida (wh/g)	16 (15 g/m ³) 18 (20 g/m ³)	16-17 (ar) 7- 8 (O ₂)	16 (15 g/m ³) 18 (20 g/m ³)
P de Saída (10 ⁵ Pascal)	0	1	1

Masschelein (1988), sugere que não se deve operar o aparelho ozonizador na sua máxima potência e intensidade de corrente. Segundo o autor, a operação na capacidade total é particularmente questionável quando o ciclo de operação se aproxima do período de limpeza dos dielétricos, além disso, é necessária a prevenção quanto às variações na voltagem elétrica. Para tanto, recomenda a operação do aparelho até 80% de sua capacidade máxima.

3.2.3.4) Sistema de Refrigeração

De acordo com Nebel (1981), a maior porção da energia elétrica é consumida em forma de calor e uma insignificante quantia é utilizada como energia de luz. O ozônio decompõe-se termicamente a oxigênio e, por esta

razão, o gerador de ozônio deve ser resfriado eficientemente para prevenir que opere a temperaturas elevadas. Quando o calor não é dissipado adequadamente, uma porção do ozônio gerado é destruída. A relação de queda de ozônio em função da temperatura é mostrada na Figura 3.27.

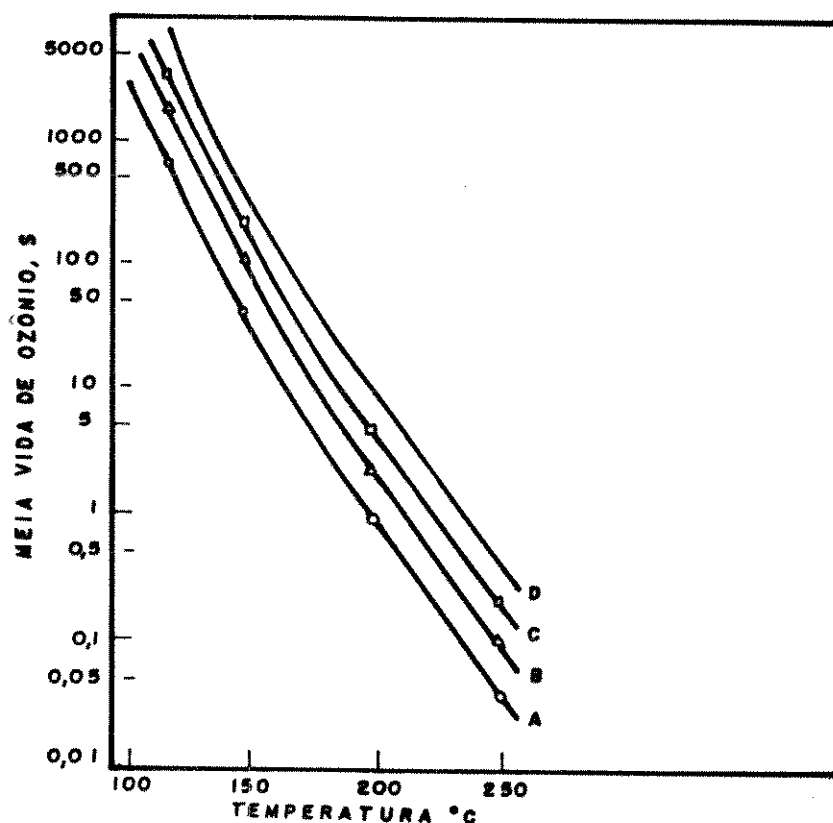


FIGURA 3.27 - Decomposição Térmica do Ozônio (A 5% (peso) de O₂; B 2% (peso) de O₂; C 1% (peso) de O₂; 0,5% (peso) de O₂).
Extraído de Nebel, 1981.

Segundo Masschelein (1988), a temperatura do gás no interior do aparelho não deve exceder a 30°C e, em condições extremas, à 45°C por um curto período de tempo. A água de resfriamento deve estar abaixo de 25°C. De acordo com Schulhof e Smith (1988) e, Dimitriou e

Mierzejewski (1989), como o ozonizador utiliza uma grande parte da água refrigerada que circula em volta do ozonizador, é necessário um controle adequado da qualidade da água, como por exemplo, ser clarificada e de baixo teor de cloro para evitar corrosão. Quando a qualidade da mesma não é boa ou suficiente ou a temperatura é alta, é empregado um sistema de circuito com trocadores de calor ou resfriadores para evitar danos no interior do ozonizador. A água de refrigeração é utilizada também nos equipamentos de preparação de ar (trocador primário de calor, compressor).

3.2.3.5) Instrumentação

Segundo Schulhof e Smith (1988), os instrumentos utilizados no controle da operação de um sistema de ozonização são os termômetros, manômetros, medidores de vazão de ar comprimido e da água de refrigeração, indicador de voltagem e frequência elétrica, higrômetro, medidor de concentração de ozônio no ar antes e após a câmara de contato (devem ser resistentes à corrosão pelo ozônio).

3.2.3.6) Câmara de contato

Existe uma grande variedade de câmaras utilizadas para introduzir o ozônio na água, tais como câmara difusora de ar contra-corrente, câmara de mistura com difusores, misturadores estáticos em linha, e outras. As câmaras devem ser projetadas para realizarem uma alta eficiência de transferência de ozônio.

Segundo Masschelein (1988), como a transferência do gás ozônio para o líquido é muito rápida, é aconselhável o projeto de câmaras de contato simétricas para garantir tempo de contato adequado. Há muitos sistemas utilizados para dispersar o gás na câmara de

contato, como bocais, placas porosas, injetores com turbinas para mistura (Masschelein, 1988 e, Schulhof e Smith, 1988). Segundo Joost et al. (1989), em câmaras onde são empregados difusores que transferem o ozônio em forma de bolhas, as variáveis de projeto mais importantes, que afetam a eficiência de transferência, são a altura da coluna, diâmetro das bolhas e temperatura da água.

De acordo com Gurol (1985), a composição química da água pode ser também um fator significativo na determinação global do desempenho da câmara, porque vários constituintes orgânicos e inorgânicos competem com o ozônio, acelerando ou impedindo a decomposição própria do mesmo, carreando radicais livres e afetando as características de transferência de massa. Por esta razão, dados de uma aplicação não podem ser extrapolados para outras, sem a caracterização completa da composição da água.

3.2.3.7) Destruição do Excesso de Ozônio

O gás proveniente da câmara de contato contém ainda uma pequena quantidade de ozônio, que não pode ser lançada à atmosfera por ser prejudicial, mesmo em baixas concentrações, pois é um gás tóxico e, portanto, deve ser decomposto, antes de seu lançamento ao meio ambiente (Geering, 1989 e, Schulhof e Smith, 1988). A eliminação pode ser realizada através de: decomposição catalítica; decomposição em solução aquosa contendo NaOH e Na₂SO₃; diluição; tratamento por carvão ativado; destruição térmica.

A Figura 3.28 ilustra um dispositivo para destruição do excesso de ozônio, empregado na estação de tratamento de água de Zurich, Suíça (Geering, 1989).

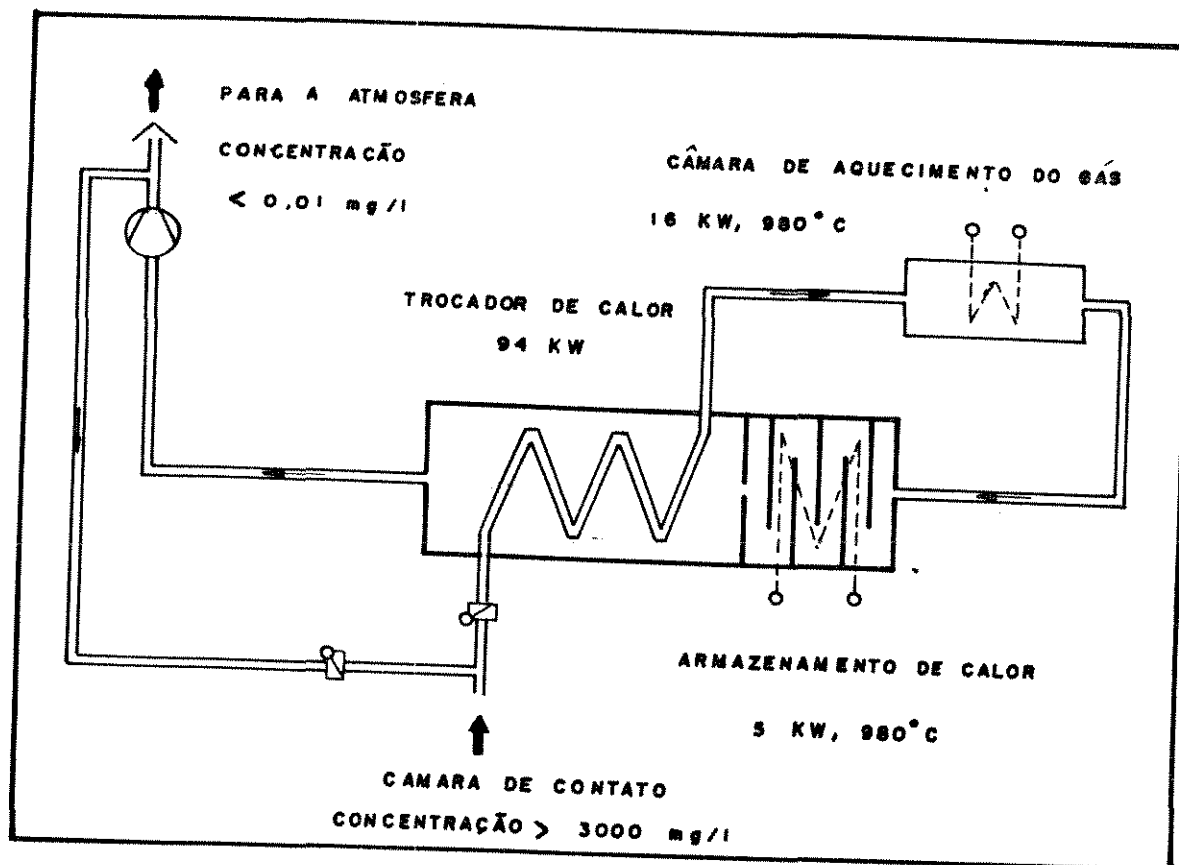


FIGURA 3.28- Exemplo de uma Unidade Destruidora de Ozônio. Extraído de Geering, 1989.

3.2.4 - Transferência de Ozônio

Quando o ozônio é utilizado para tratar águas de abastecimento público ou águas residuárias, deve ser transferido da fase gasosa, na qual é gerado, para a fase líquida (Nebel, 1981). Segundo Rice e Browning (citados em Gould e Ulirsch, 1989), os sistemas de aplicação de ozônio mais usuais são os processos heterogêneos, que envolvem transferência de massa do ozônio por meio de bolhas, através da interface gás/líquido, para a água.

Segundo Gould e Ulirsch (1989); Laplanche et al. (1989) e Sotelo et al. (1989), a resistência na transferência de massa durante a fase gasosa pode ser considerada praticamente desprezível. A única resistência

que pode ser encontrada durante a absorção do gás no líquido, é na membrana líquida, perto da interface. Charpentier (citado em Sotelo et al., 1989) acredita que, se a absorção do gás for acompanhada por uma reação química irreversível no líquido, esta reação poderá ocorrer na massa líquida, reação química lenta (regime cinético lento) ou, na camada líquida, onde a velocidade de absorção será maior (regime cinético rápido), dependendo da proporção entre a taxa máxima de reação química desenvolvida na membrana e a taxa máxima de absorção física. Estas possibilidades são esquematizadas na Figura 3.29:

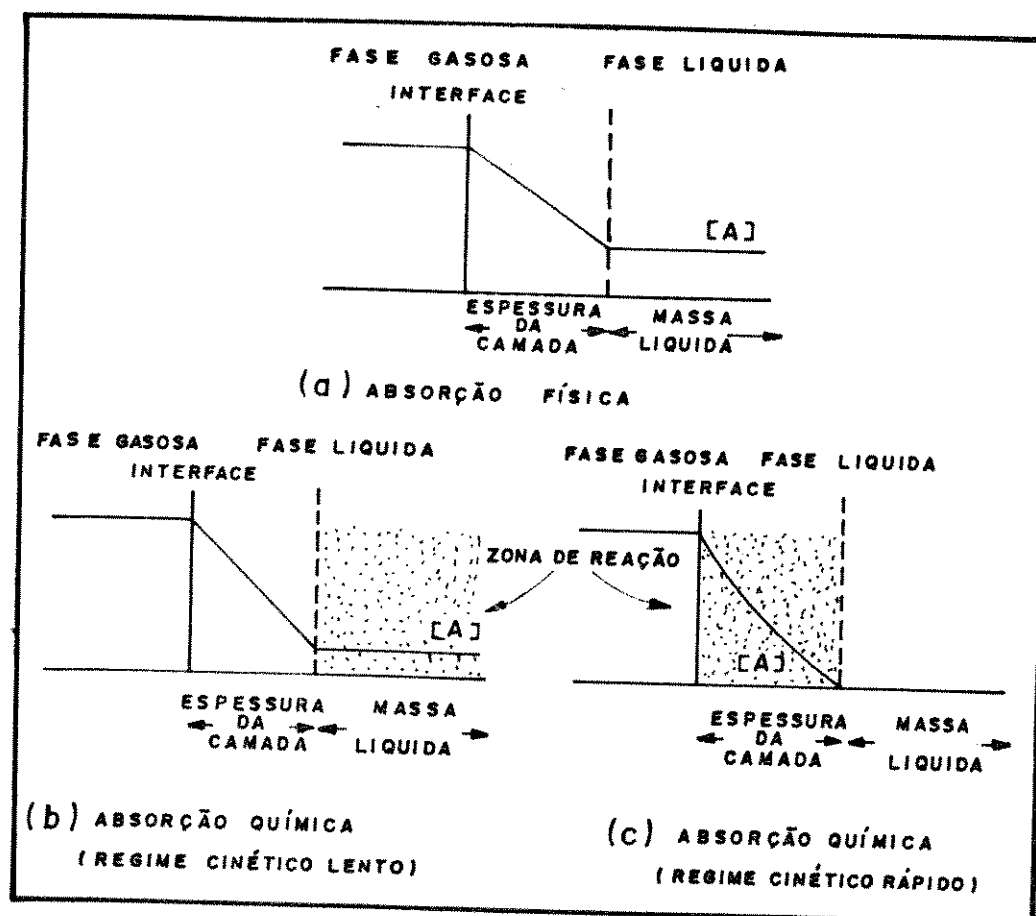


FIGURA 3.29 - Perfil da Concentração de Gás Durante a sua Absorção.
Extraído de Sotello, 1989.

A raiz quadrada desta proporção (taxa máxima de reação química desenvolvida na membrana e a taxa máxima de absorção física) é o número adimensional de Hatta (citado em Sotelo et al., 1989), que é expresso na equação (3.11), para qualquer tipo de absorção química, em m reações irreversíveis.

$$Ha = \frac{V(2/m + 1) * D_A * K * [A^*]^{m-1}}{K_L} \quad (9.11)$$

De acordo com Charpentier (citado em Sotelo et al., 1989), o valor desta proporção permite determinar o tipo de regime cinético de reação. Baixos valores de Hatta ($<0,3$), indicam que a reação é lenta e, a taxa de absorção do gás, poderá ser obtida através da equação (3.12). Neste caso, a taxa de absorção poderá ser expressa em função das reações químicas e, da taxa de acumulação do gás dissolvido na massa líquida, e será dada por uma expressão representada na equação (3.13).

$$N_A * a = K_L * a * ([A^*] - [A]) \quad (9.12)$$

$$N_A * a = r + \frac{d[A]}{dt} \quad (9.13)$$

Se a cinética da reação é rápida, o número de Hatta (Ha) é maior que 3 e, a absorção do gás, pode ser expressa através da equação (3.14):

$$N_A * a = K_L * a * [A^*] * E \quad (9.14)$$

Ainda segundo o referido autor, a absorção de gás na água é afetada pela presença de sais em solução, que interferem na força iônica da mesma. A solubilidade do gás A, que é a concentração do gás dissolvido $[A^*]$, em

equilíbrio com a pressão parcial, é dada por:

$$P_A = H * [A^*] \quad (9.15)$$

Segundo Glaze (1987), a transferência de massa da fase gasosa para a fase aquosa, pode também ser descrita por:

$$\frac{dc}{dt} = K_L * a * (C^* - C) = K_L * a * (P_A / H - C) \quad (9.16)$$

Segundo este autor, para uma estação de tratamento de água de abastecimento, onde as reações químicas na fase líquida consomem ozônio, a equação (3.16) pode ser modificada, gerando a equação (3.17), para avaliar a perda de ozônio:

$$\frac{dc}{dt} = K_L * a * (P_A / H - C) - K_o * (C) * (H_o^-) - K_i * (S_i) * (C) \quad (9.17)$$

Segundo Rice e Browning (citados em Gould e Ulirsch, 1989), os fatores que afetam a transferência de massa do ozônio no líquido e os quais eles mesmos são afetados pelo projeto e operação dos sistemas de contato, são: (a) concentração do ozônio na fase gasosa; (b) pressão, temperatura e pH; (c) método de transferência e tempo de contato; (d) tamanho das bolhas de gás.

De acordo com Cunli e Fuchun (1989b) e, Gurol (1985), os efeitos físicos e as reações químicas que ocorrem numa câmara, onde a mistura gasosa ar-ozônio ou oxigênio-ozônio entra em contato com a água, para remover poluentes podem ser:

- Transferência da massa de ozônio da fase gasosa para a fase líquida,
- Transferência da massa de compostos voláteis da água para a fase gasosa,

- Reação química do ozônio com os compostos existentes na água,
- Decomposição do ozônio nas fases líquidas e gasosas,
- Reação química dos radicais livres, produtos da decomposição do ozônio,
- Formação do residual de ozônio na fase líquida
- Caminhamento de pequenas bolhas de ozônio para a saída da câmara.

Nebel (1981) relata que, em águas poluídas, uma variável importante que afeta a transferência de massa do ozônio, é a concentração do mesmo dissolvido em relação ao material reativo presente na água. Quando estes compostos reativos estão presentes, a eficiência de transferência de massa de ozônio é aumentada. Quanto maior a concentração do gás ozônio, maior a eficiência de transferência e, desta maneira, menor será o volume necessário de gás transportado, resultando em câmaras de contato de tamanhos menores, reduzindo os custos de operação.

Laplanche et al. (1989), através de várias experiências, mostrou, no entanto, que, se houver um grande aumento da concentração do gás ozônio, a eficiência de transferência não atinge valores muito maiores que 5%, além de ocorrer um drástico aumento da concentração do gás a ser lançado na atmosfera. Como exemplo, os autores mostram que, para uma taxa de $1,95 \text{ g O}_3/\text{m}^3$, as porcentagens de transferência de ozônio na água, eram de 77,6% e 89% para concentrações iniciais no ar de 12,4 e $20,65 \text{ gO}_3/\text{s}\cdot\text{m}^3$, respectivamente e, as concentrações lançadas na atmosfera de 1,51 e $1,67 \text{ g O}_3/\text{s}\cdot\text{m}^3$; quando a taxa de ozônio aumentou para $2,65 \text{ g O}_3/\text{m}^3$ e as concentrações iniciais de ozônio, ($\text{g O}_3/\text{s}\cdot\text{m}^3$), passaram a 26 e 35,1; as porcentagens de transferência de ozônio resultaram de 87,5% e 91,3%, respectivamente, e as concentrações de ozônio lançadas na atmosfera de 3,26 e $3,05 \text{ g O}_3/\text{s}\cdot\text{m}^3$. Assim, não foi vantajoso

o aumento da concentração do ozônio no ar, já que a eficiência de transferência aumentou muito pouco (cerca de 10% e 2% respectivamente).

As investigações realizadas por Nebel (1981) e Sotelo et al. (1989), mostraram, em conformidade com a lei de Henry, que a pressão parcial do ozônio na fase gasosa é diretamente proporcional à solubilidade do ozônio na água, como mostra a Figura 3.30. De acordo com Nebel (1981), quanto maior a solubilidade do ozônio na água, maior é a força dirigida para dissolver o ozônio.

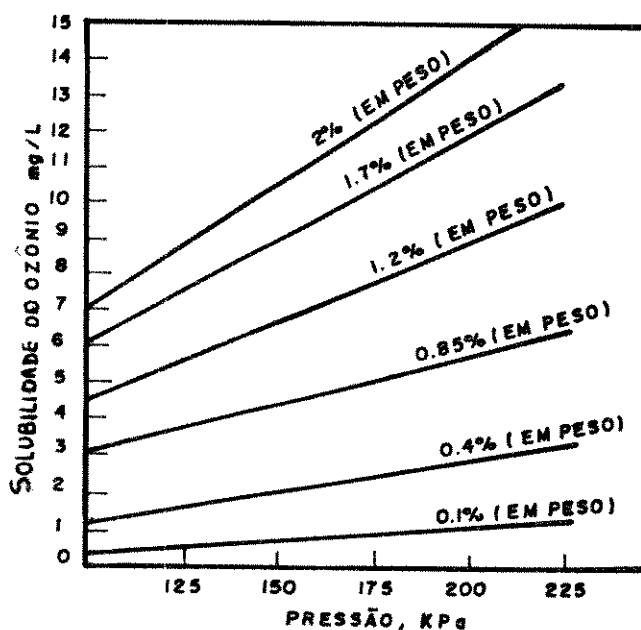


FIGURA 3.30 - Influência da Pressão Parcial na Concentração de Ozônio ($T = 10^{\circ}\text{C}$). Extraído de Nebel, 1989.

Joost et al. (1989); Nebel (1981) e Sotelo et al. (1989), pesquisaram o efeito da temperatura na transferência de ozônio, e verificaram que o aumento da

temperatura da água provoca um decréscimo na concentração do ozônio dissolvido, devido à queda da força dirigida na fase líquida, à maior taxa de decomposição do ozônio e às taxas de reações mais rápidas. A Figura 3.31 ilustra este comportamento:

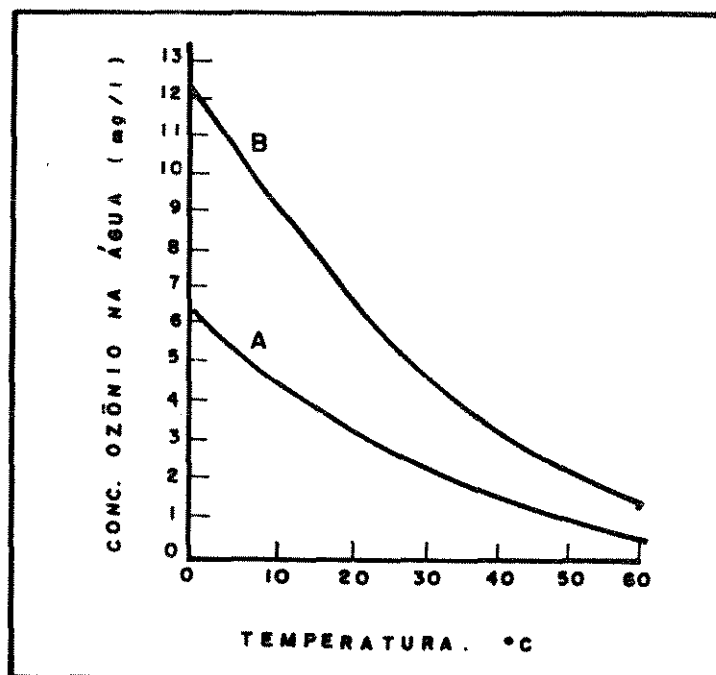


FIGURA 3.31 - Variação da Concentração de Ozônio em Função da Temperatura (°C).
Extraído de Nebel, 1981.

Sotelo et al. (1989), com auxílio dos gráficos da Figura 3.32, resultantes de experimentos laboratoriais com água preparada onde foi adicionado o sal de fosfato de sódio na quantidade necessária para obtenção dos valores de pH e força iônica requeridos para os ensaios de ozonização em câmara de contato dotada de agitador, verificou que, para um dado pH e com o aumento do tempo de ozonização, a concentração do ozônio vai aumentando numa taxa menor até atingir um valor limite para cada temperatura de estudo.

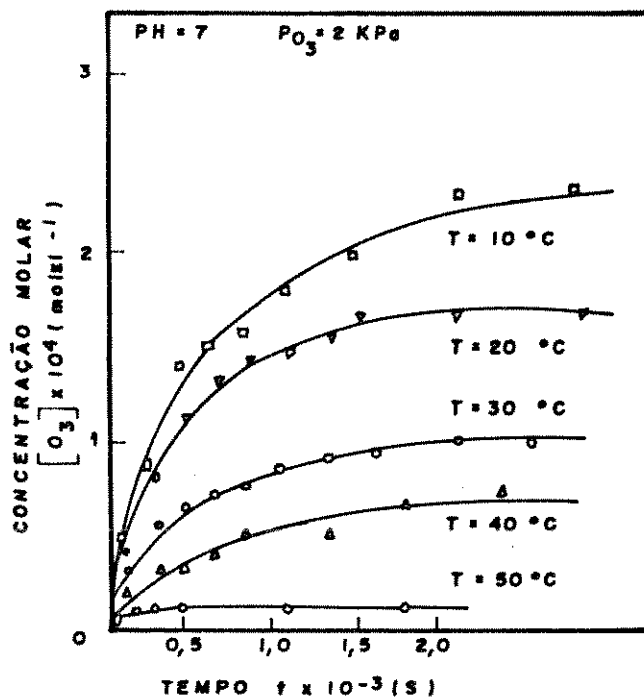


FIGURA 3.32 - Influência da Temperatura na Concentração de Ozônio Dissolvido.
Extraído de Sotelo, 1989.

A superfície de contato entre o gás e o líquido influencia sobremaneira a taxa de absorção. Para aumentar a eficiência desse mecanismo, o gás contendo ozônio é introduzido na água em forma de bolhas nas câmaras de contato (Nebel, 1981). Segundo Joost et al. (1989) e Nebel (1981), o tamanho das bolhas tem grande influência na transferência do ozônio para a água. Este tamanho deve ser controlado pela escolha apropriada de um difusor de ozônio.

Gurol (1984); Laplanche et al. (1989) e Masschelein (1988), evidenciam que as câmaras com difusores que dispersam o gás em forma de bolhas são os sistemas de contato mais amplamente usados para ozonização, especialmente para tratamento de água. A mistura do gás na água é realizada por difusores porosos

ou tubos sinterizados, acoplados no fundo da câmara. De acordo com Cunli e Fuchun (1989), a transferência do ozônio depende da turbulência entre as fases gasosa e líquida, do número e tamanho das bolhas e da área de transferência interfacial entre as duas fases dos fluidos.

Segundo Masschelein (1988), os difusores devem produzir bolhas com diâmetros da ordem de 3 a 5 mm, o que é conseguido, de acordo com Di Bernardo (1989), por difusores porosos com vazios intergranulares de tamanhos compreendidos entre 50 a 100 μm . Segundo Nebel (1981) as bolhas maiores são caracterizadas por áreas menores entre o gás e a água, tornando deste modo, a eficiência menor.

O tempo de contato entre as bolhas e a água também influi na eficiência do processo de transferência. Quanto mais lenta for a ascensão das bolhas no meio líquido, maior o tempo de contato (Nebel, 1981). A relação entre o diâmetro da bolha e a velocidade de ascensão é mostrada na Figura 3.33. Nota-se que a curva atinge um ponto máximo no diâmetro da bolha de 2mm, para a velocidade de ascensão de 30 cm/s, sofrendo em seguida um declínio, sem contudo haver na referência utilizada, explicação para tal fato.

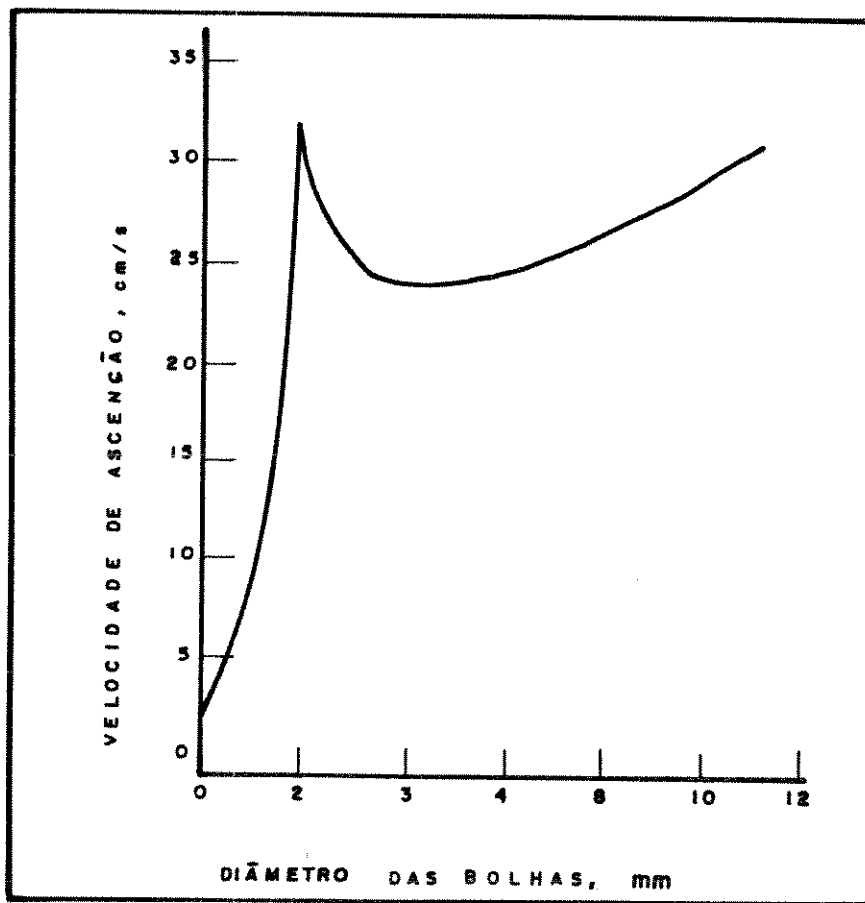


FIGURA 3.33 - Velocidade de Ascensão das Bolhas em Função do Diâmetro.
Extraído de Nebel, 1981.

Laplanche et al. (1989), realizaram experimentos utilizando uma câmara com dispersor liberando gás em forma de bolhas, sistema contínuo em contra-corrente, e observaram que, através da coleta de amostras em vários pontos da câmara, com o aumento da altura da câmara, o residual de ozônio diminuía devido o seu consumo pelos compostos existentes na água. Em um ponto de amostragem situado logo acima da placa difusora de ozônio e na seção de saída da água ozonizada, que se localizou num ponto pouco abaixo da placa difusora, as concentrações de ozônio

foram maiores, significando que, praticamente, não há consumo devido a auto-decomposição ou a oxidação de compostos na água.

Masschelein (1988), recomenda que o gradiente de velocidade médio na seção de injeção de ozônio na câmara, deva estar compreendido entre 100 a 200 s^{-1} , enquanto que, em zonas onde há formação de bolhas, o gradiente de velocidade deve ser maior, no intervalo de 8.000 a 10.000 s^{-1} . Como as bolhas sobem na água numa velocidade de 20 a 30 cm/s, as concentrações do ozônio na fase gasosa, bem como a dos compostos orgânicos, são alteradas ao longo da câmara de contato (Gurol, 1985).

O volume da câmara de ozônio deve ser suficiente para prevenir que as bolhas borbulem excessivamente próximas umas das outras. Quanto menor a relação entre o volume de gás por volume de líquido, mais dispersa será a distribuição do gás que, em geral, varia entre 5 a 10 m^3 de ar/100 m^3 de líquido (Di Bernardo, 1989 e Nebel, 1981).

Segundo Nebel (1981), o aumento da altura da água na câmara pode aumentar o tempo de contato entre as bolhas e o meio líquido. As alturas ideais recomendadas pelo autor estão na faixa de 3,7 a 5,5m. Alturas maiores que 5,5 m não são praticáveis, porque a quantidade transferida de ozônio não se justifica, em termos de custos da câmara.

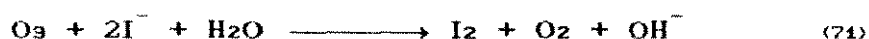
3.2.5 - Análises para Determinação da Concentração de Ozônio

O controle do processo de ozonização é baseado em medições da dosagem de ozônio aplicada e pelo seu residual na água. A quantidade aplicada é determinada pela medição da concentração de gás ozônio que é transportada para a câmara de contato. A demanda é, geralmente, calculada pela diferença entre a concentração do gás ozônio afluente à câmara e a concentração efluente

(excesso do gás).

Masschelein (1988) sugere, para melhor controle da operação, que sejam realizadas medições contínuas das concentrações de gás ozônio na entrada e saída da câmara. Segundo este autor e Nebel (1981), estas determinações podem ser realizadas através do método de absorção por ultravioleta ou pelo método iodométrico. Estes dois processos foram adotados pela Associação Internacional de Ozônio (IOA).

O Método Iodométrico é o mais utilizado para controle de ozônio na fase gasosa (Masschelein, 1989 a) e é baseado na oxidação do íon iodeto através do ozônio, liberando iodo. O gás contendo ozônio e oxigênio passa pela solução de iodeto de potássio, condicionada em frascos localizados antes da entrada do gás na câmara e logo na saída do gás excedente (off-gas), onde reage quantitativamente para produzir um mol de O₂ para cada mol de ozônio (Gordon et al., 1989 e Nebel, 1981):



Ainda segundo o Masschelein (1989), o iodo liberado é então, titulado com uma solução padrão de tiosulfato de sódio e, a concentração de ozônio, calculada. Quando há necessidade de se manter concentrações de ozônio dissolvido na solução, as medições do residual dissolvido auxiliam no controle e avaliação do processo de aplicação.

Para Stanley e Johnson (1982), as reações diretas e indiretas, nas quais as moléculas de ozônio são reduzidas quimicamente, são responsáveis pela grande diferença entre as dosagens aplicadas e as concentrações de residuais de ozônio. Estas reações, em geral, não constituem interferências nas determinações analíticas do residual de ozônio, a não ser que sejam utilizados

reagentes ou águas de diluição em condições desfavoráveis. O efeito secundário da decomposição do ozônio é a formação de produtos que possuem características físicas ou químicas similares a ele. Conseqüentemente, alguns destes produtos podem interferir nas análises do residual de ozônio. A situação mais frequente, de acordo com os autores, é o caso em que os compostos formados são oxidantes fortes e reagem com os agentes redutores analíticos da mesma maneira que a molécula de ozônio.

De acordo com Hoigné e Bader (citados em Stanley e Johnson, 1982), um dos principais produtos da decomposição é o radical hidroxila (OH^\cdot), que é um oxidante altamente reativo. Stanley e Johnson (1982) relatam que, os subprodutos de oxidação dos íons de ferro e manganês pelo ozônio, interferem significativamente em alguns dos métodos de análises existentes. Segundo Stanley e Johnson (1982), é essencial o conhecimento da natureza química dos compostos produzidos pela molécula de ozônio em qualquer aplicação, para o selecionamento de uma técnica adequada de medição do residual de ozônio.

O controle do residual de ozônio na água, dentre outros, apresenta grande importância na ação de controle sobre bactérias, vírus e parasitas com veiculação hídrica. A existência de um adequado residual de ozônio após um determinado tempo de contato, auxilia no controle do processo de pós-ozonização (Masschelein, 1989 a).

3.2.5.1 - Métodos para Análises de Ozônio Dissolvido na Água

Stanley e Johnson (1982) resumem alguns dos vários métodos de análises de ozônio dissolvido, com suas vantagens e limitações.:

a) Método Iodométrico

-Princípio: Oxidação de I^- à I_2 ; detecção de I_2 pelos métodos eletrométricos, fotométricos ou por titulação.

-Vantagens e Limitações: Alta sensibilidade de detecção a concentração de $2 \mu\text{g/l}$; interferência pela maioria dos oxidantes; reação estequiométrica questionável; provável perda de ozônio devido a coleta e manuseio das amostras.

b) Espectrofotometria por Ultravioleta

Princípio: O ozônio molecular absorve luz Ultravioleta num comprimento de onda de 254 nm, e coeficiente de extinção molar de aproximadamente $2900 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} / \text{cm}$.

Vantagens e Limitações: Alta sensibilidade de detecção na concentração de $20 \mu\text{g/l}$ com comprimento de célula de 50 cm; pode ser utilizado como processo contínuo de análise; interferentes potenciais incluem compostos orgânicos e inorgânicos que são absorvidos numa faixa de 240 a 300 nm, partículas suspensas e cor.

c) LCV (Leuco Cristal Violeta)

Princípio: Oxidação do leuco cristal violeta para cristal violeta; medida de absorvância do cristal violeta num comprimento de 592nm; absorção molar de $10^6 \text{ l} \cdot \text{mol}^{-1} / \text{cm}$.

Vantagens e Limitações: Sensibilidade de detecção de aproximadamente $1,0 \mu\text{g/l}$; interferência de alguns oxidantes, principalmente do dióxido de manganês.

d) DPD (dietil-p-fenil diamina)

Princípio: oxidação do DPD; detecção através dos métodos de titulação ou fotométrico.

Vantagens e Limitações: Sensibilidade de detecções em níveis abaixo de 1 mg/l ; sofre a

interferência de alguns oxidantes, principalmente de halogênicos e manganês; o maior problema é a estabilidade do reagente e do produto.

e) Indigo Trissulfonato

Princípio: A descoloração do corante indigo com a adição do ozônio é medida através de espectrofotômetro, num comprimento de onda de 600 nm.

Vantagens e Limitações: Boa sensibilidade em níveis de concentração abaixo de 1 mg/l; interferências através do cloro e manganês, mas que podem ser corrigidas.

f) ACVK (Ácido Cromo Violeta K)

Princípio: A descoloração do corante ACVK com adição do ozônio é medida diretamente no espectrofotômetro num comprimento de onda de 550 nm.

Vantagens e Limitações: Sensibilidade moderada.

g) Sistema Amperométrico com Eletrodos sem Recobrimento

Princípio: Redução do ozônio a oxigênio diretamente na solução; corrente diretamente proporcional à concentração.

Vantagens e Limitações: Boa sensibilidade; aplicável como monitor contínuo; interferências de agentes destruidores de eletrodos e de outros oxidantes fortes.

h) Sistema Amperométrico no Estado Estacionário com Eletrodos Revestidos com Membranas

Princípio: Difusão através de membranas, do ozônio a ser reduzido a oxigênio, numa fina película eletrolítica localizada entre o eletrodo e a membrana; corrente controlada pela taxa de difusão da membrana é diretamente proporcional a concentração.

Vantagens e Limitações: Boa seletividade para o ozônio molecular na presença de outros oxidantes; a membra

na limita o efeito de agentes destruidores, mas pode ser destruída por ela mesmo; boa sensibilidade; aplicável para monitoramento contínuo; depende de altas temperaturas.

i) Sistema Amperométrico de Pulsação com Eletrodos Revestidos com Membranas

Princípio: Difusão através da membrana limita interferentes mas não controla a corrente; o ozônio é reduzido a oxigênio na camada eletrolítica; a corrente é diretamente proporcional à concentração.

Vantagens e Limitações: as mesmas vantagens apresentadas no sistema amperométrico com eletrodos sem recobrimento; a destruição da membrana e a dependência da temperatura não é tão significativa neste método.

Atualmente, o método índigo, descrito por Bader e Hoigné (1981), é o mais empregado para determinações de residuais de ozônio na água.

Segundo Valin et al. (1989), nas décadas de 70 e 80, foram realizados vários testes com o método índigo para determinação do residual de ozônio na água, mostrando ser o melhor deles. A maior aplicabilidade deste método pode ser atribuída à combinação de seletividade, sensibilidade e rapidez. A sensibilidade deste método é bem maior do que a apresentada por outros como UV, ACVK ou DPD. A rápida ação do método origina-se de sua simplicidade (mistura do reagente com a amostra e leitura de absorvância) e, aparecimento imediato da cor.

A rapidez e seletividade derivam da reação estequiométrica entre o ozônio e o índigo trissulfonato, especificamente na ligação dupla carbono-carbono que é ponte de ligação de dois anéis da estrutura do índigo, ilustrada na Figura 3.34:

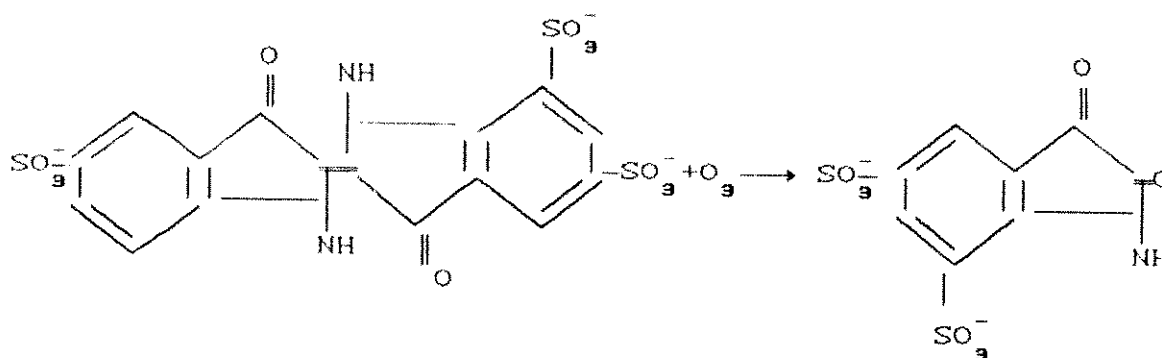


FIGURA 3.34 - Reação Estéquiométrica entre o Ozônio e o Indigo Trissulfonato. Extraído de Van Valin, 1989.

Esta reação quebra a intensidade azul da molécula indigo para formar sulfonato incolor.

A escolha entre os métodos propostos depende da faixa de concentração a ser medida, e principalmente, de interferentes oxidantes.

3.2.6 - Pré-Ozonização

O uso do ozônio em tratamento de águas para abastecimento público tem se generalizado nos últimos anos tanto em estações completas, dotadas de decantadores, como em sistemas de filtração direta.

Em função dos vários benefícios obtidos com a pré-ozonização, vários países estão empregando o ozônio como oxidante em substituição ao cloro, antes do processo de coagulação, (Dowbiggin e Singer, 1989; Drago, 1989; Farvadin e Collins, 1989; Grasso et al., 1989 e, Monk et al., 1985). Com a pré-ozonização, há oxidação de metais e matéria orgânica, desinfecção preliminar, decréscimo do consumo de coagulantes, redução da turbidez e da cor aparente e natural, remoção de compostos que causam sabor e odor, decréscimo do consumo de compostos derivados do

cloro, diminuição das concentrações de precursores de trihalometanos, destruição de algas, aumento da carreira de filtração e melhoria geral da qualidade da água.

Segundo Farvadin e Collins (1989), o decréscimo na estabilidade coloidal do sistema tem sido aceito por muitos pesquisadores, como razão para o efeito positivo da pré-ozonização. A adição de um oxidante forte como o ozônio, na água bruta, altera a natureza ou quantidade de cargas nas superfícies das partículas, facilitando a coagulação - floculação (Dowbiggin e Singer, 1989; Masschelein, 1989). De acordo com Paillard et al. (1989b), em águas ozonizadas, ocorre a floculação espontânea (microfloculação).

Algumas impurezas existentes nas águas naturais são complexos heterogêneos orgânicos delimitadas por substâncias inorgânicas, tais como ferro e manganês. Segundo Collins et al. (1989), em águas com baixos teores de turbidez, o ozônio libera e oxida os metais pela destruição de moléculas complexas. De acordo com o pH pode ocorrer a formação de precipitados metálicos, que são removidos por sedimentação ou por filtração direta. Paillard et al. (1989) observaram que o aumento de grupos carboxílicos e fenólicos, decorrentes da ozonização, auxiliam a adsorção de compostos orgânicos em hidróxidos metálicos e nos flocos, melhorando a coagulação - floculação.

Os resultados de pesquisas realizadas por Felix Filho (citado em Collins et al., 1989 e em Dowbiggin e Singer, 1989), mostraram que, aumentando a concentração de Fe^{+2} numa solução contendo partículas de alumina e compostos húmicos, a ozonização aumentou a susceptibilidade da desestabilização das suspensões de alumina equilibradas com soluções de ferro e materiais húmicos. Desta maneira, conclui-se que o ozônio consegue oxidar e romper complexos de ferro bem como de substâncias húmicas, liberando compostos que melhoram a coagulação - floculação.

Segundo Jekel (citado em Collins et al., 1989), o ozônio pode oxidar compostos metálicos inorgânicos, que têm a tendência de adsorver subprodutos orgânicos da ozonização. Os produtos químicos, com ligações polares, resultantes da oxidação com o ozônio, podem reagir com cátions trivalentes de coagulantes bem como, adsorverem nas superfícies de óxidos, recentemente formados, de precipitados de sais e flocos.

Muitos estudos mostraram que as substâncias orgânicas adsorvidas estabilizam suspensões naturais de materiais particulados (Collins et al., 1989 e, Dowbiggin e Singer, 1989). Davis e Gloor (1981) verificaram um aumento da adsorção de compostos orgânicos na superfície de alumina, com conseqüente crescimento do peso molecular.

As principais razões para o ozônio influenciar a coagulação-floculação foram resumidas por Reckhow et al. (citados em Collins et al., 1989; em Farvadin e Collins, 1989 e, em Liang et al., 1989), descritas a seguir:

(a) Aumento de grupos funcionais orgânicos oxigenados especialmente carboxílicos e fenólicos, conduzindo a uma maior capacidade de adsorção pelo floco do coagulante e a um aumento de complexação (primária com cálcio ou magnésio e alumina);

(b) Decréscimo da massa molecular de substâncias húmicas dissolvidas (aumento da natureza hidrofílica);

(c) Ruptura de complexos organo-metálicos, permitindo metais oxidados como Fe^{+3} e Mn^{+4} , agirem como coagulantes convencionais dos compostos orgânicos remanescentes, conduzindo a uma melhor precipitação, principalmente se os metais forem primeiramente reduzidos e posteriormente oxidados;

(d) Liberação de diferentes tipos de biopolímeros, provenientes da ruptura das células das algas, que podem comportar-se como coagulantes, auxiliando no processo de coagulação-floculação;

(e) Formação de ozonetos, peróxidos orgânicos e compostos orgânicos com radicais livres, que contribuem para a condensação ou polimerização de material orgânico de maneira similar à adição de polímeros convencionais.

Segundo Farvadin e Collins (1989), em várias pesquisas realizadas para estudar o comportamento da estabilidade das partículas coloidais, a adição de substâncias húmicas mostrou um aumento da estabilidade coloidal de partículas de sílica, de caulinita e de alumina, devida a adsorção de substâncias orgânicas nas superfícies dos minerais. Collins et al. (1989) indicam que a adsorção de materiais húmicos em compostos inorgânicos, aumentam a estabilidade dos particulados.

Dowbiggin e Singer (1989) realizaram experimentos para estudar a taxa de coagulação com suspensões de alumina, utilizando várias concentrações de compostos húmicos para inibir a agregação de partículas de alumina, tornando-as resistentes à coagulação. Segundo Collins et al. (1989), a polimerização de substâncias húmicas naturais pode resultar em polímeros de características eletronegativas, necessitando de cátions polivalentes para auxiliar a desestabilização. Dowbiggin e Singer (1989) observaram que com a adição de diferentes dosagens de cálcio, a taxa de agregação das partículas foi aumentada. Esta mostrou-se substancialmente maior com a adição de diferentes dosagens de ozônio, anteriormente ao processo de coagulação.

Em várias estações de tratamento de água pesquisadas por Farvadin e Collins (1989) e Reckhow et al. (citados em Farvadin e Collins, 1989 e, Collins et al., 1989), que são beneficiadas na coagulação devida a pré-ozonização, as águas brutas naturais apresentaram altas concentrações de dureza. Segundo Collins et al. (1989), a dureza tem um grande impacto na coagulação -

floculação e pode modificar o efeito da pré-ozonização nestes processos.

De acordo com Farvadin e Collins (1989), em situações onde os íons divalentes tais como Ca^{+2} e Mg^{+2} estão presentes, as partículas polarizadas podem reagir com estes íons formando um precipitado e/ou catalisar sua adsorção em flocos trivalentes e particulados inorgânicos.

Dowbiggin e Singer (1989) e, Farvadin e Collins (1989), atribuem o efeito desestabilizante do cálcio a vários fatores, como por exemplo, a atração dos íons metálicos bivalentes próximos às superfícies carregadas negativamente, reduzindo a espessura da dupla camada elétrica. Por outro lado, o aumento da concentração de compostos orgânicos aniônicos, próximos à superfície, altera o equilíbrio entre esses compostos e as fases sólidas, facilitando a adsorção. Segundo os autores, os cátions bivalentes podem também formar superfícies complexas com grupos funcionais tais como de carbono ativado, que contem, principalmente grupos carboxílicos e fenólicos. Esses cátions podem ainda reagir com subprodutos polares da ozonização, formando grandes partículas através da ligação entre duas moléculas menores. Caso a concentração destes íons seja excessiva, eles podem reagir com grupos funcionais ativos, formando precipitados.

Dowbiggin e Singer (1989), após vários estudos, concluíram que, a maior eficiência da desestabilização de partículas com o ozônio na presença de cálcio, devia-se ao fato do ozônio alterar a conformação do material orgânico adsorvido na superfície das partículas, diminuindo a distância entre elas e, permitindo deste modo, a aproximação dos íons de cálcio até suas superfícies, facilitando a associação de polímeros aniônicos formados pelo ozônio com partículas, tornando o processo mais efetivo. Embora águas brutas com apreciável dureza sejam

mais susceptíveis a desestabilização através da ozonização, nada impede a possibilidade do ozônio ser eficiente na coagulação de algumas águas brandas.

A ação das algas contidas nas águas brutas podem modificar a ação do ozônio. Pak et al (citado em Collins et al., 1989), observou um decréscimo na contagem de partículas em águas ozonizadas, primariamente atribuídas à ruptura das células das algas pelo ozônio. O pH também influi na eficiência da pré-ozonização, já que implica nas reações diretas (pH ácido) e indiretas do ozônio (processo de decomposição é iniciada pelos íons hidróxidos, onde predomina em valores de pH acima de 8). Segundo Collins et al. (1989), a maioria dos estudos estão na faixa média do pH (6 a 8), onde parte do ozônio reage diretamente com os solutos e o ozônio remanescente decompõe-se a radicais hidroxilas, reagindo então, com os solutos.

Thompson (1989), através de estudos da química do ozônio na água, mostrou que a oxidação é mais efetiva em valores de pH elevados, entretanto, Paillard et al. (1989), observou que a remoção ótima de matéria orgânica, utilizando cloreto férrico como coagulante, foi alcançada em pH ácido.

Segundo Masschelein (1989), quando se emprega a pré-ozonização ou ozonização intermediária, não é necessária uma concentração alta de residual. Em geral, reações muito rápidas consomem de 1 a 2 moles de ozônio por mol de composto orgânico e, em reações muito lentas, os compostos consomem quase que a mesma quantia de ozônio. A dosagem de ozônio pode ser otimizada com base na dosagem de coagulante ou através do tamanho das partículas presentes na água bruta. Em geral, esta dosagem está compreendida entre 0,8 e 2 mg/l.

Farvadin e Collins (1989), observaram que, se a dosagem de ozônio for maior que a ótima requerida, o benefício da pré-ozonização é diminuído, uma vez que o

ozônio pode reagir, predominantemente, nas ligações mais susceptíveis, tais como as intermoleculares, existentes entre partículas ou indiretamente nas ligações entre metais e particulados, resultando na divisão de polímeros em fragmentos de pequenos tamanhos coloidais e o aumento da carga coloidal total do sistema, favorecendo a ocorrência de mais ligações metálicas. Isto só poderá ocorrer se os fragmentos menores existirem em larga escala para continuarem a agir como partículas coloidais.

Além disso, de acordo com os autores, com o aumento da dosagem de ozônio, a degradação do ácido húmico é mais extensiva, resultando em moléculas que comportam-se como partículas coloidais. Conseqüentemente, o mecanismo da coagulação passa a ser o de varredura, onde as substâncias orgânicas são adsorvidas nos hidróxidos do coagulante, resultando um aumento da dosagem do coagulante. O aumento da dosagem de ozônio na água não traz significantes benefícios, além de poder ser prejudicial à qualidade da água.

Segundo Richard (1988), vários pesquisadores observaram que, em águas naturais contendo grande quantidade de partículas coloidais, quando são aplicadas baixas dosagens de ozônio, diminui o número de partículas menores enquanto aumenta a quantidade de partículas maiores, ocorrendo a floculação. Com dosagens menores de ozônio, podem aparecer, na solução, certas substâncias com alto peso molecular que adsorvem melhor as partículas, tais como os hidróxidos metálicos. Se a dosagem de ozônio for aumentada, o número de partículas maiores decresce, enquanto aumenta a quantidade de partículas menores, ocorrendo a restabilização dos colóides.

Baixas dosagens de ozônio, atacam as cadeias conjugadas de macromoléculas das substâncias húmicas que carregam algumas cargas coloidais. A separação destas cadeias das macromoléculas para formarem compostos

orgânicos dissolvidos, reduz a densidade de carga das partículas remanescentes e, conseqüentemente, a demanda de coagulante pode diminuir (Farvadin e Collins, 1989).

Em experimentos realizados na estação de tratamento de Choisy-le-Roy, Paris, França, utilizando dosagens maiores de ozônio, Paillard et al. (1989), não obtiveram significantes remoções de turbidez e número de partículas, além de ter ocorrido a diminuição da velocidade de sedimentação.

Segundo Richard (1988), resultados obtidos em pesquisas realizadas com água do Rio Sena, mostraram que uma baixa dosagem de ozônio (cerca de $0,2 \text{ g/m}^3$), aplicada na água bruta, diminuiu a turbidez e removeu a matéria orgânica após a filtração, além da redução da dosagem de coagulante aplicado.

Nos experimentos realizados por Liang et al. (1989), com dosagens de ozônio abaixo de 3 mg/l (mais frequentemente entre $0,5$ a $1,5 \text{ mg/l}$), mostraram ser mais eficientes na desestabilização das partículas em suspensão de águas superficiais. Segundo Reckhow et al. (citado em Liang et al, 1989); Farvadin e Collins (1989) e, Collins et al. (1989), um aumento na dosagem de ozônio acima desta concentração resulta na deterioração dos microflocos. No entanto, Liang et al (1989), observaram, na estação de tratamento de água de Los Angeles, que a deterioração dos microflocos não ocorreu, mesmo para dosagens acima de $4,37 \text{ mg/l}$.

3.2.6.1) Benefícios da Pré-Ozonização

a) Redução da Dosagem de Coagulante

Segundo Dowbiggin e Singer (1989), os benefícios da desestabilização das partículas através do ozônio foram observados com sulfato de alumínio, cloreto férrico e

polímeros catiônicos, não denotando dependência de algum tipo de coagulante utilizado. Na maioria dos casos, os benefícios do ozônio têm sido associados com baixas dosagens de coagulante, entretanto, Richard (citado em Dowbiggin e Singer, 1989 e Richard, 1988), observou que os benefícios podem também ocorrer com altas dosagens de coagulante (varredura).

Farvadin e Collins (1989) realizaram experimentos com diferentes substâncias húmicas naturais e comerciais, submetidos à pré-ozonização, e verificaram que a dosagem de coagulante foi reduzida em cerca de 13-30% com melhoria na qualidade da água após a coagulação, quando comparada à água não submetida à pré-ozonização.

Com a pré-ozonização na estação de tratamento de Choisy-le-Roy, Paris, houve uma redução de 20 a 30% da dosagem de coagulante (Paillard et al., 1989). Em testes realizados em águas do rio Houlle, França, consideravelmente mais poluído que o Sena, a dosagem de coagulante foi reduzida em 50%, quando foi utilizada uma dosagem de ozônio de 1 mg/l (Richard, citado em Dowbiggin e Singer, 1989 e, Richard, 1988). Francisco (1988), obteve resultados que apontam a redução de 20% de coagulante, em testes realizados nas água do rio Negro, Amazonas - Brasil.

Vários pesquisadores, tais como Connely e Geiger (1989); Richard e Jacq (1989) e, Richard (1988), observaram decréscimos nas dosagens de coagulantes em vários trabalhos realizados.

b) Oxidação de Metais

A presença de metais pesados nas águas de abastecimento causa problemas sérios, pois a formação de precipitados da maior parte dos metais ocorre com valores de pH bem mais elevados que aqueles normalmente requeridos para a coagulação. Metais como ferro e manganês podem

estar presentes na água em forma de minerais ou combinados com vários compostos, como matéria orgânica ou sílica (Dowbiggin e Singer, 1989 e, Richard, 1988).

A aplicação do ozônio favorece a destruição dos compostos complexos que os metais pesados formam com outros compostos existentes. Ademais, com o aumento do potencial de oxidação do meio, ocorre redução do pH, favorecendo o meio para a formação do precipitado. Quando o ozônio é aplicado no início do processo de tratamento de água, as ligações organometálicas são rompidas (Dowbiggin e Singer, 1989 e, Richard, 1988), liberando mais cátions na solução com subsequente aumento da adsorção-desestabilização das partículas ou, podendo aumentar a quantidade de complexos organo-metálicos na superfície sólida, causando a desestabilização.

Jekel (citado em Dowbiggin e Singer, 1988), verificou que o aumento de grupos carboxílicos, decorrentes da ozonização, pode levar ao aumento da associação entre compostos orgânicos e metais catiônicos. No entanto, segundo o autor, é desconhecida a extensão em que esses complexos formados pela ozonização podem tornar-se solúveis, precipitar-se diretamente ou adsorver partículas naturais.

Segundo Dowbiggin e Singer (1989) e Grasso e Weber (1988), a ozonização pode formar compostos de pequena estabilidade que polimerizam e servem como pontes polieletrólíticas entre as partículas, possivelmente através de pontes de cátions para polieletrólitos aniônicos. Este mecanismo é citado por Grasso e Weber (1988) como uma possível causa da desestabilização pelo ozônio observadas nas águas pesquisadas.

Félix Filho (citado em Collins et al., 1989 e, Dowbiggin e Singer, 1989), mostrou que o acréscimo da concentração de ferro, adicionado como Fe^{+2} , ocorreu com um aumento na susceptibilidade da desestabilização por

indução do ozônio de partículas de alumina suspensas, equilibradas com solução de ferro e material húmico, num pH de 7,5.

De acordo com Richard (1988), quando compostos como ferro e manganês estão presentes na forma mineral, a oxidação pelo ozônio forma precipitados, ocorrendo aumento da coloração da água. Se as condições de pH forem favoráveis, o precipitado formado pode ser removido pela sedimentação ou filtração (Richard, 1988 e Nebel, 1981).

Dosagens elevadas de ozônio podem conduzir à formação de compostos indesejáveis, como o caso do manganês, em que pode ocorrer a formação do íon permanganato, que é tóxico e deve ser evitado nos sistemas de abastecimento de água (Di Bernardo, 1989). Richard (1988), sugere não aplicar o ozônio no final do processo de tratamento, em águas que ainda contenham residuais de ferro, manganês ou orgânicos, que possam causar a coloração, por serem passíveis de flocular devida a presença do ozônio.

Segundo Di Bernardo (1989), quando o ferro ou manganês estão presentes como cátions livres, eles são mais facilmente oxidados por agentes menos poderosos. Entretanto quando o manganês encontra-se complexado com matéria orgânica, o cloro não tem se mostrado eficiente na quebra de tais complexos. Em tais casos, o ozônio tem sido usado como pré-oxidante para permitir a remoção posterior desses metais.

A estação de tratamento de Rackeve, Budapeste, Hungria, recebe água bruta natural contendo concentrações médias de ferro e manganês de 1 a 2 mg/l e de 0,4 a 0,8mg/l, respectivamente. Com o emprego da pré-ozonização, não foi detectada a presença destes metais no efluente da estação de tratamento (Várszegi e Tornoczky, 1989). Francisco (1988), observou em experimentos realizados em uma estação de tratamento localizada no sul de Minas

Gerais, Brasil, a remoção de 100% de ferro, contido na água bruta, após a filtração da água pré-ozonizada.

c) Compostos Orgânicos

Segundo Nebel (1981), a oxidação parcial, pelo ozônio, de poluentes orgânicos que são dissolvidos em água, produzem compostos polares, que aumentam a eficiência da remoção de compostos orgânicos pela coagulação com sais de alumínio ou ferro.

De acordo com o referido autor, algumas substâncias que são oxidadas rapidamente pelo ozônio incluem os ácidos húmicos, detergentes, fenólicos, pesticidas, compostos aromáticos, proteínas e amino-ácidos.

1) Substâncias Húmicas

As substâncias húmicas correspondem a, aproximadamente, 50% do carbono orgânico dissolvido, presente na maioria das águas naturais. A estabilidade das moléculas de substâncias húmicas na água é grande devida a densidade de carga proveniente dos grupos funcionais ácidos. A qualidade da água é afetada pela presença de substâncias húmicas, que reagem durante o tratamento de água para formar trihalometanos (Sierka et al., 1989).

O principal resultado da pré-ozonização de substâncias húmicas é o decréscimo da densidade de carga coloidal destes compostos (Farvadin e Collins, 1989; Grasso et al., 1989 e Gurol, 1985).

2) Detergentes

Os detergentes orgânicos são geralmente dos seguintes tipos: alquil-sulfonatos, alquil-benzeno sulfonatos lineares e compostos amino quaternários

alifáticos. Tem sido relatado que, compostos contendo agrupamentos aromáticos, são mais facilmente oxidados pelo ozônio, porém, quando tais compostos possuem grupos do ácido sulfônico, a oxidação através do ozônio torna-se mais difícil (Di Bernardo, 1989).

3) Fenóis

O ozônio oxida rapidamente os fenóis a outros compostos que ainda contém o anel aromático. Em seguida, a ozonização rompe os anéis aromáticos com eventual produção de CO₂ e H₂O (5 moles de ozônio por mol de fenol). A oxidação do fenol inicia-se com a formação de compostos di-hidroxiaromáticos, tri-hidroxiaromáticos e quenônios. Posteriormente, com a quebra dos anéis aromáticos, há formação de ácidos alifáticos, sendo o ácido oxálico, o mais estável (Di Bernardo, 1989 e, Richard, 1988). Existem estudos realizados com oxidação de 14 tipos de fenóis com ozônio, em pH variando entre 4 e 10, tendo sido constatada a redução da concentração de tais compostos de 30 para 0,1 mg/l (Di Bernardo, 1989).

A Figura 3.35 mostra a variação do fenol e a concentração de três dos produtos de degradação que foram isolados em estudos realizados por Singer e Gurol (citados em Richard, 1988). O residual de ozônio aparece quando a concentração do fenol se aproxima de zero (com tempo de contato de 16 min.)

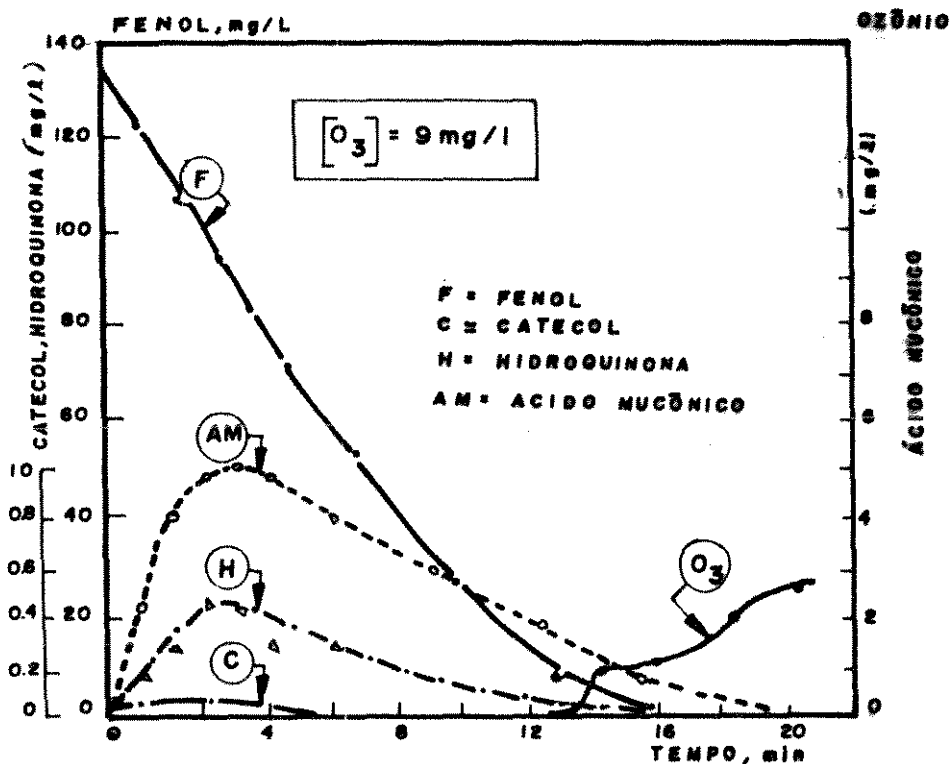


FIGURA 3.35 - Ozonização do Fenol.
Extraído de Richard, 1988.

4) Pesticidas

Os pesticidas reagem de forma completamente diferente com o ozônio. Aldrin e fosalone, por exemplo, são rapidamente destruídos com pequenas dosagens de ozônio. Por outro lado, DDT, PCBs, BHC e clordano, são ligeiramente reativos com o ozônio. Malation e paration representam dois únicos casos de pesticidas que podem ser oxidados e destruídos pelo ozônio (Di Bernardo, 1989).

Por meio de reação, o paration é oxidado a paraoxon, que é então rompido mais lentamente em outras substâncias de menor massa molecular. A ozonização deve ser contínua em suficientes níveis de dosagem e tempos de

contato, até a destruição total do paraoxon, que é considerado ravelmente mais tóxico que o paration (Richard, 1988).

d) Desinfecção Primária

O ozônio é um potente bactericida e virucida. Cunli e Funchun (1989a), observaram, através de análises do mecanismo da desinfecção do ozônio, que o residual de ozônio na água é o principal parâmetro de controle no processo de inativação dos microrganismos. Com o aumento do residual, o efeito de inativação é maior.

A desinfecção com o ozônio ocorre pelo rompimento da célula ou ruptura da parede da célula do microrganismo. O cloro difunde-se através da parede da célula e causa a morte por inativação das enzimas dos microrganismos (Nebel, 1981). Segundo o autor, o ozônio é um forte germicida, onde são necessárias somente algumas microgramas por litro para medir a sua ação. Água que contém bactérias quase sempre possui material orgânico dissolvido, que manifesta uma demanda inicial de ozônio. Em alguns casos raros, espécies inorgânicas podem também exercer uma demanda inicial de ozônio. Enquanto esta demanda está sendo satisfeita, a taxa de desinfecção é relativamente lenta e o ozônio consegue destruir alguns microrganismos enquanto reage com materiais orgânicos na água. Após esta demanda ser satisfeita, a taxa de destruição é muito rápida.

Embora o principal objetivo da pré-ozonização não seja necessariamente a desinfecção, o ozônio pode ser utilizado para auxiliar na remoção de bactérias e inativação de vírus.

Sierka et al. (1989) realizaram experimentos na estação de tratamento de água de Tucson, Arizona, Estados Unidos, para verificar a eficiência do ozônio na pré - desinfecção, utilizando dosagens compreendidas entre 1,5 a

3mg/l e obtiveram remoções satisfatórias de microrganismos e redução de trihalometanos. Já a desinfecção primária com cloro, evidenciou que este reage com certos compostos orgânicos existentes na água bruta, para formar trihalometanos

Embora a pré-ozonização tenha sido adotada na estação de tratamento de água em Monroe, Michigan, Estados Unidos, com a finalidade principal de remoção de sabor e odor, verificou-se uma impressionante redução de coliformes totais, atingindo uma média de 99,8% de redução, para uma dosagem de ozônio aplicada na água bruta em cerca de 1,5 mg/l, com tempo de contato de 20 minutos.

As investigações realizadas por Liang et al. (1989), mostraram que o ozônio é altamente eficiente como pré-desinfectante para remoção de bactérias. Não foram detectados organismos como coliformes fecais, coliformes totais e bactérias heterotróficas, existentes na água bruta natural, após a pré-ozonização.

Com amostras dos efluentes de filtros, antes da desinfecção por cloro, Liang et al. (1989) detectaram coliformes e bactérias heterotróficas, fato também observado por Nieminski e Kutz (1989) em outros experimentos, sugerindo que a ozonização produziu compostos orgânicos biodegradáveis que enriqueceram a atividade biológica nos filtros. Isto pode ter resultado, em parte, pela presença de maiores concentrações de oxigênio na água ozonizada, que na água não ozonizada. Os referidos pesquisadores verificaram também que, após a desinfecção com cloro, no processo final do tratamento, ocorreu a remoção destes microrganismos, com substancial redução na contagem de bactérias, que se apresentou maior em água ozonizada.

Segundo Grasso et al. (1985) e, Masschelein (1988), a pré-ozonização entre outros benefícios, tem sido eficiente na inativação de vírus. Joost et al. (1989)

mostraram que o ozônio é eficaz na inativação de cistos da Giardia lamblia e vírus entéricos, sendo portanto, interessante o emprego do ozônio como pré-desinfetante.

Nebel (1981), relata que a frequência da hepatite infecciosa, nos Estados Unidos, tem permanecido num nível estático de 50.000 a 60.000 casos por ano e, a incidência de febre tifóide, caiu de 2.000 casos em 1955, para 300 em 1968. Estas estatísticas, segundo o autor, indicam que, embora as doenças de origem hídrica pelas bactérias tenham sido controladas, o mesmo não ocorreu com as infecções virais. O único padrão aceitável para remoção de vírus é zero. A cloração, como é utilizada nas estações de tratamento, pode não remover estes microrganismos a níveis aceitáveis. O autor acredita que a utilização do ozônio, venha minorar este problema, uma vez que o controle completo de vírus pelo ozônio, à baixa dosagem, é bem documentada.

Nieminski e Kutz (1989), pesquisaram a eficiência da pré-ozonização em sementeiras de bacteriófagos, e verificaram que, na água pré-ozonizada, foi mais efetiva a redução do número de vírus através de amostras coletadas no afluente e efluentes dos filtros, conforme a Figura 3.36, em relação à água não ozonizada.

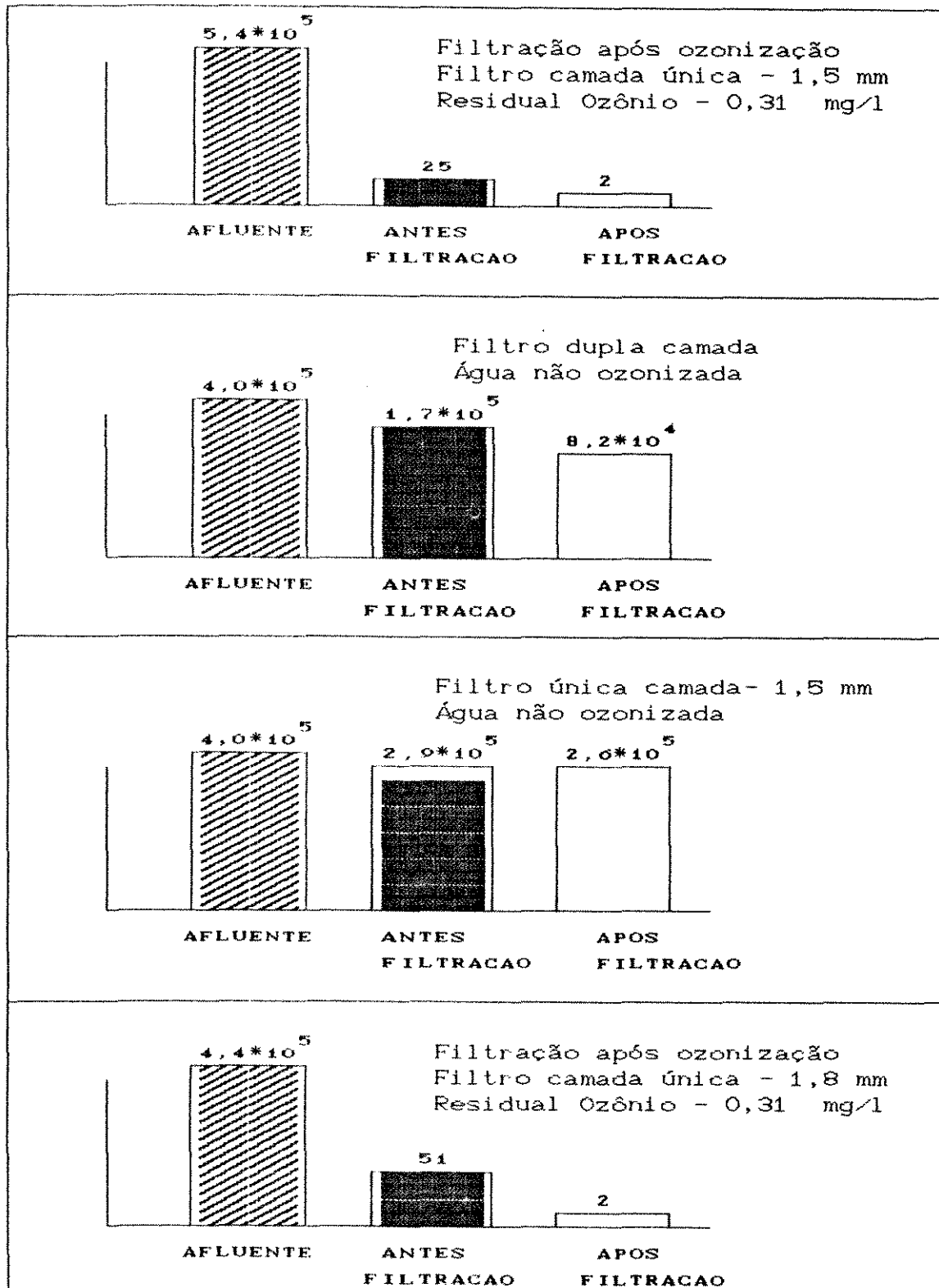


FIGURA 3.36 - Eficiência da Pré-Ozonização na Redução de Bacteriófagos.
Extraído de Nieminski e Kutz, 1989.

Em estudos realizados com seis tipos de vírus entéricos, verificou-se que, quanto maior o residual de ozônio, menor resulta a resistência dos vírus. O aumento da temperatura resultou numa diminuição da resistência dos vírus à inativação pela ozonização. Em geral, os vírus são mais resistentes à ação do ozônio para valores menores de pH (Di Bernardo, 1989). Nieminski e Kutz (1989), detectaram cistos de Cryptosporidium na água bruta natural, sendo confirmada a sua presença pela detecção dos cistos em água não pré-ozonizada, proveniente da lavagem de filtros. Porém, na água para a qual a pré-ozonização foi empregada, não foi detectado este tipo de cisto em amostras coletadas de água proveniente da lavagem dos filtros.

e) Remoção de turbidez

A turbidez presente na água é removida pela ozonização, através da combinação da oxidação química e neutralização de cargas. Partículas coloidais, que causam turbidez, são mantidas em suspensão por partículas carregadas negativamente que são neutralizadas pelo ozônio. O ozônio promove a destruição de materiais coloidais pela oxidação de compostos orgânicos que ocorrem na superfície das partículas coloidais esféricas (Nebel, 1981).

As alterações da turbidez são resultados de mudanças na distribuição do tamanho das partículas (Collins et al., 1989; Dowbiggin e Singer, 1989 e, Paillard et al., 1989). Conforme Jekel (citado em Collins et al., 1989; Dowbiggin e Singer, 1989 e, Paillard et al., 1989) e Richard (citado em Dowbiggin e Singer, 1989), os mecanismos de melhora na remoção da turbidez pelo ozônio ocorre devido o ozônio reduzir o efeito de proteção do colóide pela modificação da absorção de organismos

naturais (Paillard et al., 1989), que é evidenciado por Jekel (citado em Collins et al., 1989; Dowbiggin e Singer, 1989 e, Paillard et al., 1989), usando soluções de ácido húmico aquático e partículas de sílica.

Liang et al. (1989), mostraram que a microfloculação é um dos benefícios do impacto do ozônio na estabilidade das partículas, auxiliando na coagulação da turbidez. As pesquisas realizadas na estação de tratamento de água de Los Angeles, Califórnia, Estados Unidos, por estes autores, evidenciaram que a turbidez da água bruta natural foi reduzida de 0,54 a 0,77 uT para 0,05 a 0,07 uT, respectivamente, após a pré-ozonização e filtração direta. Com o emprego da pré-cloração, a turbidez resultou em cerca de 0,12 uT, Connelly e Geiger (1989); Monk et al. (1985) e, Nieminski e Kutz (1989) também observaram que a turbidez do efluente da filtração era bem menor quando a pré-ozonização era utilizada em lugar da pré-cloração, com a mesma taxa de filtração.

Na estação de tratameto de água de Manta, Equador, onde a água bruta possui turbidez da ordem de 23 uT, a pré-ozonização causou pequena diminuição da turbidez em amostras coletadas logo após a ozonização (22 uT) e uma substancial redução no efluente dos filtros (0,4 uT). Em testes realizados com água do rio Negro em Manaus, Brasil, a turbidez foi reduzida de 6,2 uT para 1,5 uT, após a filtração, com a aplicação da pré-ozonização (Francisco, 1988).

Paillard et al. (1989) verificaram que, na estação de tratamento de Choisy-le-Roy, Paris, França, a pré-ozonização aumentou a remoção de turbidez e do número de partículas, após a coagulação - floculação e sedimentação. Muitos pesquisadores, tais como Farvadin e Collins (1989); Nieminski e Kuntz (1989); Richard e Jacq (1989); Singer et al. (1989), também verificaram uma remoção substancial da turbidez e do número de partículas, na filtração, com a aplicação da pré-ozonização.

f) Remoção de Cor

As águas superficiais são geralmente coloridas naturalmente pela ocorrência de materiais orgânicos, como por exemplo, ácidos húmicos e fúlvicos (Nebel, 1981 e Richard, 1988) e contem, geralmente sólidos em suspensão (Richard, 1981), que causam a variação de níveis de coloração das águas.

Tais compostos orgânicos resultam da degradação de vegetais e geralmente são relacionados como produtos de condensação de compostos como os fenólicos. Esses compostos, causadores da cor, incluem numerosas ligações duplas conjugadas, as quais são rapidamente rompidas pela oxidação com o ozônio (Nebel, 1981).

A remoção da cor, de águas altamente coloridas, varia em função da dosagem de ozônio e da quantia da matéria orgânica removida. A ozonólise causada pela adição de ozônio no início do processo de tratamento de água leva à destruição das moléculas que causam a cor (Richard, 1981). Segundo Connelly e Geiger (1989), pode-se produzir água de boa qualidade com o tratamento convencional, mas com o emprego da pré-ozonização, o processo de tratamento é enriquecido, reduzindo a cor em todas as unidades.

Connelly e Geiger (1989) e Singer et al. (1989) observaram uma substancial redução de cor verdadeira após a sedimentação e, alcançando níveis próximos a zero após a filtração, quando era usada a pré-ozonização. Na Figura 3.37 se tem uma comparação de remoção de cor da água do rio Merrimack, Ma, Estados Unidos, nas diversas unidades de tratamento, com e sem pré-ozonização:

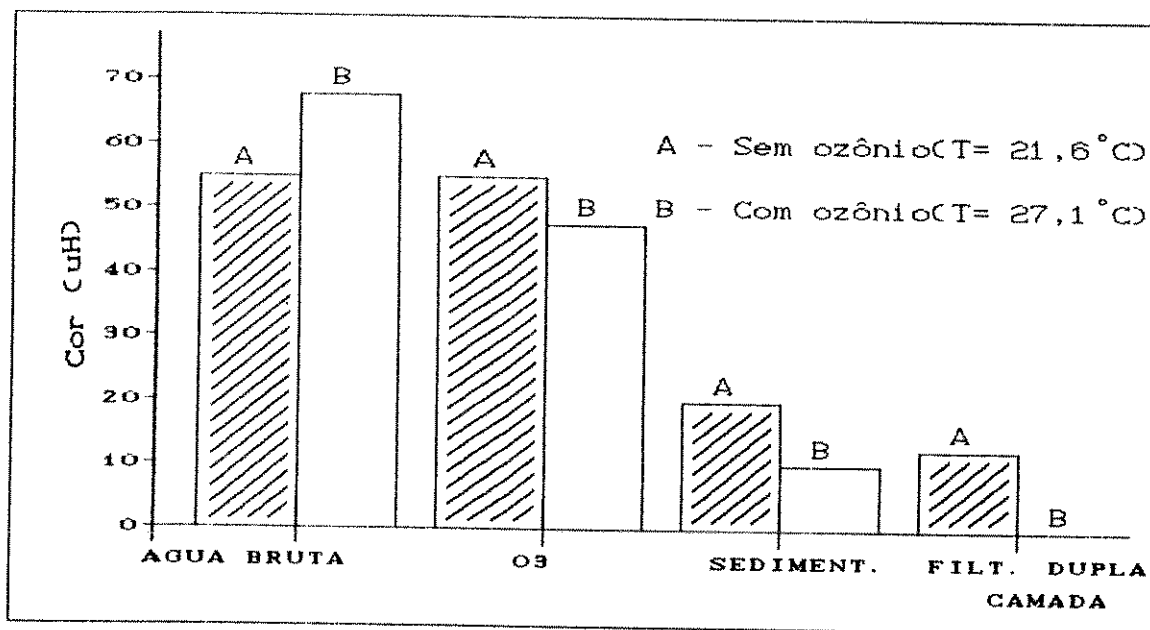


FIGURA 3.37 - Remoção da Cor da Água do Rio Merrimack, Ma, através das Unidades de Tratamento, com e sem Pré-Ozonização. Extraído de Connelly e Geiger, 1989.

A pré-ozonização aumenta a remoção de cor aparente e verdadeira existentes na água bruta natural (Chen e Snoeyink, 1987 e Sierka et al., 1989).

Francisco (1988), em testes realizados com água do rio Negro, Manaus, Amazonas, obteve uma remoção de 90% da cor aparente com a pré-ozonização e subsequente filtração. Utilizando diferentes dosagens de ozônio nas águas do rio do Baixo Cotia, situado na região metropolitana de São Paulo, onde recebe efluentes de vários tipos de indústrias, a pré-ozonização reduziu a cor aparente de 80 para 0,18 mg/l Pt-Co. Resultados positivos para remoção de cor aparente foram encontrados na estação de tratamento de Manta, Equador, apresentando em um dos experimentos realizados uma cor aparente inicial de 350 mg/l Pt-Co, que foi reduzida para 200 mg/l Pt-Co após a pré-ozonização e chegou à 2,5 mg/l Pt-Co no efluente da filtração.

g) Trihalometanos

Quantidades de traços de materiais orgânicos que estão dissolvidos em água tratada reagem quimicamente com cloro para produzir trihalometanos (THM). Estes compostos são carcinogênicos e, segundo a Agência de Proteção ao Meio Ambiente dos Estados Unidos da América USEPA, a concentração máxima admitida é de 0,1 mg/l.

Segundo Nebel (1981), a USEPA efetuou um levantamento das condições de potabilidade da água tratada em 80 cidades americanas e detectou THM em quase todas. Em duas delas, uma apresentando baixo índice de THM e a outra com índice zero de THM, é empregado o ozônio como parte do processo de tratamento. Nas águas do Lago Michigan, onde foram detectados traços de THM, a água é pré-ozonizada e pós-clorada. No caso em que não foi detectado THMs, a água era desinfetada com ozônio.

De acordo com Masschelein (1988), quando a ozonização é operada adequadamente, não há formação de THM ou, se houver, será uma concentração muito pequena.

O controle de THM pode ser efetivo por um dos três mecanismos, segundo Nebel (1981): remoção de THM após serem formados; remoção de compostos orgânicos dissolvidos na água a ser desinfetada ou não utilizar o cloro como desinfetante. Na maioria dos casos, não se elimina o cloro, porque é necessária a existência de residual do desinfetante nas linhas de distribuição de água. A meia vida do ozônio em água livre de demanda de oxidante é de apenas 20-40 minutos, na temperatura ambiente, não possibilitando o seu uso como residual. Conforme o autor, a remoção de precursores de trihalometanos pode ser realizada por três diferentes técnicas de oxidação: a adição de baixas doses de ozônio na água afluente ao tratamento, auxiliando a coagulação e subsequentemente, a remoção de precursores; aplicação do ozônio em uma das últimas unidades do proces-

so de tratamento, ocorrendo desta maneira, oxidação dos precursores remanescentes da formação de THM, devendo-se ter muitas precauções quando altas concentrações de compostos orgânicos permanecerem na água, pois a oxidação parcial destes pode alterar suas estruturas, de tal maneira que levam à produção de mais THM após subsequente cloração; combinação de carvão ativado granular com o ozônio para produzir carvão biologicamente ativado.

A pré-ozonização de águas naturais contendo compostos orgânicos auxilia o processo de remoção de precursores de THM e aumenta a eficiência da filtração, (Farvadin e Collins, 1989). Singer et al. (1989), observaram que, com a substituição da pré-cloração pela pré-ozonização e, o emprego do cloro somente no final do tratamento, a água tratada apresentou uma baixa concentração de precursores de THM, com redução do potencial de formação de trihalometanos de 40 a 50%. Na estação de tratamento de Belle Glade, Flórida, Estados Unidos, quando era utilizada a pré-cloração, o clorofórmio compreendia cerca de 85% da concentração de TTHM (Trihalometanos Totais) no sistema de distribuição; após o emprego da pré-ozonização, este composto foi reduzido para 40% da concentração de TTHM.

Connelly e Geiger (1989), em testes pilotos na estação de tratamento de Dracut, Ma., Estados Unidos, observaram uma redução de 92% na concentração de trihalometanos totais, quando comparada com a água não ozonizada. Nieminski e Kuntz (1989) também verificaram apreciável diferença na formação de trihalometanos. Efluentes de filtros tiveram uma redução de 35 a 50% no potencial de formação de trihalometanos.

Embora a pré-ozonização tenha sido empregada na estação de tratamento de água de Monroe, Michigan, com a finalidade principal de remover sabor e odor, Lepage (1985) (1985), verificou uma grande redução no potencial de formação de trihalometanos.

Grasso et al. (1989) e Richard e Jacq (1989), também obtiveram uma redução no potencial de formação de trihalometanos (THMFP), sendo que, esta redução, se apresentou maior nos meses de verão que, segundo Grasso et al. (1989) a temperatura alta da água pode ser mais favorável para as reações cinéticas que para as águas de baixa temperatura. Isto, ligado com as diferentes características da matéria orgânica presente, faz a aplicação do ozônio para controle de THMFP mais efetiva durante os meses de verão. Os primeiros verificaram que, se o ozônio for aplicado como pré-oxidante, pode haver uma atividade biológica no filtro, removendo matéria orgânica e precursores de THM e, no final do processo, a água pode receber cloro ou outro desinfetante.

Liang et al. (1989) realizaram testes com água bruta natural que não apresentava THMs e, observaram, em amostras de efluentes da filtração direta de água pré-clorada, um valor de 41,4 $\mu\text{g}/\text{l}$ para THM Total (TTHM) e, com a pós-cloração, esta concentração aumentou para 52,2 $\mu\text{g}/\text{l}$. Quando a pré-ozonização foi aplicada o efluente do processo de tratamento, após a cloração, apresentou uma concentração de 11,73 $\mu\text{g}/\text{l}$ de TTHM.

Os testes pilotos efetuados por Sierka et al., 1989, utilizando pré-cloração e pré-ozonização mostraram, no final do processo de tratamento de água, uma acentuada redução na concentração de trihalometanos (inferior à 0,02 mg/l) na água que foi pré-ozonizada.

As Figuras 3.38 e 3.39 ilustram o efeito da pré-ozonização e pré-cloração no tratamento de água:

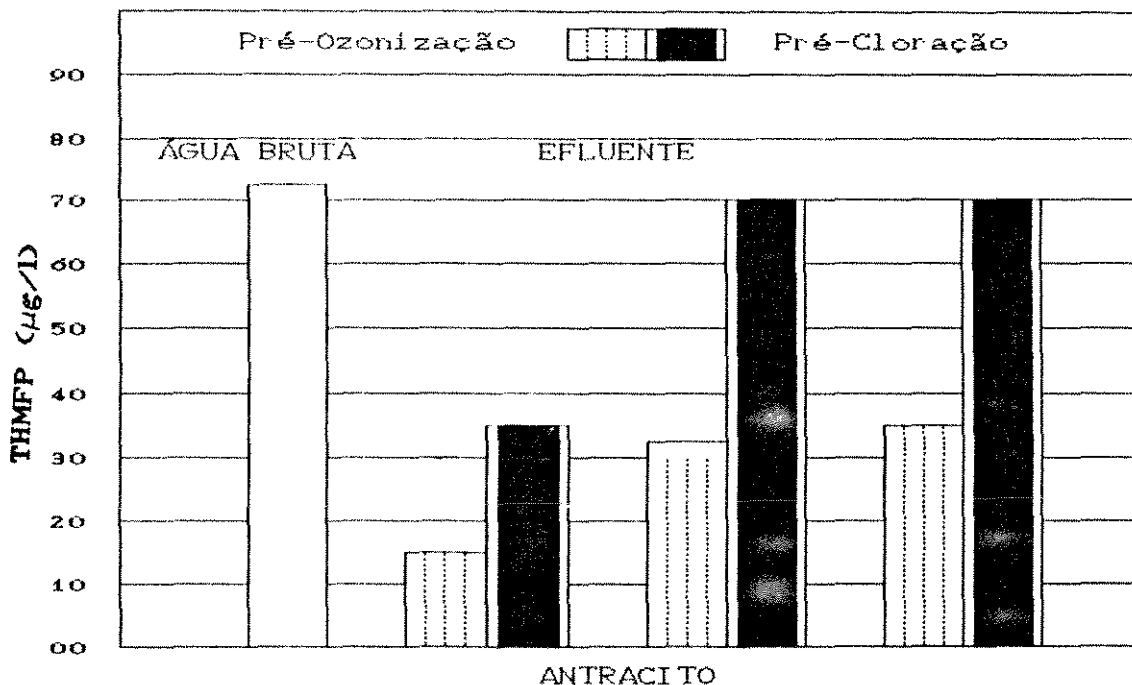


FIGURA 3.38 - Efeito da Pré-Ozonização e Pré-Cloração no Valor de THMFP (7d) em Instalações Piloto, com Diferentes Meios Granulares. Extraído de Di Bernardo, 1989.

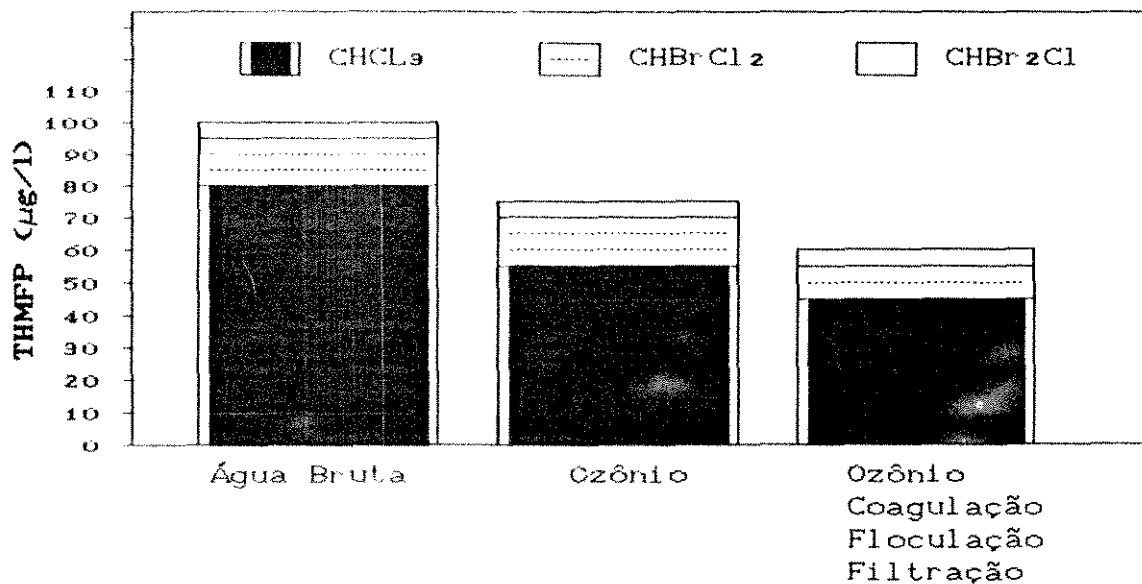


FIGURA 3.39 - Redução Média no Nível de THMFP na Estação de Tratamento de Água de Los Angeles. Extraído de Di Bernardo, 1989.

h) Cloro

O uso do ozônio como desinfectante primário e oxidante, combinado com as unidades de tratamento subsequentes, remove a maioria dos compostos orgânicos, os quais de outra maneira formam compostos clorados, quando é adicionado o cloro no final do processo de tratamento. A pré-ozonização possibilita uma redução na dosagem de cloro e na quantidade de compostos clorados que representam riscos à saúde (Geering, 1989; Joost et al., 1989 e Klein e Smith, 1989).

As reduções nas dosagens de cloro são relatadas por diversos pesquisadores, entre eles Lepage (1985) que verificou uma economia em cerca de 25 a 30% , na estação de tratamento de Monroe, Mich., Estados Unidos, além de apresentar maior estabilidade do residual através da distribuição.

Nos experimentos realizados com águas do rio Negro, Manaus, Brasil, Francisco (1988), obteve com a pré-ozonização, uma redução de 50% na dosagem de cloro. A dosagem de ozônio no final do processo também é reduzida com a pré-ozonização. Richard (1988), obteve uma economia de aplicação do ozônio de $0,4 \text{ g/m}^3$, nas pesquisas realizadas com as águas do rio Sena.

i) Sabor e Odor

A origem de sabor e odor nas águas de abastecimento é tanto devida a presença de matérias orgânicas naturais como de compostos orgânicos sintéticos. A degradação de materiais vegetativos produz compostos que originam sabores às águas superficiais por processos metabólicos de bactérias. A ação de algumas espécies de algas e actinomicetos sobre o material húmico, pode produzir compostos solúveis que causam sabor à água. A

atividade biológica contínua das bactérias nos materiais orgânicos dissolvidos, produzem compostos de baixo peso molecular, compostos voláteis odoríferos. O ozônio oxida tais compostos na fase aquosa. Também, o sulfeto de hidrogênio, é oxidado à ânion sulfato, eliminando odor e sabor (Nebel, 1981).

De acordo com Daniel e Meyerthofer (1989) existem variedades de fontes que causam sabor e odor na água, podendo ser devido a compostos orgânicos e inorgânicos, ter origem biológica ou, serem gerados durante o tratamento da água ou na distribuição.

Segundo Duguet et al. (1989), maiores atenções estão focalizadas no sabor e odor de origem biológica, sendo que os compostos mais comuns são geosmina e 2-metilisoborneol (MIB), produzidos por algas ativas. Testes realizados mostraram que a geosmina e MIB foram reduzidos de maneira significativa com o emprego de ozônio como pré-oxidante, em relação a outros oxidantes e, mais substancialmente, com o uso de ozônio com peróxido de hidrogênio. De acordo com os referidos autores, a oxidação destes compostos por cloro, dióxido de cloro ou permanganato de potássio, não é muito eficiente. Não são reativos com ozônio molecular, mas podem ser removidos pelo radical hidroxil formado durante a decomposição do ozônio na água. Geosmina e 2-MIB são mais eficientemente removidos em valores de pH altos.

A comparação entre cloro livre e ozônio revelou que a alternativa viável para remoção e controle de sabor e odor é a pré-ozonização (Di Bernardo, 1989 e Masschelein, 1988).

j) Subprodutos

Alguns trabalhos tem mostrado que o ozônio pode formar subprodutos na água, tais como:

1) Aldeídos

Glaze et al. (1989) e Jacangelo et al. (1989) verificaram que, em água bruta natural, que não continha aldeídos, a pré-ozonização levou à formação deste compostos, cujos níveis foram reduzidos após a filtração. Os aldeídos são formados pela reação direta do ozônio com precursores, como ácidos graxos não saturados. A decomposição do ozônio pode retardar a formação dos aldeídos. Formaldeídos podem ser produzidos pela oxidação de espécies como aminoácidos ou aromáticos, contidas nas substâncias húmicas (que são precursores da formação de THM).

Glaze et al. (1989), obtiveram em experimentos realizados na estação de tratamento de água de Los Angeles, aldeídos alifáticos, especialmente formaldeído e heptanal, os quais pareceram ser os principais subprodutos formados pela ozonização, neste local. Subprodutos como acetaldeídos e formaldeídos resultaram em estudos realizados por Jacangelo et al. (1989).

Liang et al. (1989) verificaram um aumento da concentração dos aldeídos existentes na água bruta, com a pré-ozonização. Entretanto, com a aplicação do cloro no início e final do processo de tratamento, a concentração de aldeídos, existentes na água bruta, não sofreu qualquer alteração.

2) Peróxido de Hidrogênio e Peróxidos Orgânicos

Liang et al. (1989) detectaram a formação de peróxido de hidrogênio, após a pré-ozonização, decorrentes de reações diretas e indiretas do ozônio com compostos orgânicos. Não foram encontrados residuais destes compostos após a filtração e no final do processo de tratamento de água. Os peróxidos orgânicos, por sua vez, não foram detectados em nenhum ponto de coleta das amostras, ao longo das unidades de tratamento.

3) Brometos

O ozônio é termodinamicamente capaz de oxidar brometo à ácido hipobromoso, o qual pode reagir com precursores de THM para produzir bromofórmio (CHBr_3) (Daniel e Lanier, 1989; Jacangelo et al., 1989 e Singer et al., 1989).

Segundo Di Bernardo (1989), a presença simultânea de precursores de THM e de brometos na água a ser ozonizada, pode causar a interação entre os três reagentes, conforme ilustra a Figura 3.37:

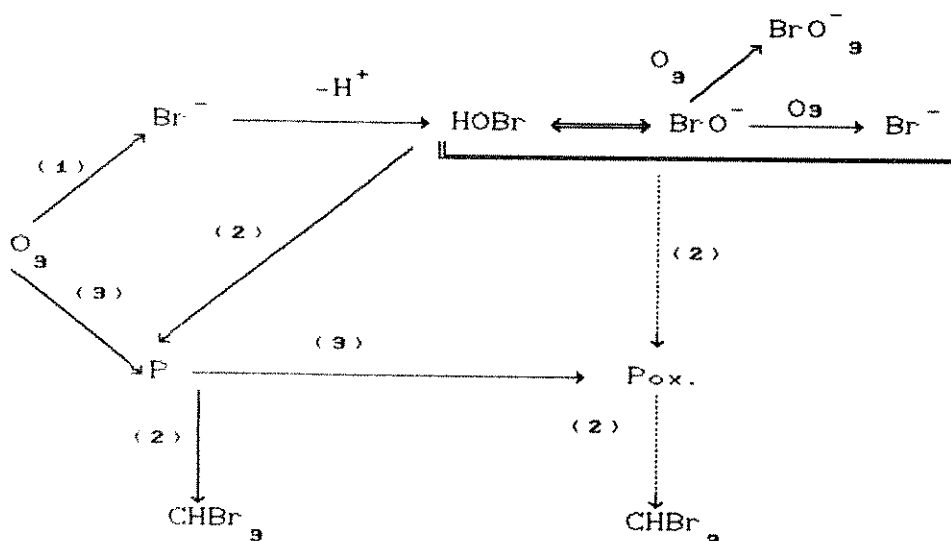


FIGURA 3.40 - Interação Entre Ozônio, Brometos e Precursores de THM.
Extraído de Di Bernardo, 1989.

A primeira reação que ocorre é a ação do ozônio sobre os brometos, com formação de ácido hipobromoso, em equilíbrio com o íon hipobromito (dependendo do pH). Quando há excesso de ozônio, pode haver formação de bromatos ou brometos, (Daniel e Lanier, 1989 e Di Bernardo, 1989).

O ozônio pode também oxidar os precursores de THM (reação 3). Se a taxa de reação de oxidação dos precursores (P) é maior que a de formação de ácido hipobromoso (reação 1) ou a de bromofórmio (reação 2), os precursores serão rapidamente degradados pelo ozônio, não ocorrendo a formação de bromofórmio, exceto se a oxidação do próprio precursor resultar num THM. Porém, se a taxa de degradação do precursor (P) pelo ozônio for lenta (reação 3), comparada à formação de bromofórmio (reações 1 e 2), pode ser observada a presença de bromofórmio durante a ozonização (Di Bernardo, 1989).

Singer et al. (1989) não observaram a formação de bromofórmio após a ozonização, em águas do Lago Okeechobee, Belle Glade, Flórida, Estados Unidos, mas após a cloração, foram formados brometos, precursores de THM. Isto pode ocorrer pelo fato da água do lago conter alta concentração de carbono orgânico total, predominando a reação do ozônio com este composto, não havendo a produção de ácido hipobromoso e, por sua vez não havendo a formação do bromofórmio. Quando o cloro é adicionado à água pré-ozonizada (desinfecção final), o cloro pode reagir com brometo para produzir ácido hipobromoso ou com o residual de carbono orgânico total para produzir clorofórmio. O ácido hipobromoso pode então reagir com o residual de carbono orgânico total para produzir bromofórmio e outras espécies bromatadas de THM.

Os autores verificaram, também que, quando a pré-cloração era empregada nesta estação, o clorofórmio resultava em aproximadamente 85% da concentração de

trihalometanos totais. Após a ozonização, houve uma redução de 45% ocorrendo a formação de várias espécies de brometos. Adicionalmente, existe a influência da formação de THM na presença de brometos, quando a água possui maior ou menor concentração de fosfatos e bicarbonatos (efeito tampão). Quanto maior a concentração de bicarbonatos e fosfatos, menor resulta a formação de bromofórmio quando há precursores de THM na água a ser ozonizada (Di Bernardo, 1989).

3.2.7 - Pós-Ozonização

Embora não seja recente, na pós - desinfecção, a ozonização é usada para remover microrganismos indicadores de contaminação fecal (Richard, 1988). Não obstante o ozônio seja mais efetivo que o cloro, as duas maiores limitações do ozônio para desinfecção final, podem ser relacionadas pela sua instabilidade na água, com vida média muito curta para assegurar uma capacidade residual desinfectante em grandes sistemas de distribuição e, pela formação de subprodutos oxigenados de baixo peso molecular, através da reação com substâncias orgânicas, que são geralmente mais biodegradáveis, promovendo crescimento biológico no sistema de distribuição (Glaze, 1987). Por estas razões, o ozônio deve ser utilizado em combinação com outros desinfetantes para manter um residual ativo por longos períodos e, ser combinado com algum método de filtração para remover material biodegradável.

3.2.8 - Aspectos de Saúde Pública

A aspiração do ozônio é extremamente perigosa pela alta toxicidade ao ser humano. A ingestão direta de água ozonizada não representa um perigo sério ao ser

humano, pois a sua meia-vida é curta (165 min a 20°C).

A tolerância do ser humano quando exposto em local com existência de ozônio no ar, pode ser vista na Figura 3.41. A exposição do ser humano à uma dosagem de 1,5 a 2 mg/l, durante duas horas, produz secura na boca e garganta, dores no peito, perda da habilidade mental, dificuldade de coordenação e articulação, tosse e 13% da capacidade vital (Di Bernardo, 1989).

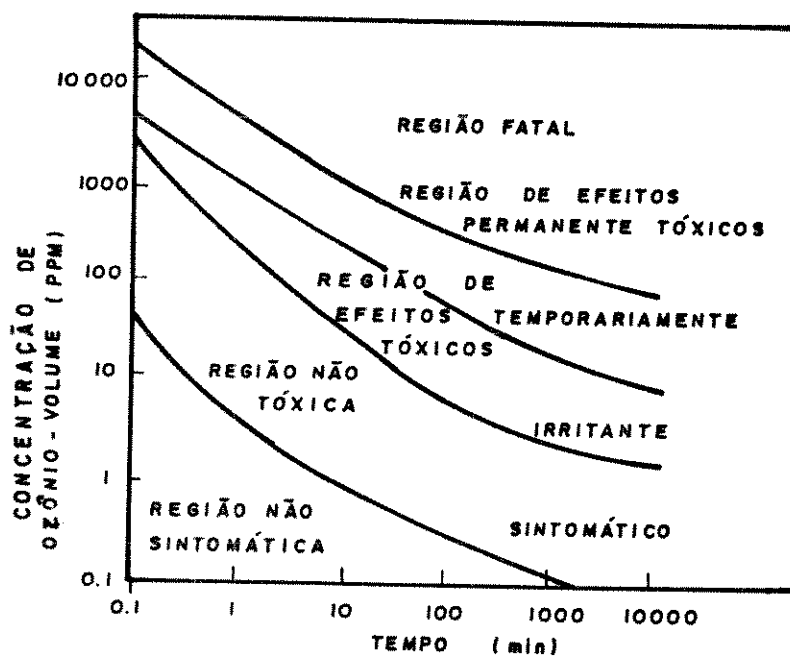


FIGURA 3.41 - Tolerância do Ser Humano ao Ozônio. Extraído de Di Bernardo, 1989.

Embora o ozônio reduza a atividade mutagênica, pode formar subprodutos que são prejudiciais à saúde do ser humano, mas estes ainda não foram encontrados. Segundo Glaze (1987), deve-se recordar que o cloro foi usado por décadas antes dos THM serem descobertos nas águas de abastecimento.

Lepage (1985) relata que, embora o ozônio tenha sido aplicado desde o início do século e ser atualmente aplicado em estações de mais de 29 países, não existe na

literatura nenhuma evidência do perigo de saúde associada com a ozonização de águas de abastecimento público, e nenhum registro específico de incidente devida a exposição com o ozônio em qualquer estação de tratamento que tenha resultado em morte ou em permanente incapacidade.

4. INVESTIGAÇÃO EXPERIMENTAL

4.1 - Considerações Iniciais

O presente trabalho foi realizado nas dependências da Estação de Tratamento de Água (ETA I) de Piracicaba, SP, situada à Rua Luíz de Queiróz. A cidade de Piracicaba possui duas estações de tratamento que utilizam o rio Piracicaba como principal manancial, cujas características físico - químicas, químicas e microbiológicas são bastantes desfavoráveis para o consumo público, principalmente na época de estiagem, quando aumenta a concentração dos poluentes e contaminantes na água a ser tratada.

O Serviço Autônomo de Água e Esgoto de Piracicaba (SEMAE) já vem realizando um acompanhamento contínuo da qualidade da água bruta, em convênio com o Centro de Energia Nuclear na Agricultura (CENA), Universidade de São Paulo (USP), Campus de Piracicaba e Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental (CETESB) com determinações de diversas características, destacando - se os metais, pois muitas indústrias e cidades situadas a montante, lançam seus despejos líquidos naquele curso de água.

Inicialmente, foi feita uma análise dos dados

disponíveis, de forma a possibilitar a obtenção de valores máximo, médio e mínimo dos parâmetros de qualidade, conforme mostrado nas tabelas 4.1 e 4.2, referentes aos diferentes meses do ano de 1988.

Após o levantamento e análise dos dados, foi coletado um volume da água afluyente à ETA (cerca de 5 m³), para a execução do trabalho experimental que foi dividido em etapas: (a) caracterização da água de estudo; (b) realização de ensaios de coagulação - floculação em aparelho especial (Jar Test) para traçado do Diagrama de Eficiência de Coagulação da água de estudo; (c) pré-ozonização da água de estudo, com diferentes tempos de contato e dosagens de ozônio; (d) ensaios de coagulação-floculação para as águas bruta natural e pré-ozonizada; (e) comparação dos parâmetros de qualidade e de consumo de coagulante para a água decantada com e sem pré-ozonização.

Para cada condição de pré-ozonização (dosagem de ozônio e tempo de contato), foram executados ensaios de coagulação - floculação, de modo a se comparar os dados obtidos para as duas condições, com e sem pré - ozonização da água bruta.

As instalações utilizadas e a metodologia empregada para o desenvolvimento do trabalho experimental foram as mesmas do trabalho realizado por Bresaola (1990).

4.2 - Descrição das Instalações:

A investigação experimental com a água bruta previamente coletada e reservada, foi realizada em duas instalações, descritas a seguir:

4.2.1 - Equipamento para Ensaio de Coagulação - Floculação

Para o ensaio de coagulação-floculação, foi utilizado um aparelho da marca Polilab, modelo TBME. O equipamento dispõe de motor com torque suficiente para atender as variações de rotações até 105 rpm, com dispositivo para variação contínua de rotação entre os limites. O esquema geral é mostrado na figura 4.1.

Composição do Sistema:

(a) Conjunto do Motor:

- Nº de Unidades: 1;
- Motor de corrente contínua;
- Variador de Corrente, com escala graduada de zero à 105 rpm;

(b) Reatores:

- Nº de Unidades: 6;
- Volume útil de dois litros, em acrílico transparente, de seção quadrada em planta, com parede de espessura igual a 3mm;
- Agitador constituído de paleta de 7,0x4,5cm em plástico;



FIGURA 4.1 - Fotografia do Aparelho de Coagulação-Floculação, Utilizado nos Ensaios da Primeira Fase Experimental.

4.2.2 - Conjunto Piloto de Geração de Ozônio

O conjunto piloto de geração de ozônio utilizado é composto (ver fluxograma da figura 4.2) de: cilindro de oxigênio (1); unidade geradora do ozônio (2); coluna de medição da produção, para controle do ozônio aplicado (4); câmara de contato (5); duas colunas de destruição do excesso de ozônio: (a) coluna de excesso de gás ozônio (6) interligada por meio de mangueira conectada no topo de saída da câmara de contato; (b) coluna de aquecimento do gerador de ozônio (7), e receptora do gás, quando há necessidade do desvio do ozônio de uma das colunas, evitando o desligamento de toda a unidade de ozonização. O

controle de distribuição do gás entre as colunas foi realizado através de um sistema de registros (3).

O funcionamento da instalação pode ser visualizado também através da figura 4.3:

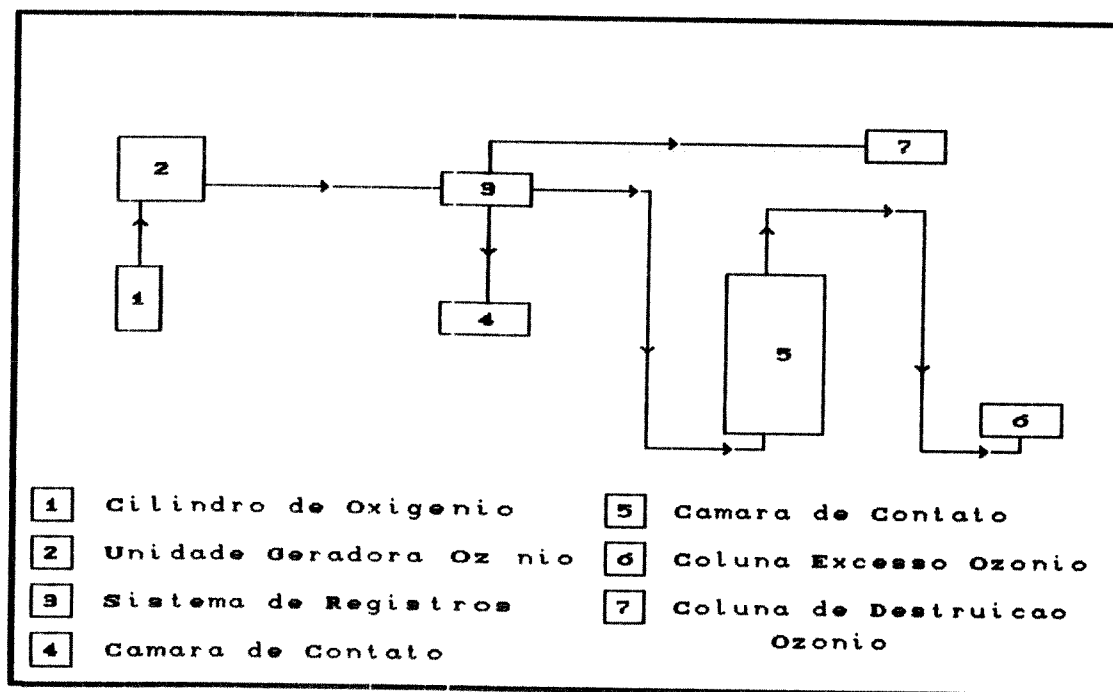


FIGURA 4.2 - Fluxograma do Conjunto de Geração de Ozônio.

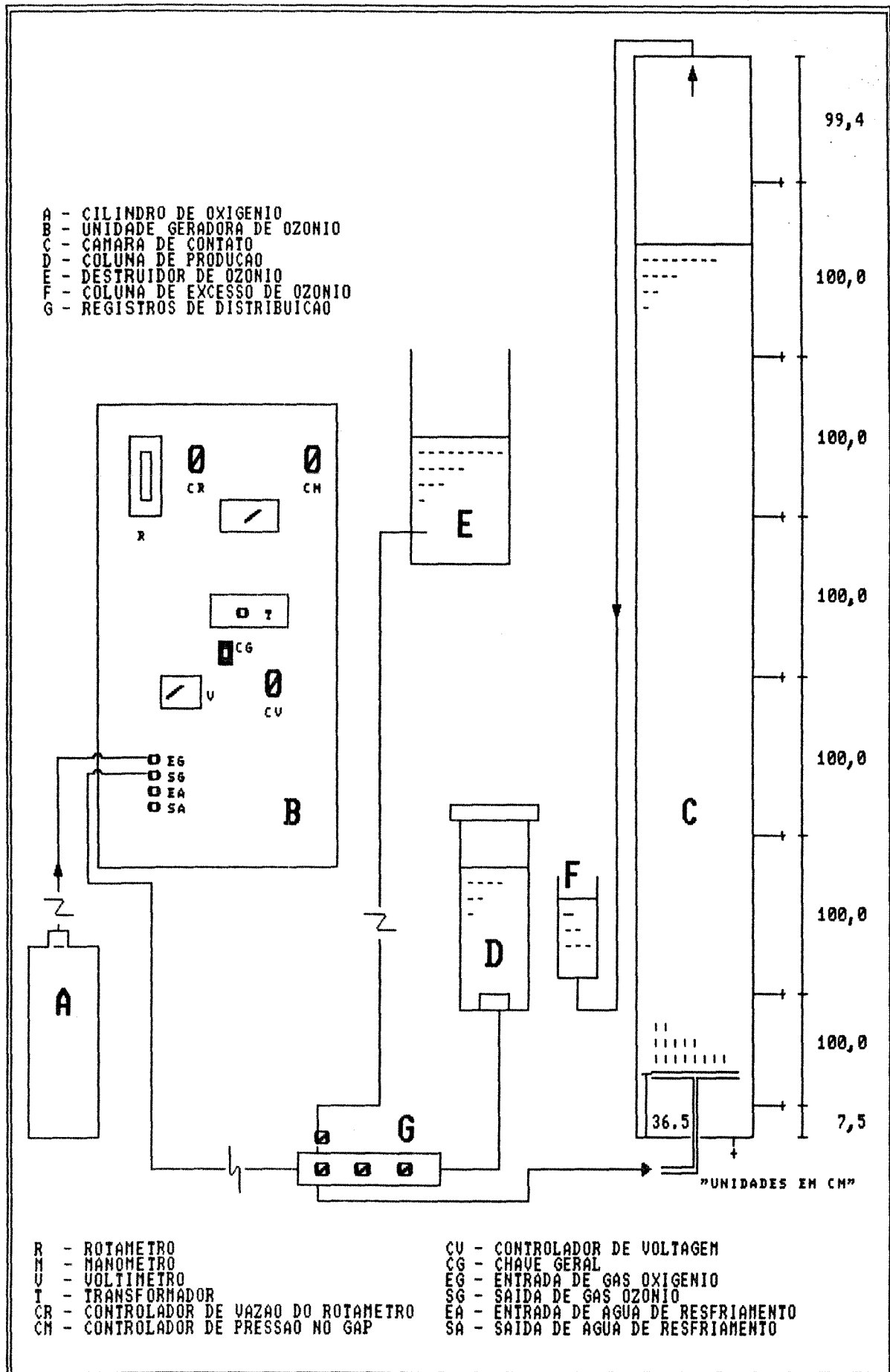


FIGURA 4.3 - Esquema da Unidade Completa de Geração de Ozônio.

No cilindro de oxigênio utilizado para a geração de ozônio (figura 4.4), estão conectados dois manômetros controladores de pressão e a mangueira por onde o gás oxigênio é conduzido até à unidade piloto.

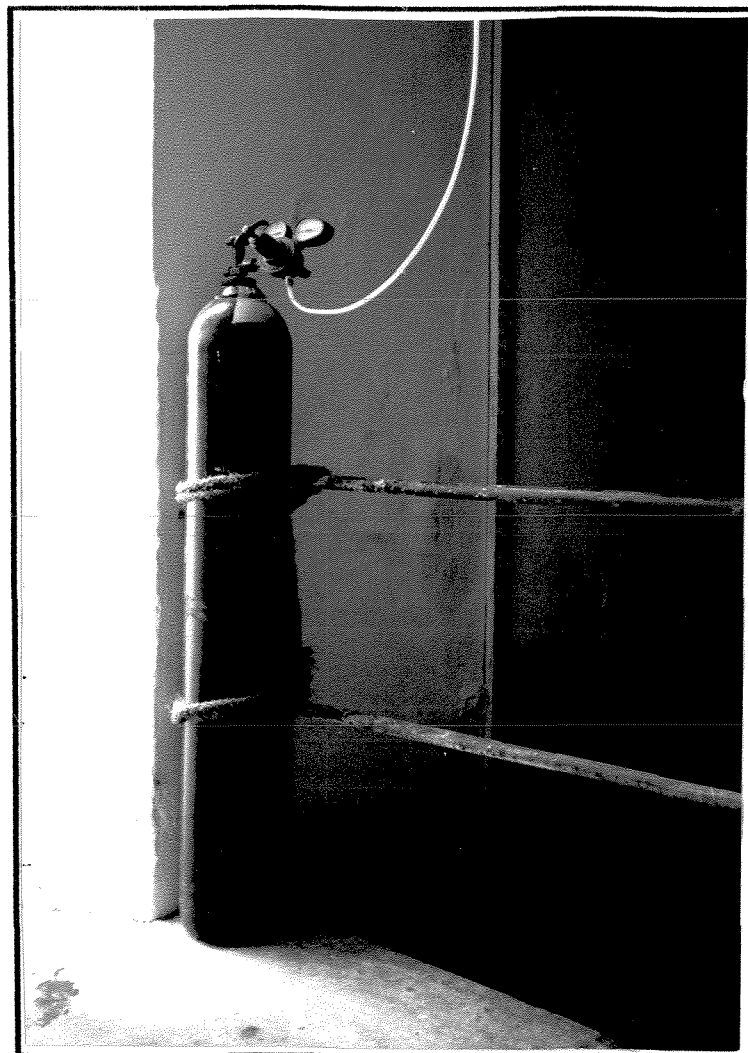


FIGURA 4.4 - Fotografia do Cilindro de Oxigênio.

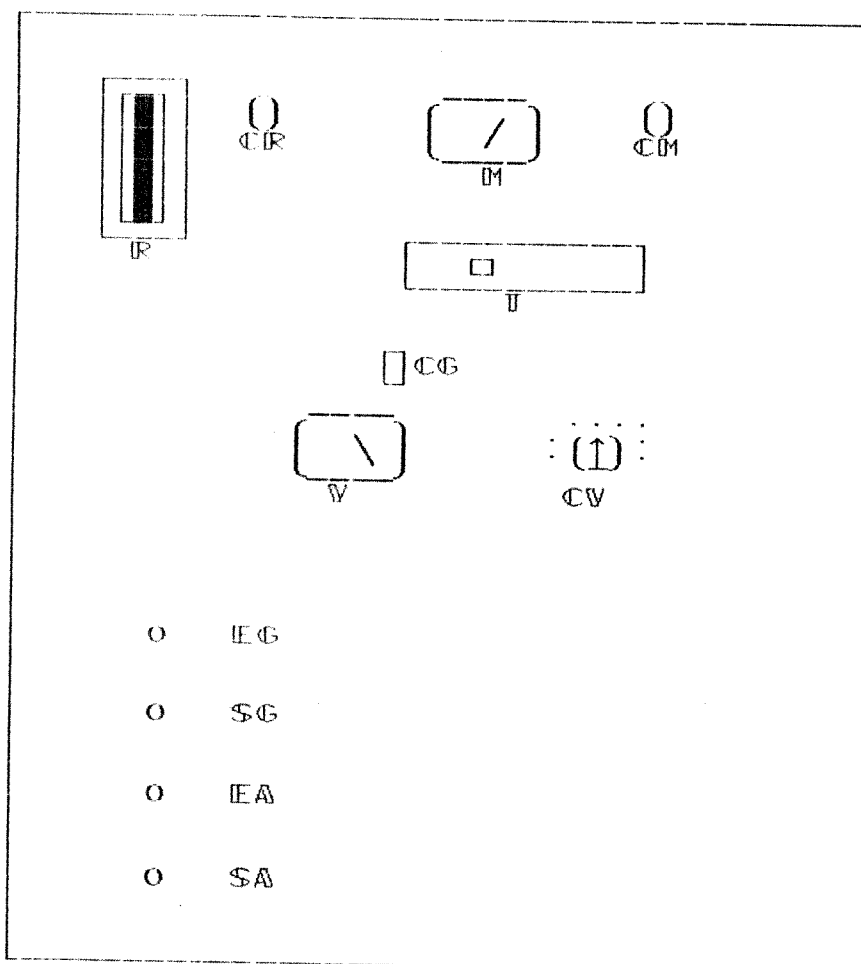
O gerador de ozônio utilizado, ilustrado nas figuras 4.5; 4.6 e 4.7, é da marca Filsan, modelo TLA, com capacidade máxima nominal de 6 a 12 g Os/h, podendo operar com uma pressão na abertura da célula (ver figura 4.7) de até 1 kg/cm^2 , e uma variação de tensão de até 250 volts. O

aparelho possui um rotômetro que controla a porcentagem de gás ozônio que passa pela câmara de ozonização. A pressão de entrada do gás oxigênio é limitada a $2,0 \text{ kg/cm}^2$.

O aparelho é dotado de um sistema de refrigeração com água corrente (foi utilizada água tratada proveniente da estação), conforme literatura (Dimitriou e Mierzejewski, 1989; Masschelein, 1988; Nebel, 1981 e Schulhof e Smith, 1988), a refrigeração é fator atuante no melhor rendimento do ozonizador.



FIGURA 4.5 - Fotografia do Gerador de Ozônio Utilizado no Desenvolvimento da Pesquisa.



- IR - Rotâmetro;
 CIR - Controlador de vazão;
 M - Manômetro;
 CM - Válvula de controle de pressão;
 V - Voltímetro;
 CV - Controlador de Tensão;
 CG - Chave Geral;
 T - Transformador;
 IEG - Entrada de gás oxigênio;
 SG - Saída de gás ozônio;
 IEA - Entrada de água de resfriamento;
 SA - Saída de água de resfriamento.

FIGURA 4.6 Esquema do Painel do Gerador de Ozônio (piloto).

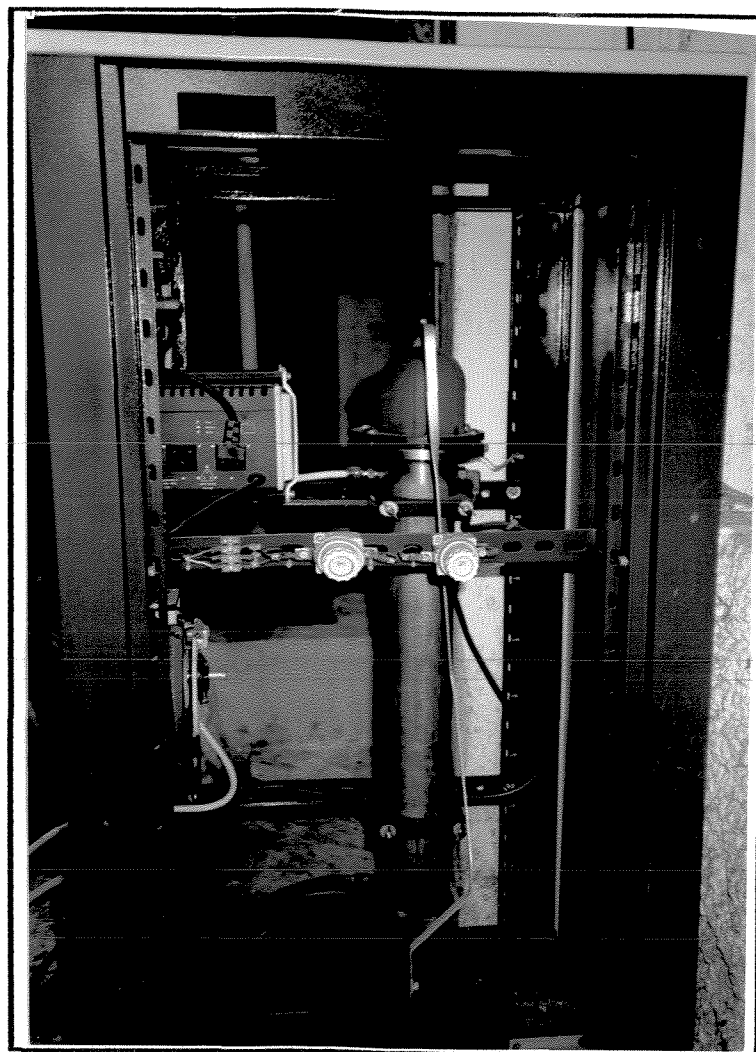


FIGURA 4.7 - Fotografia Ilustrando o Interior do Gerador de Ozônio.

A figura 4.8 mostra o sistema de distribuição do gás ozônio através das colunas de produção e de destruição de ozônio e na câmara de contato e a figura 4.9 ilustra as referidas colunas.

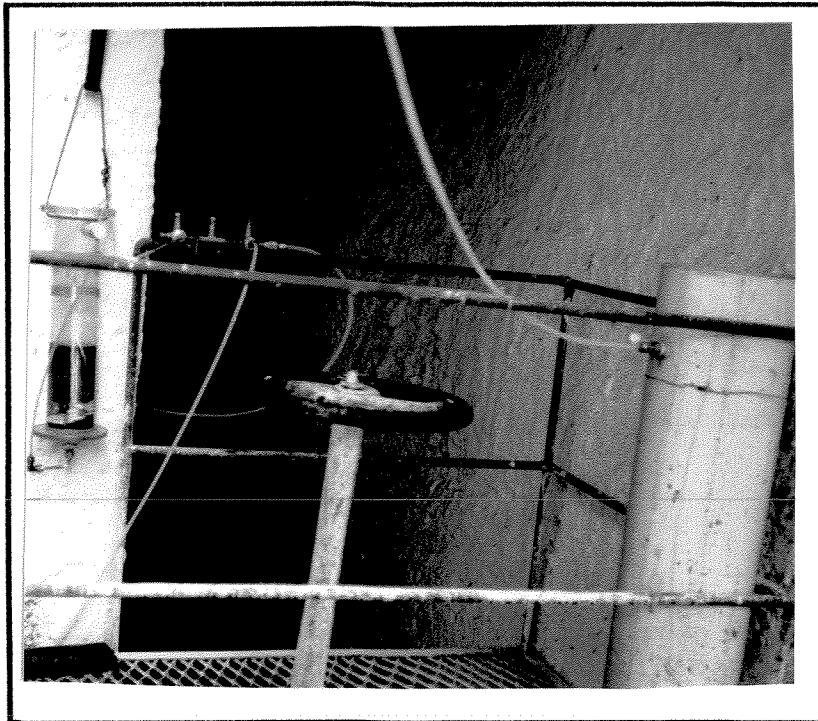


FIGURA 4.8 - Fotografia do Sistema de Distribuição do Gás Ozônio.



FIGURA 4.9 - Visão Geral das Colunas de Produção, Excesso e de Destruição de Ozônio.

A determinação do ozônio, na forma de gás, aplicado na câmara de contato foi feita através de uma coluna de acrílico, denominada coluna de produção (fig. 4.10), de diâmetro interno de 8,9 cm.

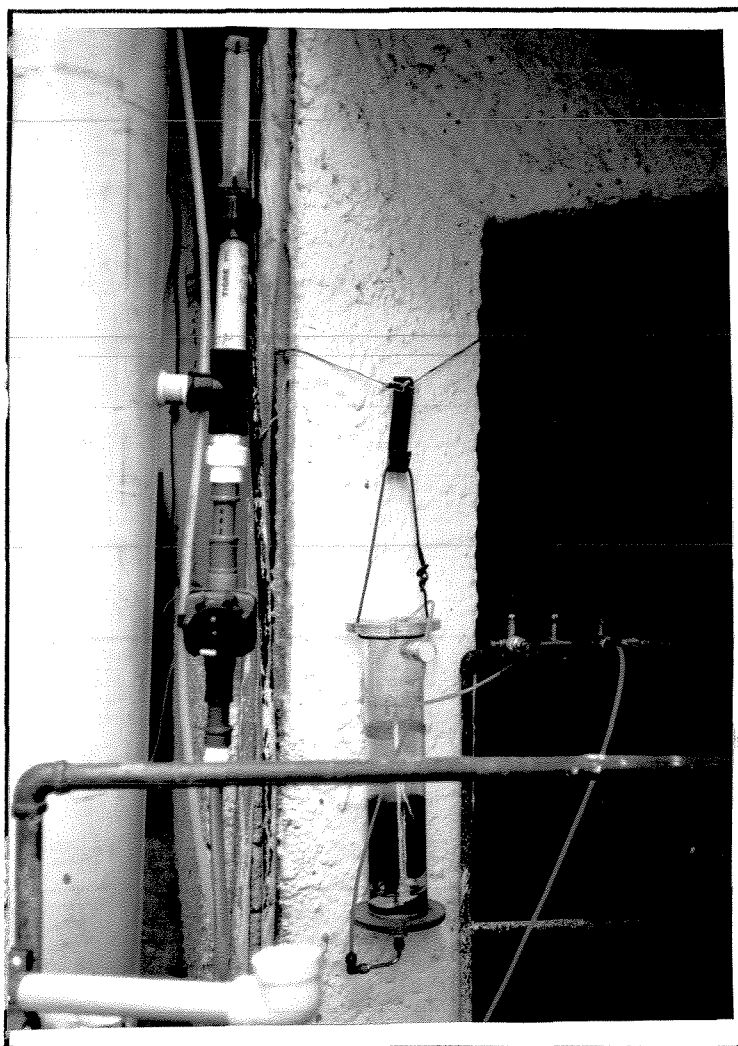


FIGURA 4.10 - Fotografia da Coluna de Produção de Ozônio Contendo Solução de Iodeto de Potássio Oxidada pela Ação do Ozônio.

A câmara de contato, conforme ilustram as figuras 4.11 e 4.12, é de secção cilíndrica, construída em PVC, com diâmetro interno de 24,4 cm e altura total de 577,4 cm, tem conectado em sua base um tubo de entrada do gás ozônio, e um sistema de descarga para limpeza (figura 4.13). Alguns centímetros acima da base, está conectada uma placa difusora, responsável pela dispersão de gás na câmara, em vidro sinterizado, com vazios compreendidos entre 30 a 100 micrômetros, de diâmetro 15,25 cm e uma espessura de 0,95 cm (figura 4.14).

Ao longo da câmara foram instaladas torneiras, espaçadas, conforme figura 4.11, para estudar o comportamento da distribuição do gás, através do controle do residual de ozônio e para efetuar tomadas de amostras de água pré-ozonizada, para a realização de ensaios de coagulação - floculação.

O monitoramento de controle do nível da água bruta dentro da câmara de contato e das demais colunas do sistema foi feito por meio de tubos transparentes.

O excesso de gás não retido na câmara de contato, é levado através de um tubo acoplado no topo da câmara (ver figura 4.15), à coluna de excesso de gás (off gas) contendo solução de Iodeto de Potássio à 2%.

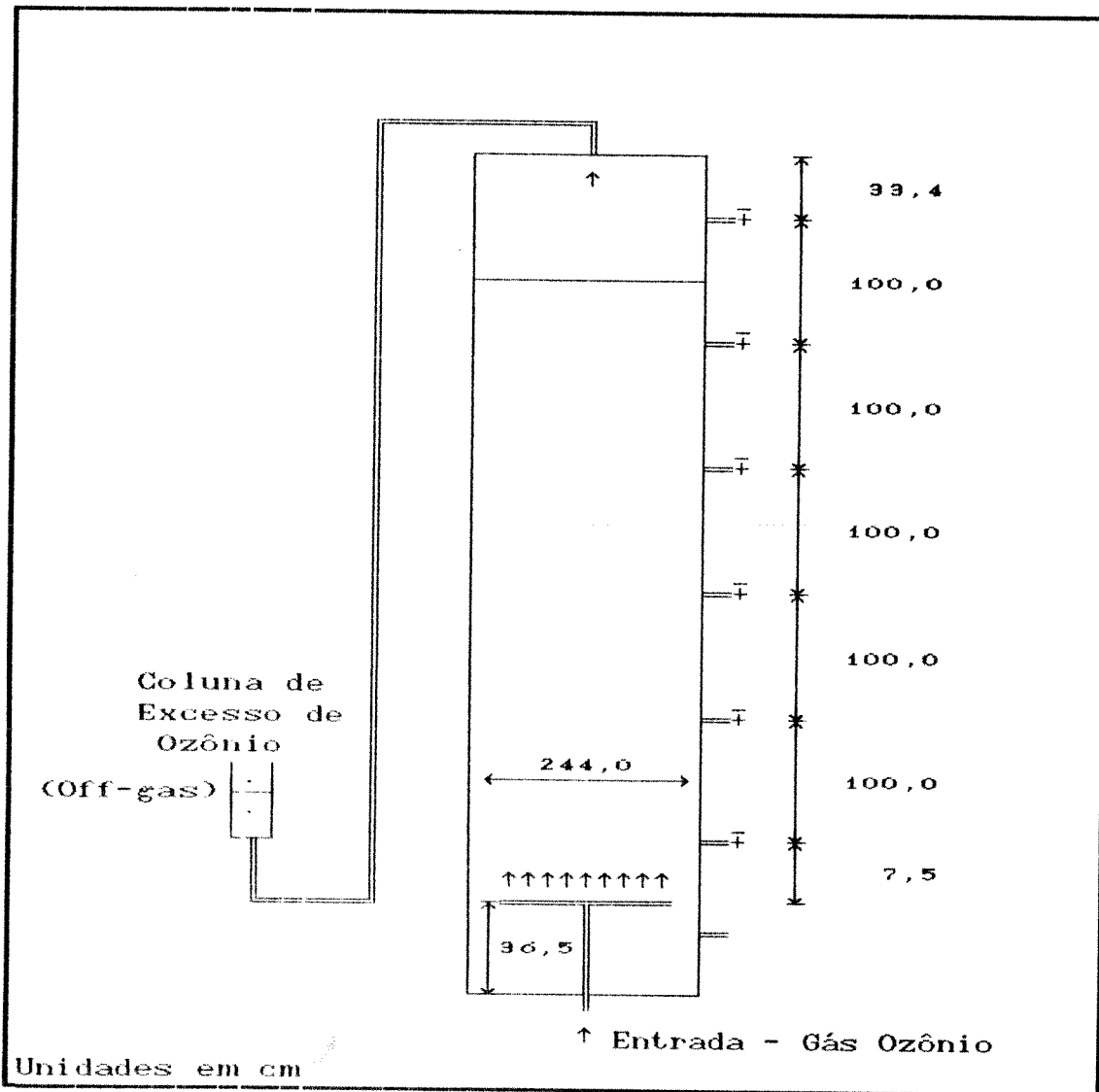


FIGURA 4.11 - Esquema da Câmara de Contato e da Coluna de Excesso de Ozônio



FIGURA 4.12 - Fotografia da Câmara de Contato.

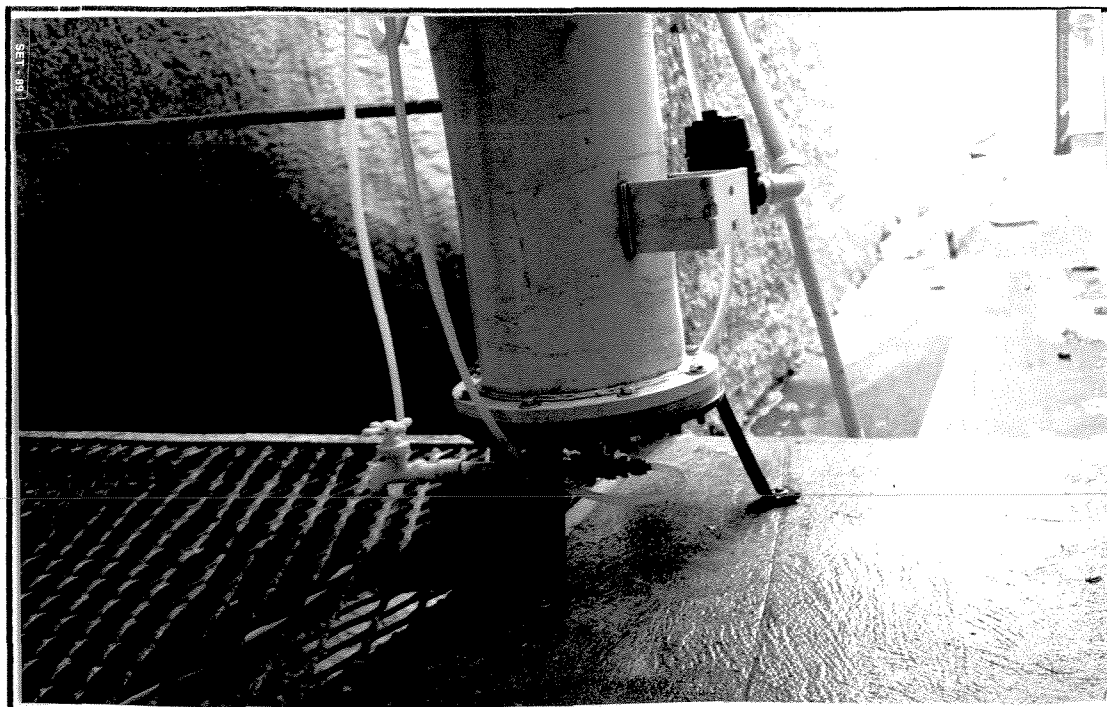


FIGURA 4.13 - Fotografia Ilustrando o Ponto de Entrada do Gás Ozônio na Câmara e o Local de Descarga Para Limpeza.

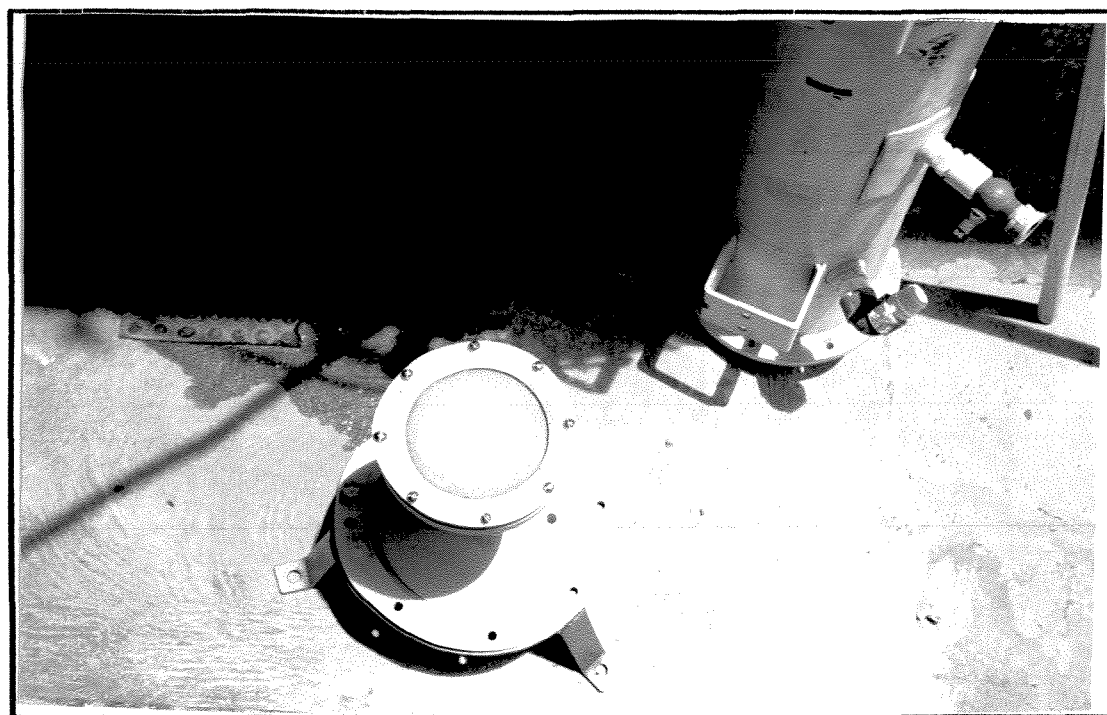


FIGURA 4.14 - Fotografia do Difusor de Ozônio.

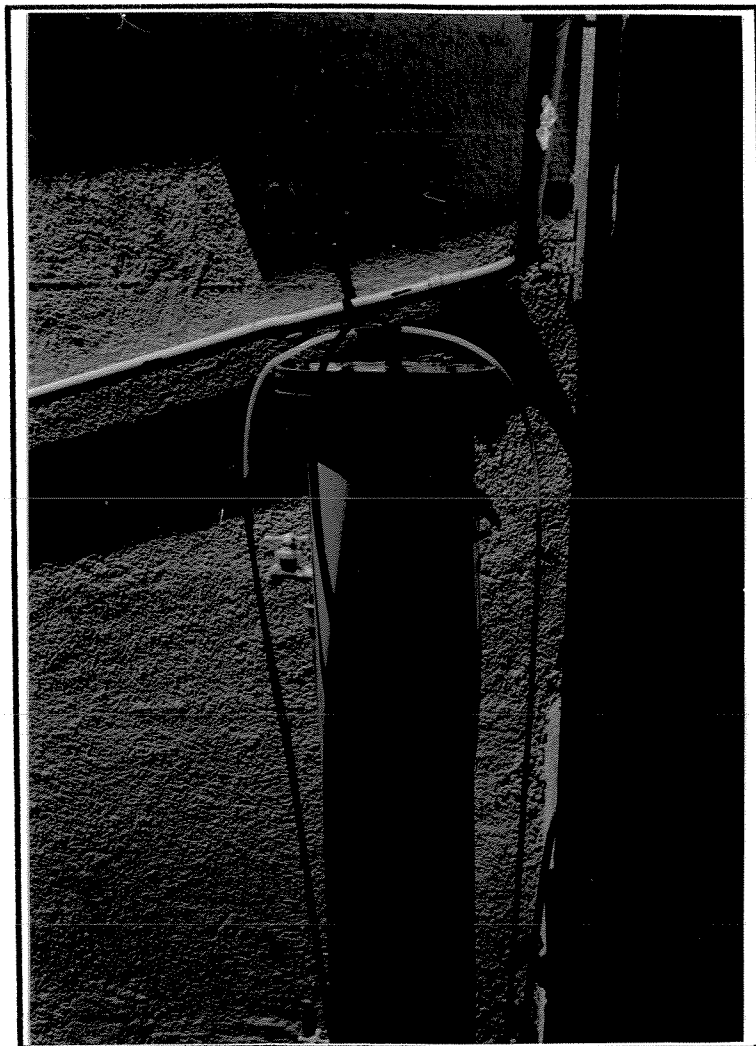


FIGURA 4.15 - Fotografia Ilustrando o Topo da Câmara, Onde está Situado o Ponto de Saída do Excesso do Gás Ozônio.

A coluna de excesso de gás ozônio (off gas) (figura 4.16), é construída em PVC, com diâmetro interno de 7,5 cm. A altura da solução de iodeto de potássio à 2% (1,52 litros) ficou em função do equilíbrio (vasos comunicantes) com a câmara de contato e as demais colunas do sistema. Sua finalidade é receber o excesso de gás proveniente da câmara de contato, durante a realização dos ensaios de pré - ozonização.

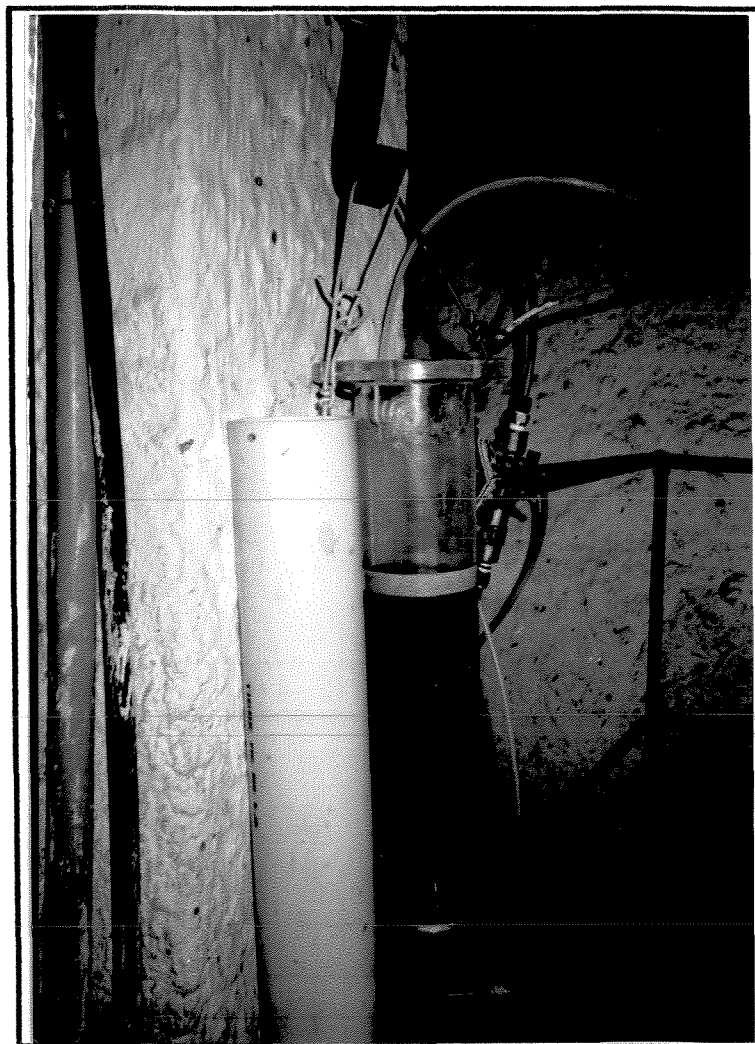


FIGURA 4.16 - Fotografia da Coluna de Excesso de Ozônio (Off-Gas).

A coluna de destruição de ozônio (fig. 4.17), é construída em PVC, com diâmetro interno de 24,25 cm. A sua principal finalidade é a queima do gás ozônio, através de uma solução de sulfeto, no período de aquecimento do aparelho e logo após o término de cada ensaio, evitando a dispersão do ozônio no ambiente de trabalho. A altura do líquido foi calculada de maneira a permanecer em equilíbrio com a altura da lâmina líquida nas demais colunas.

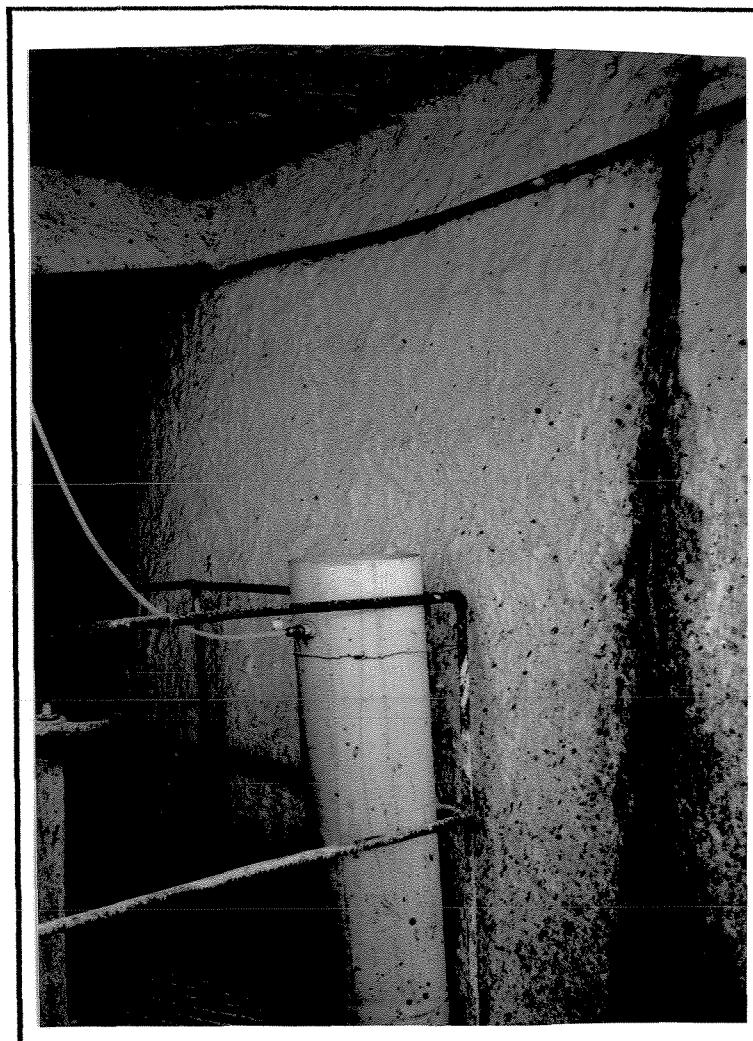


FIGURA 4.17 - Fotografia da Coluna Queimadora de Ozônio.

No desenvolvimento da pesquisa, exames físico-químicos e bacteriológicos foram realizados, em sua maioria, nos laboratórios da Estação de Tratamento Água de Piracicaba. Análises de condutividade e dureza foram realizados no laboratório de Saneamento da Faculdade de Engenharia Civil de Campinas, junto ao Departamento de Hidráulica e Saneamento - UNICAMP (Universidade Estadual de Campinas). A determinação de metais (ferro e manganês)

foram efetuadas pelo CENA (Centro de Energia Nuclear na Agricultura), Universidade de São Paulo, Campus de Piracicaba.

Para a determinação dos diversos parâmetros foram utilizados os seguintes equipamentos:

a) pH: a medida do pH foi realizada através de potenciômetro da marca Digimed, modelo DMPH-1;

b) Cor Aparente: foi determinada pelo método de comparação visual "Platino - Cobalto", que estabelece a unidade de cor produzida por 1,0 mg/l de platina na forma de íon Cloro platinado. A medida foi feita no comparador "Hellige Aquatester", com disco padrão n^o 610 e 611;

c) Turbidez: para medição da turbidez foi empregado o turbidímetro da Micronal, modelo B 250;

d) Temperatura: a medida da temperatura foi realizada com termômetro de mercúrio;

e) Condutividade: as medidas de condutividade foram efetuadas em um condutivímetro da marca Metrohm Herisau, modelo E - 527, com um eletrodo Metrohm Herisau, CH - 9100, EA - 608, com constante do eletrodo no valor de 0,83

f) Alcalinidade e Dureza: as operações de titulação para determinação da alcalinidade e da dureza foram empregadas buretas manuais;

g) Residual de Ozônio pelo Método Iodométrico: conjunto para determ. do residual de ozônio na água (Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1985), através dos frascos lavadores; o sistema trabalha pela

passagem de ar; dois recipientes são conectados em série (ver fluxograma da figura 4.18 e fotografia da figura 4.19) sendo que, no primeiro frasco (1000 ml), são adicionados 800 ml de amostra da água ozonizada e no segundo (500 ml), cuja finalidade é absorver o ozônio liberado no primeiro frasco, são adicionados 400 ml de solução de iodeto de potássio.

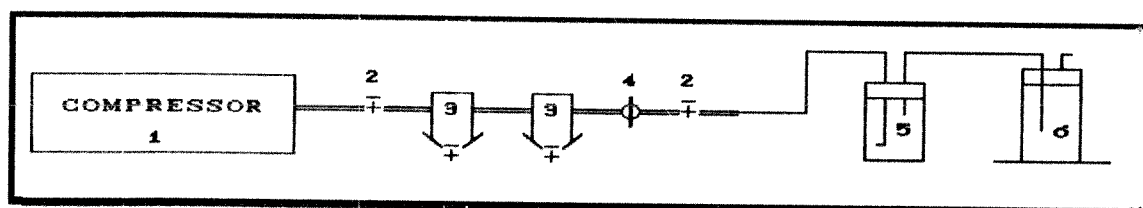


FIGURA 4.18 - Fluxograma do Conjunto para Determinação de Residual de Ozônio na Água (Método Iodométrico), através dos Frascos Lavadores.

Os componentes das figuras 4.18 e 4.19, são abaixo discriminados:

- (1) - Compressor de ar
 Motor - marca WAG, modelo 71 - 1085
 0,5 CV - 1710 r.p.m.;
 Compressor - marca Wayne, modelo 2,6/75 D;
 Pressão máxima - 8,8 kg/cm².
- (2) - Registro para controle do fluxo de ar de 127 mm (0,5 pol);
- (3) - Filtros de retenção de impurezas e umidade;
- (4) - Manômetro de Borden, escala de 0 a 10 kg/cm²;
- (5) - Frasco da Amostra (1000 ml);
- (6) - Frasco contendo Solução de Iodeto de Potássio (500 ml).

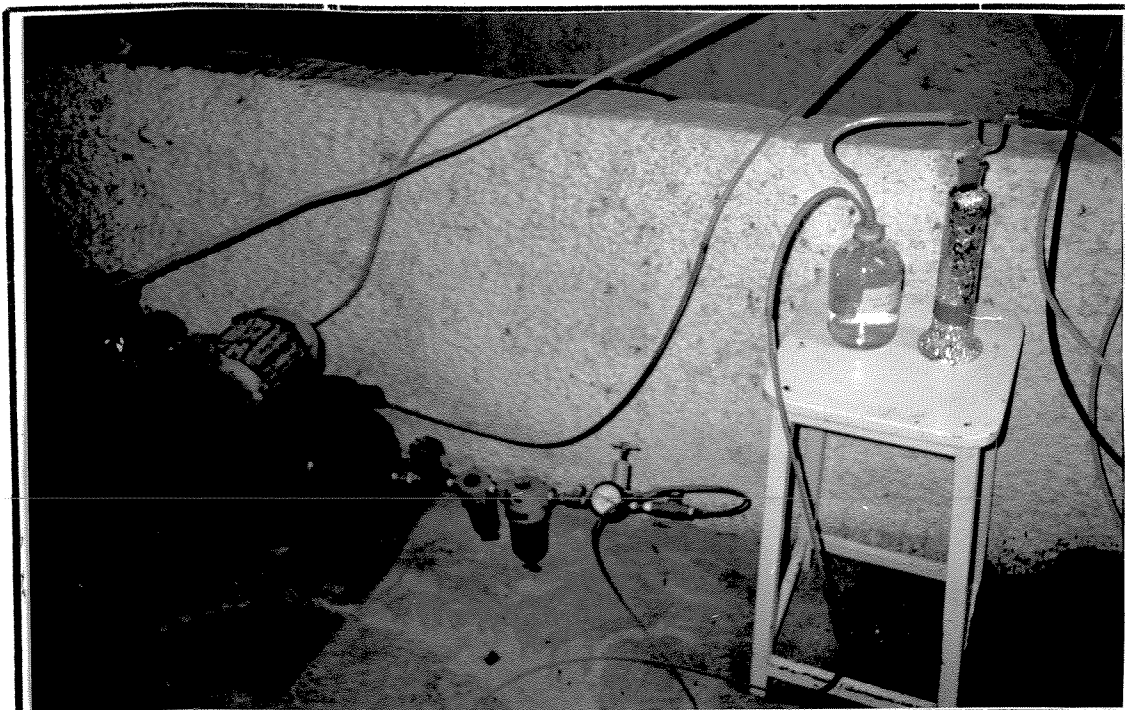


FIGURA 4.19 - Fotografia do Conjunto para Determinação de Residual de Ozônio na Água (Método Iodométrico), através dos Frascos Lavadores.

h) Residual de Ozônio pelo Método Colorimétrico: na determinação do residual de ozônio pelo Método Colorimétrico (segundo Comissão Européia de Padronização e pela Associação Internacional de Ozônio e, Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1989), foi utilizado um espectrofotômetro da marca Micronal, modelo: B-34211, com um caminho óptico de 10 mm, com possibilidade de se adaptar uma célula de 30mm;

l) Ferro e Manganês: as determinações destes metais foram realizadas por laboratoristas do CENA, utilizando Plasma Induzido de Argônio, da marca Jarrell - ASH, modelo 975.

j) Todos os produtos químicos em pó (PA) foram devidamente pesados em balança da marca Mettler Instruments AG, CH-8606, Tipo H80, Max - 160 g - d=0,1 mg.

4.3 - Programação do Trabalho Experimental

A investigação experimental foi dividida em tres fases, conforme mostra o resumo contido na tabela 4.3:

TABELA 4.3 Resumo das Fases Experimentais

FASE	OBJETIVOS	EQUIPAMENTOS
1	TRAÇADO DO DIAGRAMA DE EFICIÊNCIA COAGULAÇÃO-FLOCULAÇÃO DA ÁGUA DE ESTUDO	Potenciômetro; Comparador Aquates ter; Turbidímetro; Termômetro de mercúrio; Aparelho Ensaio de Coagulação-Floculação; Condutivímetro Buretas p/alcalinidade e dureza
2	COMPORTAMENTO DA ÁGUA PRÉ-OZONIZAÇÃO EM RELAÇÃO AO TEMPO ; DETERMINAÇÃO DA PRODUÇÃO E RESIDUAL OZÔNIO NA ÁGUA	Potenciômetro; Comparador Aquates ter; Turbidímetro; Termômetro de mercúrio; Aparelho Ensaio de Coagulação-Floculação; Condutivímetro Buretas p/alcalinidade e dureza; Conjunto completo de Geração Ozônio; Conjunto p/ determ. de residual de Ozônio na água Método Iodométrico; Espectrofotômetro; Bureta p/ determ. da Produção de Ozônio - Método Iodométrico
3	APLICAÇÃO DA PRÉ-OZONIZAÇÃO; CONFECCÃO DE CURVAS DE EFICIÊNCIA DE REMOÇÃO DE TURBIDEZ E COR APAR. NAS DIFERENTES VELOCIDADES DE SEDIMENTAÇÃO COM A ÁGUA BRUTA NATURAL E PRÉ-OZONIZADA, PARA OS PARES DE VALORES PRÉ-DETERMINADOS	Potenciômetro; Comparador Aquates ter; Turbidímetro; Termômetro de mercúrio; Aparelho Ensaio de Coagulação-Floculação; Condutivímetro Buretas p/alcalinidade e dureza; Conjunto completo de Geração Ozônio; Espectrofotômetro p/ determ. de residual de Ozônio na água Método Colorimétrico; Bureta p/ det. da Produção e Excesso de Gás Ozônio- Método Iodométrico; Determinação de Metais por Espectrofotômetro de Absorção Atômica - Plasma Induzido de Argônio; Análise Bacteriológica- Método Tubos Múltiplos

4.4 - Produtos Químicos

Os reagentes utilizados na investigação experimental foram preparados com produtos químicos (PA) com alto grau de pureza. A diluição foi efetuada com o emprego de água deionizada. Os produtos químicos e soluções utilizados em cada fase da investigação experimental estão descritos na tabela 4.4.

TABELA 4.4 Produtos Químicos

FASE	FINALIDADE	PRODUTOS QUÍMICOS E CONCENTRAÇÕES DAS SOLUÇÕES
1	Ensaio Coag.-Floc.	Cloreto Férrico ($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$) - 1% ; Ácido Nítrico, 0,1 - 1% ; Ácido Sulfúrico, 0,1 - 1% ; Hidróxido de Sódio, 0,1 - 1% . (PA)
2	Produção e Off Gas (PA)	Solução de Iodeto de Potássio (KI) - 2% ; Padrão Titulante de Tiosulfato de Sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) - 0,025 N ; Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - 1.0 N ; Solução Indicadora de Amido
	Residual de Ozônio Método Iodométrico	Solução de Iodeto de Potássio (KI) - 2% ; Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - 1,0 N ; Padrão Titulante de Tiosulfato de Sódio ($\text{Na}_2\text{S}_2\text{O}_3 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$) - 0,005M; Solução Indicadora de Amido; Iodo Padrão (I_2) - 0,005M.
	Método Colorimétrico	Indigo Trissulfonato ($\text{C}_{16}\text{H}_7\text{N}_2\text{O}_{11}\text{S}_3\text{K}_3$) Ácido Fosfórico (H_3PO_4); Di-Fosfato de Sódio (NaH_2PO_4). (PA)
	Ensaio Coag.- Floc. (PA)	Sulfato Alumínio $\text{Al}_2(\text{SO}_4)_3$ (comercial) - 1% ; Ácido Nítrico, 0,1 - 1% ; Ácido Sulfúrico, 0,1 - 1% Hidróxido de Sódio, 0,1 - 1% .

TABELA 4.4 Produtos Químicos (continuação)

FASE	FINALIDADE	PRODUTOS QUÍMICOS E CONCENTRAÇÕES DAS SOLUÇÕES
3	Produção e Off Gas (PA)	Solução de Iodeto de Potássio - 2% ; Tiosulfato de Sódio - 0,025 N Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - 1,0 N ; Iodo - 0,025N ; Indicador - Solução de Amido.
	Residual de Ozônio Método Iodométrico	Iodeto de Potássio (KI) - 2% ; Ácido Sulfúrico (H_2SO_4) - 1,0 N ; Padrão Titulante de Tiosulfato de Sódio ($Na_2S_2O_3 \cdot 5H_2O$) - 0,005M ; Solução Indicadora de Amido; Iodo Padrão (I_2) - 0,005M.
	Método Colorimétrico	Indigo Trissulfonato ($C_{16}H_7N_2O_{11}S_3K_3$) Ácido Fosfórico (H_3PO_4); Di-Fosfato de Sódio ($Na_2H_2P_2O_7$); Glicina (H_2NCH_2COOH). (PA)
	Ensaio Coag. - Floc. (PA)	Cloreto Férrico ($FeCl_3 \cdot 6H_2O$) - 1% ; Ácido Nítrico, 0,1 - 1% (PA); Ácido Sulfúrico, 0,1 - 1% (PA); Hidróxido de Sódio, 0,1 - 1% (PA).

Convém ressaltar que todas as vidrarias e recipientes utilizados na preparação dos reagentes e na realização dos ensaios, foram lavados com ácido muriático, água tratada, posteriormente enxaguados com água destilada e água deionizada e, finalmente, com a água de estudo.

4.5 - FASE I : Ensaio de Coagulação - Floculação

4.5.1 - Confeccão do Diagrama de Coagulação

4.5.1.1) Considerações Iniciais

Inicialmente, para a água de estudo, foram obtidos os dados relativos à coagulação realizados na estação de tratamento de água. Em função destes dados, foram efetuados ensaios de coagulação - floculação e sedimentação e, para se obter os diagramas semelhantes à fig. 3.15.

Nesta primeira etapa, foram efetuados ensaios com a água de estudo, determinando-se primeiramente, pH, temperatura, alcalinidade, dureza, condutividade, cor aparente e turbidez. Em seguida, foram realizados os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, variando-se as dosagens de coagulante primário (cloreto férrico) em cada reator, com tempos de mistura rápida, floculação e sedimentação pré-determinados. Após cada ensaio, foram efetuadas as leituras de pH de coagulação e de cor aparente e turbidez remanescentes das amostras coletadas nos frascos.

Na primeira fase do desenvolvimento do diagrama de coagulação para a água bruta natural, utilizou-se de um único tempo de floculação e de uma única velocidade de sedimentação.

Essa parte do trabalho está fundamentada em pesquisas desenvolvidas na EESC-USP, onde o diagrama de eficiência está sendo utilizado com sucesso para a definição da dosagem ótima de coagulante Di Bernardo (1987).

A metodologia empregada para a realização dos ensaios foi a seguinte:

1ª Fase - Água Bruta Natural

- (1) Coagulante Primário: Cloreto Férrico
($\text{FeCl}_3 \cdot 6\text{H}_2\text{O}$); Concentração: 1% ;

- (ii) Mistura Rápida: $G = 100 \text{ s}^{-1}$; $t = 3 \text{ min}$;
- (iii) Floculação : $G = 20 \text{ s}^{-1}$; $t_f = 30 \text{ min}$;
- (iv) Sedimentação : $V_s = 1 \text{ cm/min}$.

4.5.1.2) Caracterização da Água Bruta

Para a execução dos ensaios, com o objetivo de construir o diagrama de coagulação, houve a necessidade da caracterização inicial da água de estudo. Assim sendo, foram tomados por base os dados registrados anteriormente pela estação de tratamento com o fim de medir a turbidez, cor aparente e pH.

De posse dos dados, pode-se então, determinar as faixas de dosagem de coagulante e de variação do pH, para se trabalhar com a água de estudo.

As dosagens de cloreto férrico e a faixa de variação do pH identificados no presente trabalho e, que foram utilizadas nas baterias de ensaio de floculação, nesta primeira fase, foram fixadas em:

- Concentração de Cloreto Férrico: 1%;
- Dosagem de Cloreto Férrico (baterias) mg/l:
 - a) 5,0 - 7,5 - 10,0 - 12,5 - 15,0 - 17,5;
 - b) 20,0 - 22,5 - 25,0 - 27,5 - 30,0 - 32,5;
 - c) 35,0 - 40,0 - 45,0 - 50,0 - 55,0 - 60,0;
- Faixa de variação do pH, antes da adição do coagulante primário: 3,5 à 10,0.

Com a finalidade de se atingir as faixas determinadas do pH, foram efetuadas correções do pH da água a ser estudada, antes da adição do coagulante.

4.5.1.3) Procedimento do Trabalho

A água bruta foi coletada dos reservatórios de armazenamento após a homogeneização com bomba submersa, para a execução dos ensaios. Primeiramente, foram obtidos dados de pH, temperatura, cor aparente, turbidez, alcalinidade, dureza e condutividade.

Com base em trabalhos de Amirtharajah (1987 b) e Morris e Knocke (1984), foi efetuada a correção da temperatura da água bruta natural para 25°C, antes do início de cada ensaio de coagulação, floculação e sedimentação, através de aquecimento ou resfriamento em banho-maria, de modo que as características da água não fossem alteradas.

O acidulante ou o alcalinizante foi adicionado, no mesmo recipiente em que foi coletada, resfriada ou aquecida, com a finalidade de se obter o valor de pH de trabalho desejado; em seguida, foi tomado um volume de dois litros da água bruta natural em cada um dos seis reatores, com descarte do excedente.

O gradiente de velocidade foi ajustado para a mistura rápida no valor de 100 s^{-1} (máximo permitido pelo aparelho para se operar com segurança), com a adição de coagulante, na dosagem desejada, realizada ao mesmo tempo em todos os reatores, no mesmo instante em que o cronômetro era disparado. Após 3 min., a rotação do aparelho foi reduzida gradualmente até a um gradiente de velocidade da ordem de 20 s^{-1} , por um período de 30 minutos, paralisando -se então o movimento das paletas de agitação, após o término do período de floculação.

Após a sedimentação dos flocos, que ocorreu numa velocidade de 1cm/min (altura de coleta de 7 cm e tempo de sedimentação igual a 7 min), foram coletadas, ao mesmo tempo, amostras dos seis reatores para as leituras de pH de coagulação, turbidez e cor aparente.

4.5.1.4) Seleção dos Pontos Ótimos de Coagulação - Floculação

Neste trabalho, foram considerados como dosagem ótima e pH ótimo de coagulação, os pares de valores que forneceram menor valor de turbidez ou cor aparente remanescente nos ensaios.

Sabe-se que há três regiões em que a coagulação eficiente pode ocorrer: adsorção-desestabilização, varredura e a combinação destes. A metodologia proposta nesta fase englobou a construção de um diagrama como proposto por Johnson e Amirtharajah (1983), em que se tem, em ordenadas, os valores da dosagem de coagulante aplicada e, em abcissas, os valores de pH em que a coagulação foi realizada. Para cada dosagem e pH resultante, foi obtido um ponto que representa a cor aparente ou turbidez remanescente, expressado em porcentagem do valor inicial, que foi sendo lançado em gráfico, o que permitiu a construção de várias curvas de eficiência. Nestas, foram escolhidos os pares de valores que apresentaram maior eficiência de remoção.

Identificados estes pares de valores (dosagem de coagulante * pH de coagulação) no diagrama de coagulação, foram obtidos os pontos ótimos, os quais posteriormente, foram utilizados nos ensaios da fase experimental III, para as águas bruta natural e bruta pré-ozonizada.

4.6 - FASE II: Ensaios Preliminares à Pré-Ozonização

4.6.1 - Considerações Iniciais

Nessa fase foram efetuados vários ensaios preliminares de ozonização da água bruta, coletada na calha de entrada da estação de tratamento, com a finalidade de se

estudar o comportamento da água bruta sob pré-tratamento com ozônio. Os parâmetros de controle desses ensaios foram: (a) produção do gás ozônio; (b) tempo de aplicação do ozônio na câmara de contato; (c) aplicabilidade dos métodos de determinação do residual de ozônio para essa água (fase gasosa e no meio líquido).

4.6.2 - Metodologia para Determinação do Ozônio na Fase Gasosa

4.6.2.1) Determinação da Produção

O método adotado para determinação da produção de ozônio foi o Iodométrico (Standard Method, 1985). É um método não seletivo, podendo reagir com outros oxidantes além do ozônio. O valor obtido da produção tem como finalidade se conhecer a dosagem de ozônio aplicada (em função do tempo) na câmara de contato.

Procedimento:

1º - Na coluna de Produção, foi adicionado um volume de 2,0 litros da solução de Iodeto de Potássio (2%). Após pré-aquecimento do aparelho gerador de ozônio e, depois de se certificar que os níveis hidráulicos das colunas de destruição de ozônio, de produção e de off-gas estavam em equilíbrio, o gás ozônio foi transferido do queimador para a coluna de produção (de acrílico), deixando-o borbulhar por um tempo pré-definido (cerca de dois minutos).

2º - Após este período, foi coletada uma amostra de 200 ml, fixada com uma solução de ácido sulfúrico e protegida contra a incidência da luz ambiente.

3º - A amostra foi titulada com uma solução de

tiosulfato de sódio (0,025 N) até a mesma adquirir uma cor amarelo palha, adicionando-se, então, duas gotas (aproximadamente 2 ml) do indicador de amido, tornando-se de coloração azulada e a titulação foi completada até a amostra tornar-se incolor, sendo o volume de tiosulfato anotado;

4º - Cálculo da produção de ozônio ($\text{g O}_3/\text{h}$):

$$P = (N_T * \Delta V_T * F_c * 24000 * 2 * 60) / (Vol * 1000 * T)$$

$$\therefore P = (N_T * \Delta V_T * F_c * 2880) / (Vol * T) \quad (4.1)$$

onde:

N_T - Normalidade do Tiosulfato de Sódio, 0,025N;

ΔV_T - $V_f - V_b$;

V_f - Volume de Tiosulfato consumido na titulação da amostra (ml);

V_b - Volume de Tiosulfato consumido na titulação do branco (ml);

F_c - Fator de correção do tiosulfato;

Vol - Volume de amostra coletada para a titulação, (200ml);

T - Tempo cronometrado durante a produção de ozônio (min).

5º Cálculo da dosagem de Ozônio aplicado na Câmara de Contato:

$$O_A = P * 1000 * T / V_r * 60$$

$$\therefore O_A = 100 * P * T / V_r * 6 \quad (4.2)$$

em que:

P = Produção de ozônio (g/h);

T = Tempo de Aplicação de Ozônio na Câmara de Contato (min.);

V_r = Volume da Câmara (m^3).

4.6.2.2) Determinação do Excesso de Gás Ozônio, "Off - Gas"

A determinação do excesso de gás ozônio, procedente da câmara de contato, foi efetuada pelo mesmo processo que a produção. O seu valor depende do tempo de aplicação de ozônio na câmara de contato.

Procedimento:

Obs: As fases 1, 2 e 3, são semelhantes ao método de determinação de produção de ozônio (item 4.6.2.1), com alteração no volume de solução de iodeto de potássio, de 1,52 litros.

4º - Cálculo do Excesso de Gás ($\text{g O}_3/\text{h}$):

$$\text{OFF} = (N_T * \Delta V_T * F_c * 24000 * 1,52 * 60) / (\text{Vol} * 1000 * T)$$

∴

$$\text{OFF} = (N_T * \Delta V_T * F_c * 2189) / (\text{Vol} * T) \quad (4.3)$$

em que:

- N_T - Normalidade do Tiosulfato de Sódio, 0,025N;
- ΔV_T - $V_f - V_b$;
- V_f - Volume de Tiosulfato consumido na titulação da amostra (ml);
- V_b - Volume de Tiosulfato consumido na titulação do branco (ml);
- F_c - Fator de correção do tiosulfato;
- Vol - Volume de amostra coletada para a titulação, (200ml);
- T - Tempo cronometrado durante a aplicação de ozônio (min.).

5º Cálculo da Dosagem do Ozônio liberado pela Câmara de Contato (mg/D), OFF:

$$OFF_l = OFF * 1000 * T / V_r * 60$$

$$\therefore OFF_l = OFF * 100 * T / V_r * 6 \quad (4.4)$$

em que:

OFF = Off Gas (g/h);

T = Tempo de Aplicação de Ozônio no Reator de Contato (min.);

V_r = Volume da Câmara (m³).

4.6.3. - Estudo do comportamento da água bruta pré-ozonizada, controlada com ensaios de floculação em função do tempo.

4.6.3.1) Considerações Iniciais

Foi estabelecido um plano de estudo para verificação do comportamento da água do Rio Piracicaba em função da pré-ozonização: (a) câmara de contato em batelada; (b) câmara em fluxo contínuo; (c) dosagem de ozônio aplicado, em função da produção, alterando-se a voltagem, a pressão na célula ozonizadora e a porcentagem de vazão de gás oxigênio.

Simultaneamente aos estudos da produção de ozônio, foram efetuados ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com água bruta natural e a pré-ozonizada nas condições dos itens (a) e (b). Foi utilizado o sulfato de alumínio comercial como coagulante primário.

Durante a realização dos testes preliminares foram realizadas adaptações na câmara de contato, para se obter maior eficiência em fluxo contínuo, pois foi projetada para operar em batelada. Foi conectada uma

tubulação de 25,4 mm de diâmetro, conforme figura 4.20, para a câmara poder ser operada sob pressão atmosférica. Em função desta adaptação, foi necessário o remanejamento da placa difusora de ozônio para uma altura, superior à instalação original, devida a localização da tubulação de saída da água bruta pré-ozonizada da câmara estar localizada muito próxima da placa, provocando a perda de parcela do gás ozônio.

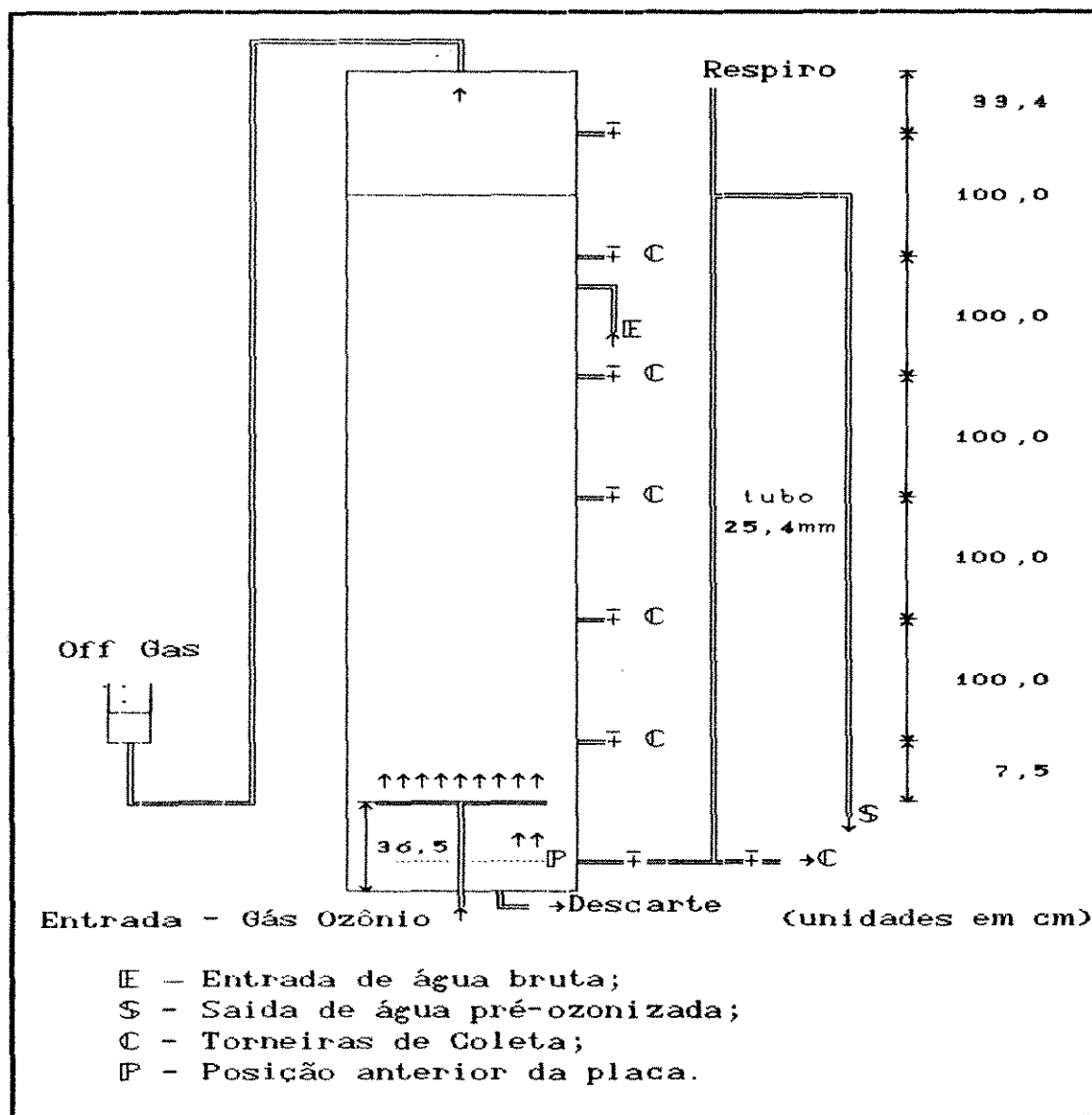


FIGURA 4.20 - Esquema das Adaptações Efetuadas na Câmara de Contato.

No desenvolvimento desta fase, os reatores utilizados para a realização dos ensaios de coagulação, floculação, foram modificados conforme fotografia da figura 4.21 e esquema da figura 4.22, para facilitar a tomada das amostras, pois, como ilustrado na figura 4.23, não era possível coleta simultânea de amostras; além disso, a alteração permitiu a realização de um número maior de ensaios, para diferentes tempos de floculação e de sedimentação, com uma mesma dosagem de coagulante e pH de coagulação.

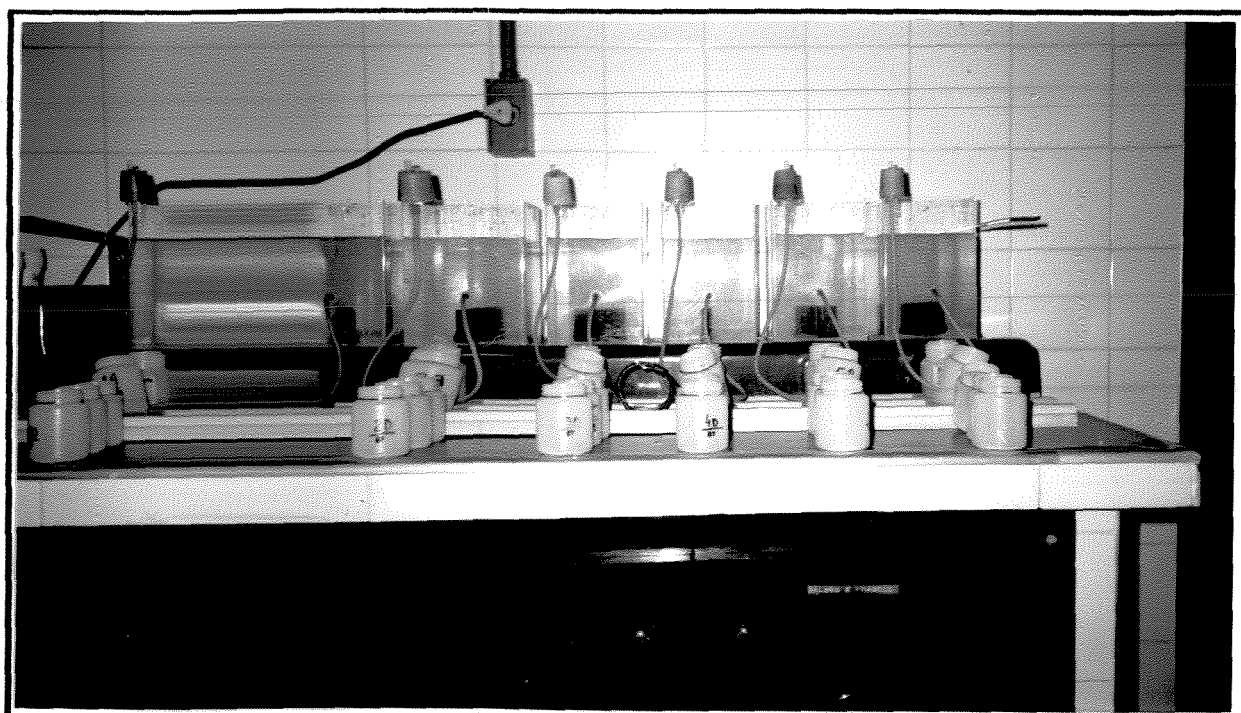
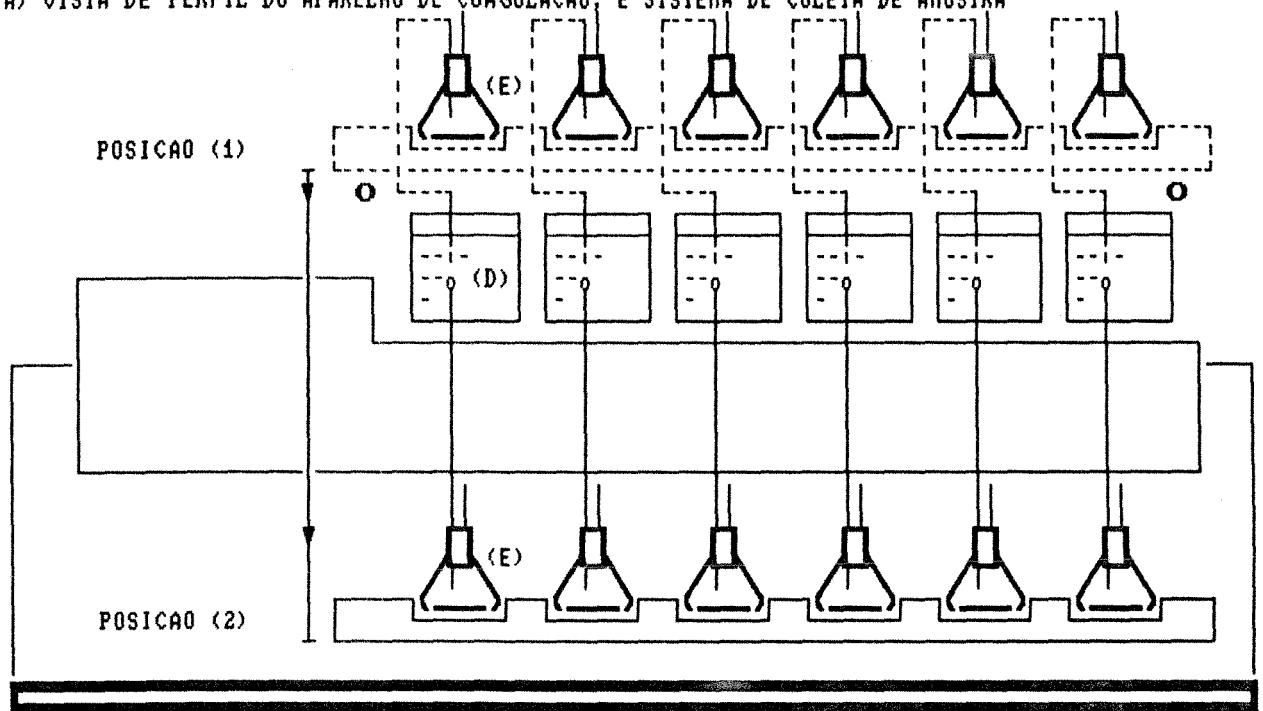
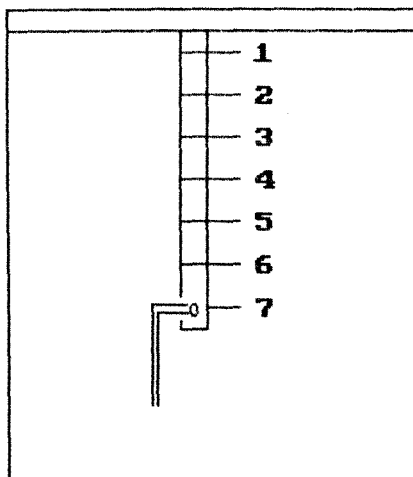
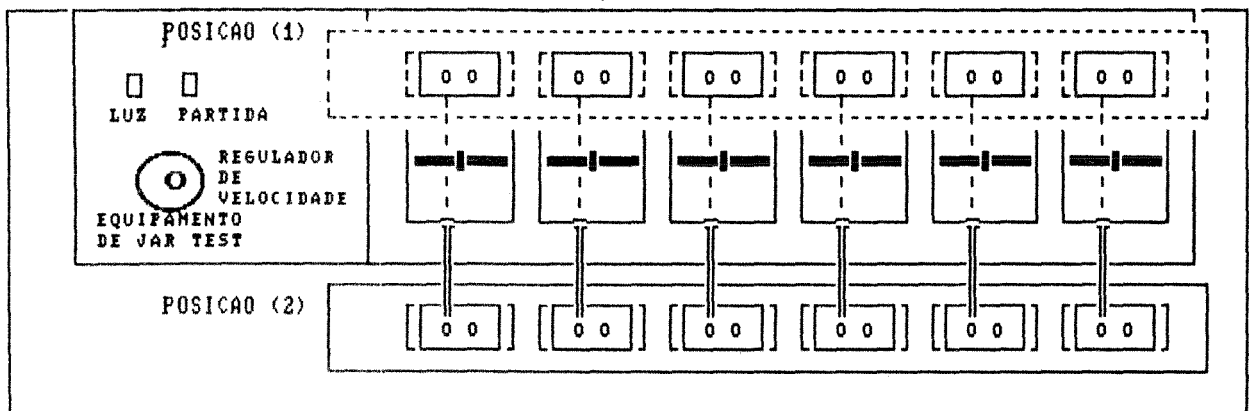


FIGURA 4.21 - Fotografia do Novo Sistema de Coleta de Amostras.

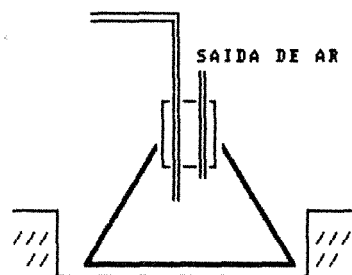
(A) VISTA DE PERFIL DO APARELHO DE COAGULAÇÃO, E SISTEMA DE COLETA DE AMOSTRA



(B) VISTA EM PLANTA, DO APARELHO DE COAGULAÇÃO, E SISTEMA DE COLETA DE AMOSTRAS



(D) FRASCO PARA ENSAIO DE COAGULAÇÃO



(E) FRASCO DE COLETA DE AMOSTRA

FIGURA 4.22 - Esquema das Alterações Realizadas nos Reatores de Ensaio de Floculação.



FIGURA 4.23 - Fotografia do Antigo Sistema de Coleta de Amostras.

4.6.3.2) Metodologia dos Ensaio Preliminares de Floculação

Entre a primeira e última fase da investigação experimental, existiu uma preocupação de desenvolver um procedimento de ensaios e análises que pudessem ser repetitivos, dentro das normas e padrões que servem de fundamento para a realização e desenvolvimento da pesquisa.

Neste período de estudos, por questões econômicas, os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram realizados utilizando o sulfato de alumínio como cogulante primário na sua forma comercial, disponível na estação de tratamento, deixando-se o uso de Cloreto Férrico P.A. para as fases efetivas de aplicação da pesquisa.

Nesta etapa, foram realizados vários ensaios de

coagulação, floculação e sedimentação no aparelho modificado, estabelecendo na última fase experimental (pré-ozonização), para cada dosagem de coagulante, a realização dos ensaios com seis diferentes tempos de floculação, efetuando-se a coleta de amostras em quatro diferentes valores de velocidades de sedimentação para um mesmo tempo de floculação, conforme mostra a tabela 4.5. O gradiente e o tempo da mistura rápida foram fixos.

TABELA 4.5 Tempos de Floculação*Velocidade de Sedimentação

Dos. Coagulante: Constante (mg/l)		Mistura Rápida: $T=3 \text{ min}$ $G=100 \text{ s}^{-1}$	
TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	TEMPO DE SEDIMENTAÇÃO (min.)	VELOCIDADE DE SEDIMENTAÇÃO (cm/min.)	
5,0	1,0	6,7	
	2,0	3,1	
	3,5	1,6	
	7,0	0,8	
10,0	1,0	6,7	
	2,0	3,1	
	3,5	1,6	
	7,0	0,8	
15,0	1,0	6,7	
	2,0	3,1	
	3,5	1,6	
	7,0	0,8	
20,0	1,0	6,7	
	2,0	3,1	
	3,5	1,6	
	7,0	0,8	
25,0	1,0	6,7	
	2,0	3,1	
	3,5	1,6	
	7,0	0,8	
30,0	1,0	6,7	
	2,0	3,1	
	3,5	1,6	
	7,0	0,8	

Posteriormente, foi estudado o comportamento da água bruta pré-ozonizada em relação à água bruta natural para cada dosagem de ozônio aplicada, através de ensaios de coagulação - floculação, nas mesmas condições dos ensaios realizados com a água bruta natural.

Os ensaios de coagulação - floculação tiveram o seguinte procedimento: (a) coleta e medida de pH, turbidez, cor aparente e alcalinidade da água bruta; (b) ensaios de pré-ozonização; (c) ensaios de coagulação - floculação com as águas bruta natural e pré-ozonizada; (d) medidas de pH de coagulação, turbidez e cor aparente para as amostras coletadas.

O fluxograma da figura 4.24 mostra os diversos tipos de ensaios de coagulação - floculação realizados.

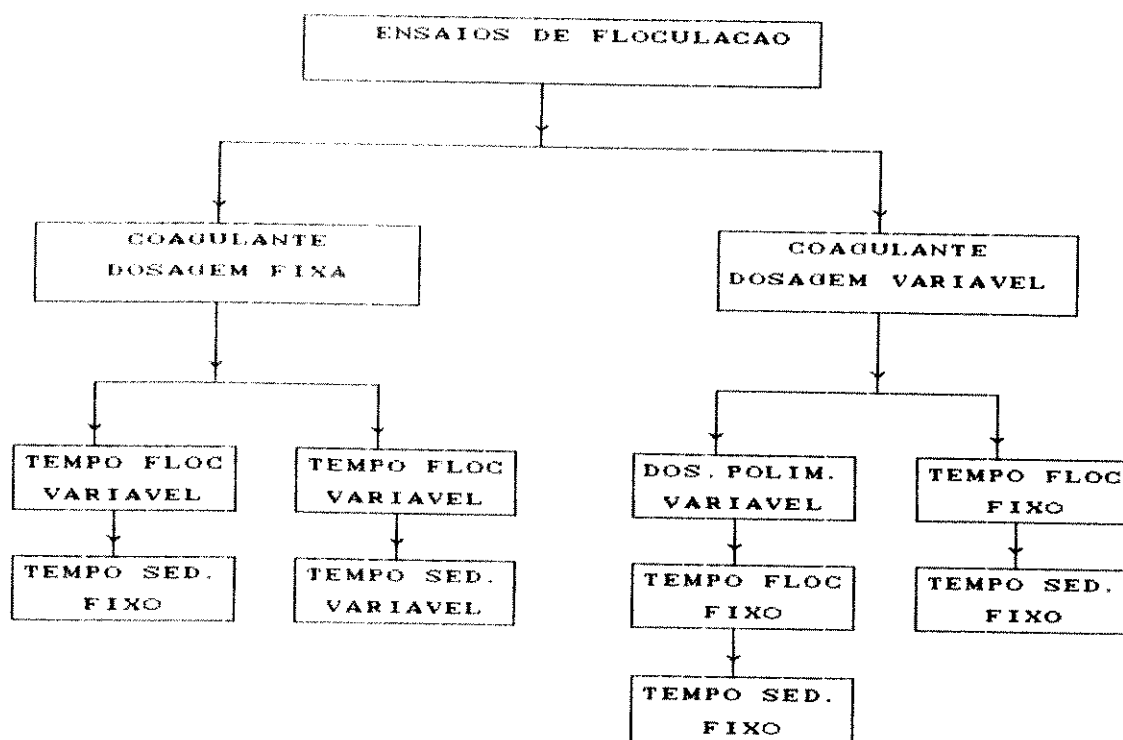


FIGURA 4.24 - Fluxograma dos Vários Tipos de Ensaios de Floculação Realizados.

Nesta etapa também foi determinado, através de ensaios de coagulação -floculação, o tempo máximo que a água pré-ozonizada contida na câmara de contato mantinha as mesmas características, efetuando-se coletas de amostras num período de 25 horas, a contar do momento do término da ozonização da água bruta contida na câmara de contato. Este procedimento permitiu a comparação dos resultados de cor aparente e turbidez remanescente da água pré-ozonizada decantada coletada imediatamente após a ozonização, com os obtidos nos ensaios posteriores, em que a coleta da água foi realizada em diferentes intervalos de tempo, após a aplicação da pré - ozonização.

Com a realização do experimento, verificou-se que as características da água pré-ozonizada decantada (turbidez e cor aparente remanescentes) apresentaram uma faixa maior de variação após 24 horas da ozonização. Sendo assim, na terceira fase experimental, o período de coleta de água ozonizada para a realização dos ensaios de coagulação-floculação, foi limitado no intervalo compreendido entre 24 horas.

Estes testes preliminares permitiram um melhor conhecimento de toda a unidade piloto de pré-ozonização e do equipamento de floculação modificado.

4.6.4 - Metodologia para Determinação de Ozônio na Fase Líquida:

Para a determinação do ozônio na fase líquida dispunha-se de dos métodos: (a) Método Iodométrico, ou dos frascos lavadores, descrito no Standard Method for Examination of Water and Wastewater, até a sua décima sexta edição (1985); (b) Método Colorimétrico, recomendado pelo Comitê de Padronização Europeu (1987), e aprovado pela Associação Internacional de Ozônio, e descrito

no Standard Method for Examination of Water and Wastewater, na sua última edição, décima sétima (1989).

Foi realizado um estudo preliminar do comportamento da água bruta pré-ozonizada no interior da câmara, através da determinação do residual de ozônio na água, para constatação do tempo de permanência e transferência do ozônio no meio líquido, que conforme é citado na literatura pesquisada (Gurol, 1985; Joost et al, 1989; Masschelein, 1988 e Nebel, 1981), é muito curto.

Optou-se primeiramente pelo método iodométrico por ser um processo de determinação do residual de ozônio na água menos oneroso.

Os ensaios de pré - ozonização foram realizados alterando-se as condições de operação do aparelho ozonizador, com determinações dos maiores tempos de permanência do residual de ozônio na água, através do método iodométrico, obtendo-se desta maneira, a melhor condição de produção de ozônio a ser adotada na terceira fase experimental.

4.6.4.1) Determinação do Residual de Ozônio na Água - Método Iodométrico.

Os ensaios preliminares para determinação de residual de ozônio na água, foram realizados através do método o iodométrico.

Com a finalidade de se obter resultados confiáveis, as soluções de Tiosulfato de Sódio (0,005 M) e de Iodo (0,005 M) foram diariamente padronizadas, realizando-se também determinações de possíveis interferentes na solução de iodeto de potássio, conforme citado no Standard Method (1985).

Os ensaios de determinação do residual de ozônio

na água, foram iniciados com a câmara de contato em fluxo contínuo. A vazão inicial da água bruta, que era de 0,45 l/s (limite da câmara por recomendação do fabricante), foi diminuída para 0,14 l/s (para se obter maior tempo de detenção da água na câmara).

Foram efetuados testes variando-se a produção de ozônio de um valor mínimo para um máximo. Através destes testes, verificou-se que mesmo tendo o valor da produção de ozônio sensivelmente aumentado, os resultados não foram satisfatórios pois, embora a câmara de contato tivesse sido alterada, não foi suficientemente estruturada para operar em fluxo contínuo.

O passo seguinte foi operar a câmara de contato em batelada, sistema escolhido para a execução da última fase experimental.

Estes ensaios foram realizados com a finalidade de se definir um valor coerente para a produção de ozônio, observar a homogeneidade da distribuição do ozônio ao longo da câmara e o período de permanência do residual de ozônio na água. Para o estudo dos dois últimos itens, foram escolhidos tres pontos de coletas ao longo da câmara, de tal maneira a se obter o primeiro ponto próximo à placa de difusão do gás, o segundo intermediário e o último, no ponto mais distante da aplicação, conforme figura 4.25:

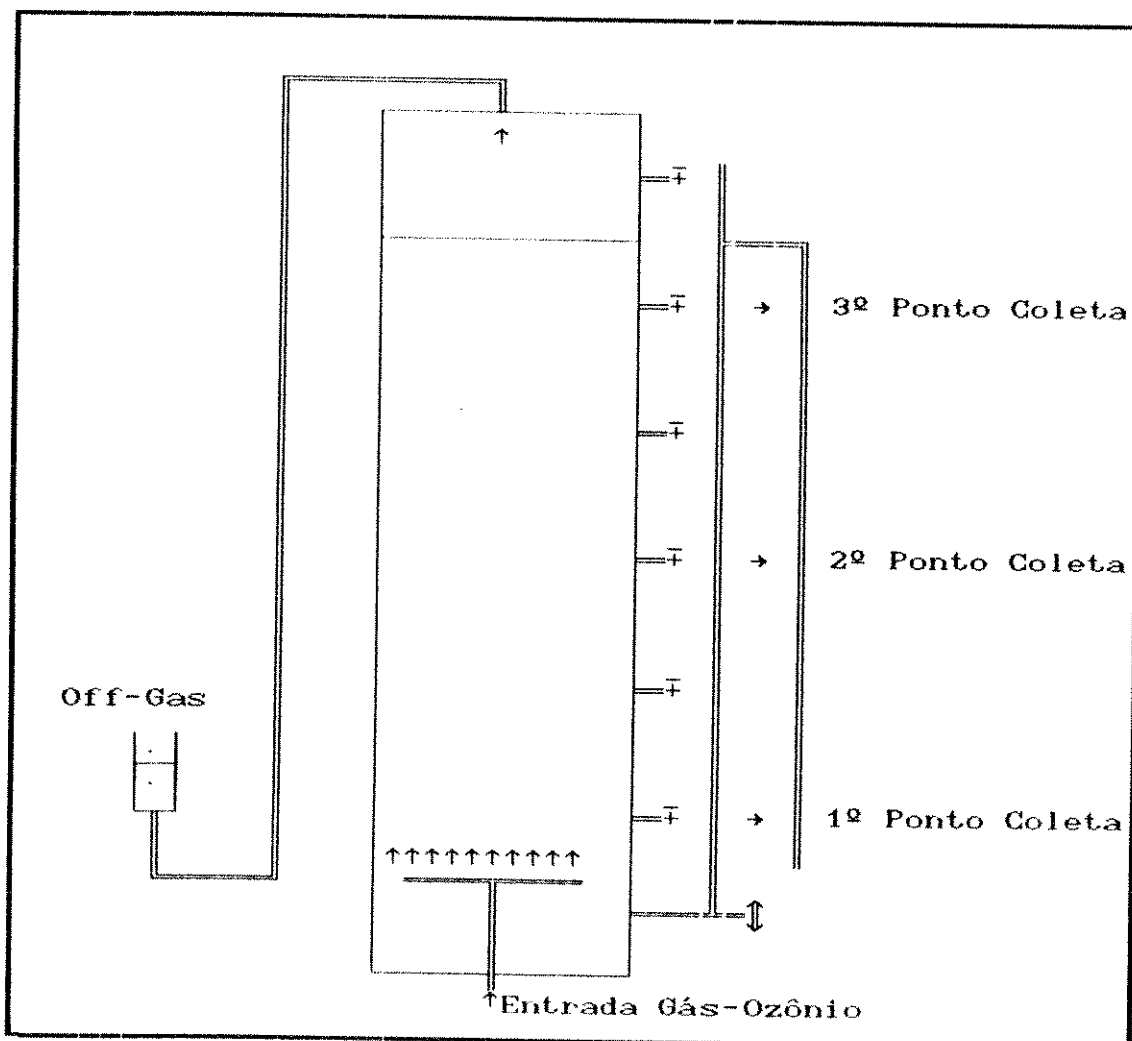


FIGURA 4.25 - Pontos de Coleta de Amostras de Residual de Ozônio na Câmara de Contato.

Para cada ponto de coleta escolhido, foram realizados ensaios de ozonização com diferentes tempos de contato e coletadas amostras para a determinação do residual. As coletas, após cada ensaio de ozonização, foram realizadas até que o residual de ozônio na água se apresentasse nulo.

Observações:

(a) Considerou-se coleta imediata, quando a tomada da amostra era iniciada 15 s antes do término da ozonização. O tempo inicial foi adotado como nulo ($t_0 = \text{zero}$).

(b) Conforme recomendação do Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 1985, o tempo de passagem do ar nos frascos lavadores deve estar entre 5 a 10 min.; foi adotado tempo de 10 min., portanto, a variação entre os tempos de coletas de amostras foram superiores a 10min.

(c) Devida as condições de análise disponíveis foi necessário a realização de ensaios individuais de ozonização para cada ponto de coleta, tendo sido coletadas amostras de água bruta natural antes da realização de cada ensaio de pré-ozonização para a sua caracterização.

(d) Foram efetuadas tomadas de amostras de água ozonizada, e realizados ensaios nos frascos lavadores até que o residual apresentado fosse nulo.

À medida que os ensaios foram se sucedendo, notou-se que o residual de ozônio permanecia por um curto espaço de tempo na câmara de contato. A busca de uma dosagem adequada de aplicação do ozônio levou à realização de uma série de ensaios de produção e determinação do residual na água. Na tentativa de se conseguir um maior tempo de permanência do residual de ozônio na água, a produção foi obtida no limite máximo do aparelho, operação posteriormente descartada em virtude de não ser aconselhável a operação do aparelho nessa condição, conforme citado por Masschelein (1988).

Desta maneira, a fase final dos ensaios preliminares de pré-ozonização foram realizados à uma produção máxima e constante, restringindo-se a margem de segurança, na escolha dos pontos, para evitar erros de

precisão ou exatidão nas dosagens limites do gerador de ozônio. Foram adotados os seguintes parâmetros:

(a) Pressão de Saída no Cilindro de Oxigênio:

$$P_s = 2 \text{ kg/cm}^2$$

(b) Porcentagem de Vazão Máxima de O_2 :

$$Q = 80 \%$$

(c) Pressão do gás no aparelho Ozonizador:

$$P_g = 0,7 \text{ kg/cm}^2$$

(d) Vazão Média de O_2 , conforme gráfico de Wallace e Tiernan:

$$Q_{WT} = 479,8 \text{ NL/h}$$

(e) Voltagem:

$$V = 230 \text{ v}$$

(f) Porcentagem de Voltagem:

$$V_p = 85 \%$$

(g) Volume da câmara de contato:

$$U_r = 211,3 \text{ l}$$

(h) Produção de Ozônio:

$$P_o = 10,36 \text{ g/h}$$

(i) Concentração de Ozônio por litro de Oxigênio:

$$C_o = 21,6 \text{ mg } O_3 / l O_2$$

Fixados os parâmetros da produção em que se encontrou maior tempo de permanência do residual de ozônio na água, os ensaios para determinação do residual foram realizados variando-se apenas o tempo de aplicação e, consequentemente, da dosagem de ozônio aplicado para estudo dos melhores tempos de aplicação de ozônio.

4.6.4.2) Determinação do Residual de Ozônio na Água, através do Método Colorimétrico (Indigo - Trisulfonato Método - B)

Encerrando os ensaios preliminares que definem o comportamento da água do rio Piracicaba perante a ozonização, foram realizados ensaios de ozonização para determinação do residual na água através do método colorimétrico com a finalidade de se comparar com os resultados obtidos através do método iodométrico.

Antes de se iniciar os ensaios, houve necessidade da determinação das regiões de influência na câmara de contato, para coletar volumes de amostras compatíveis em cada um dos pontos de tomada, conforme ilustrado na figura 4.26.

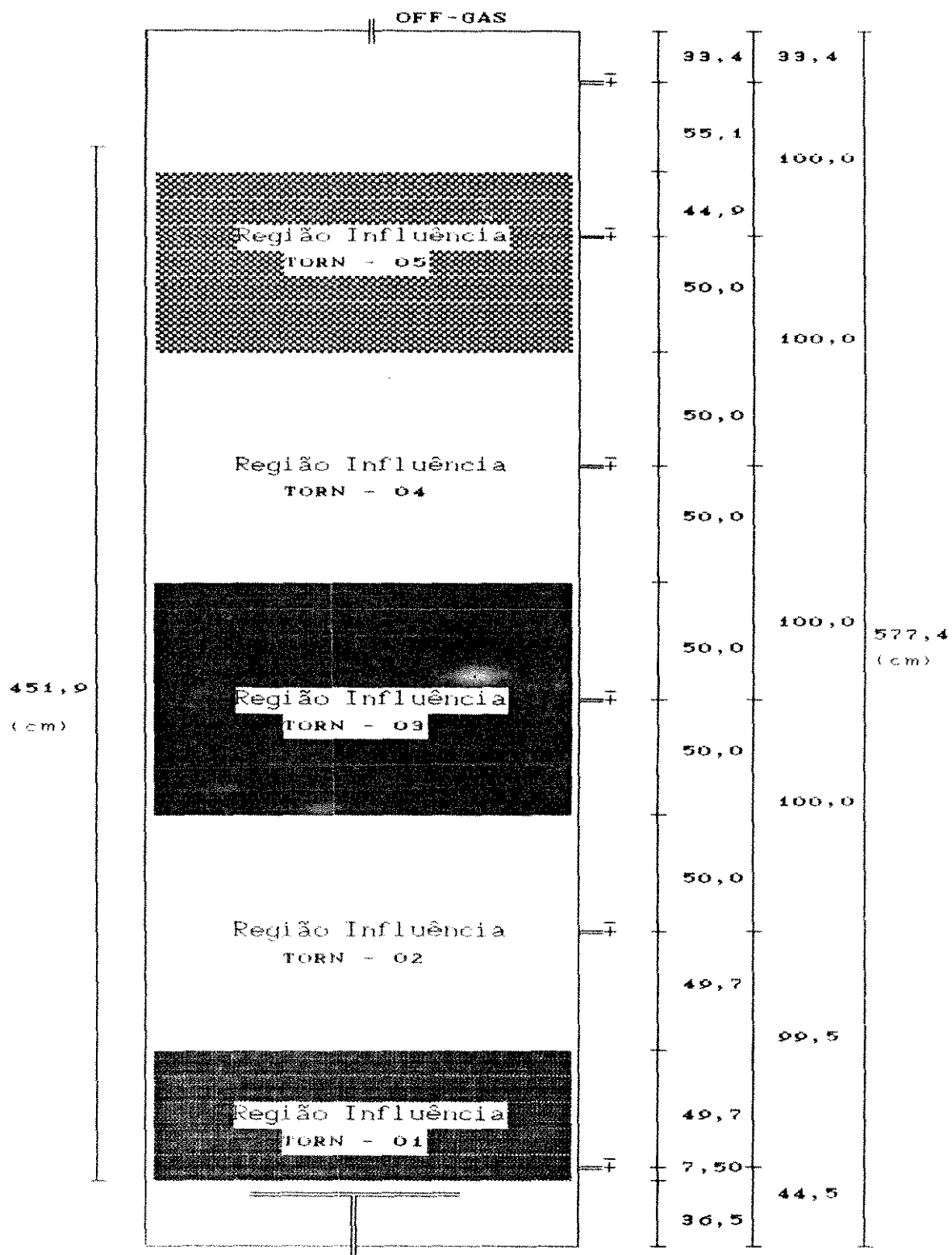


FIGURA 4.26 - Região de influência de cada torneira de coleta na câmara de contato.

a) Determinação do volume total na câmara de contato em função das regiões de influência

a.1) Cálculo do volume total de água na câmara de contato:

$$V(\text{TOTAL}) = V_1 + V_2 + V_3 + V_4 + V_5$$

$$V(\text{TOTAL}) = 26,77 + 46,64 + 46,76 + 46,76 + 44,36$$

$$V(\text{TOTAL}) = 211,29 \text{ l}$$

a.2) Cálculo dos fatores de multiplicação:

a.2.1) Para a torneira 01:

$$F_1 = V_1 / V_T$$

$$F_1 = 0,127$$

a.2.2) Para a torneira 02: $F_2 = V_2 / V_T$

$$F_2 = 0,221$$

a.2.3) Para a torneira 03 e 04: $F_i = V_i / V_T$

$$F_i = 0,221$$

a.2.4) Para a torneira 05: $F_5 = V_5 / V_T$

$$F_5 = 0,210$$

b) Determinação do residual de ozônio em amostras individuais e compostas, coletadas nas torneiras da câmara de contato.

b.1) Reagentes

Os produtos químicos utilizados neste estudo são citados na Tabela 4.4. Todos os reagentes foram preparados de acordo com o Comitê Europeu (1987).

b.2) Procedimento da coleta de amostras:

O procedimento do método determina primeiramente que seja introduzido 10 ml de solução reagente diluída de índigo trissulfonato em frascos volumétricos de 100 ml e completados com 90 ml da amostra a ser analisada.

b.2.1) Amostras individuais:

Primeiramente, todos os frascos de coleta foram demarcados para o volume total e, em seguida, foi adicionado um volume de 10 ml de solução índigo trissulfonato em cada frasco; o volume restante foi preenchido com a amostra da água ozonizada, coletada em cada uma das torneiras da câmara de contato, imediatamente após o término da ozonização.

O fator da região de influência de cada torneira foi utilizado no cálculo do residual médio de ozônio na água.

b.2.2) Amostra Composta:

Para a amostragem composta, cada frasco teve seu volume demarcado em função do fator calculado devida as regiões de influência para cada torneira, totalizando 90 ml de volume de água ozonizada. O volume coletado em cada torneira foi:

$$V_1 = 11,43 \text{ ml} - \text{torneira 1}$$

$$V_2 = V_3 = V_4 = 19,89 \text{ ml} - \text{torneiras 2, 3 e 4}$$

$$V_5 = 18,9 \text{ ml} - \text{torneira 5}$$

Cada um destes volumes, após a coleta, foi imediatamente adicionado em um erlenmeyer, contendo 10 ml de solução diluída de índigo trissulfonato.

b.3) Determinação do residual de ozônio na água:

Para a determinação do residual de ozônio na água foi utilizado o método B, recomendado pela Associação Internacional de Ozonização e pela Comissão Européia de Padronização (1987), sendo diretamente aplicado no intervalo de 0,06 a 0,6 mg/l de ozônio.

Utilizando-se de um espectrofotômetro, no comprimento de onda de 600 nm, foram realizadas leituras de absorvância das amostras e do branco (contendo água livre de ozônio, água deionizada e solução indigo, no mesmo volume citado). Segundo o método, a leitura deve ser efetuada utilizando célula de 40 a 50 mm, mas como o aparelho disponível dispunha de célula com caminho óptico de 10 mm, foi adaptado para confirmação das leituras obtidas, uma outra célula de 30 mm, onde se verificou a possibilidade de serem utilizadas células com diferentes caminhos ópticos, uma vez que os resultados finais obtidos foram bem semelhantes.

Nos dois primeiros ensaios realizados, o espectrofotômetro foi zerado com a solução branco de indigo trissulfonato. A leitura da absorvância das amostras da água ozonizada foi direta. Nos últimos três ensaios, para testar o comportamento de leitura, o aparelho, foi zerado a partir da água deionizada (sem a solução de indigo), sendo que, para o cálculo do Δ de absorção (diferença em absorvância entre o branco e a amostra), fez-se também a leitura do branco (indigo mais água deionizada).

Para as amostras individuais, foram realizadas as leituras de cada uma delas e calculada cada concentração do residual, multiplicando-se o valor pelo fator da região de influência em que foi coletada cada amostra. O resultado final foi obtido pela concentração média das amostras.

A concentração da amostra composta foi obtida com o uso direto da fórmula citada no método.

Diante dos resultados, foi adotada para a fase final do trabalho experimental, a coleta individual de amostras, uma vez que na composta existe a possibilidade de perdas do gás na transferência das amostras para o erlnmeyer.

4.7 - FASE III: Aplicação da Pré-Ozonização

4.7.1 - Considerações Iniciais

A eficiência da pré-ozonização pode ser medida através da análises de dados anteriores e se relacionar a quantidade de ozônio necessária para oxidar os metais presentes em determinado tempo de contato. Pode-se esperar que a ozonização não se aplique sómente aos metais e que parcela dele também vá oxidar parte da matéria orgânica presente na amostra da unidade piloto.

Outro parâmetro importante é a variação da dosagem de cloreto férrico, que pode apresentar uma redução devida à oxidação através do ozônio, da matéria orgânica e inorgânica presentes na água bruta, comparando-se com a água bruta natural, antes da aplicação da pré-ozonização.

4.7.2 - Procedimento

4.7.2.1) Aplicação da Pré-Ozonização

Nesta fase do trabalho, a água bruta natural foi pré-ozonizada, com a câmara de contato operando em sistema estático.

Após estudos dos resultados dos ensaios preliminares realizados na segunda fase do trabalho experimental, na busca de uma dosagem adequada de aplicação de ozônio e, na tentativa de se conseguir um maior tempo de permanência do residual de ozônio na água, optou-se para a realização da produção no limite máximo do aparelho, restringindo-se à margem de segurança (80%) na escolha dos pontos, procedimento este, que segundo Masschelein (1988), serve para evitar erros de precisão ou

exatidão nas dosagens limites do gerador de ozônio. A produção máxima adotada foi constante em todos os ensaios, variando-se apenas o tempo de aplicação de ozônio e, conseqüentemente a dosagem de ozônio aplicada.

Foram adotados os parâmetros mencionados na fase experimental II no item 4.6.4.1, sub-ítem de (a) a (i).

Convém ressaltar que os valores dos sub-ítem (h) e (i) sofreram pequenas alterações devida às possíveis variações de tensão na corrente elétrica que, conforme Masschelein (1988), podem alterar em parte, as condições de operação do aparelho gerador de ozônio.

Os tempos de aplicação de ozônio adotados foram os seguintes:

- 5 ; 7,5; 10 e 15 min;

No início de cada ensaio de ozonização (para um tempo fixado de aplicação de ozônio), a água reservada foi devidamente homogeneizada e transferida para a câmara de contato, através da bomba submersa e de mangueira, num volume total de 211,29 litros.

Com o aparelho ozonizador nas condições de operação desejadas e os níveis hidráulicos das tres colunas em equilíbrio, foi efetuado o seu aquecimento por um período de 15 minutos. Da coluna queimadora, o gás ozônio foi transferido para a coluna de produção. Após dois minutos de borbulhamento, o fluxo do gás ozônio foi conduzido para a câmara de contato e o cronômetro acionado ao mesmo tempo.

Enquanto era aplicado o ozônio na câmara, procedeu-se a tomada de 200 ml de amostra da solução de iodeto da coluna de produção, que foi fixada com uma solução de ácido sulfúrico e o frasco de coleta protegido contra incidência da luz. A determinação da produção foi

realizada através do método iodométrico.

Convém ressaltar que foram tomados todos os cuidados possíveis para evitar fugas do gás, fechando-se todas as torneiras e registros existentes ao longo da câmara. Após o período fixado de aplicação do gás, o mesmo foi transferido para a coluna queimadora e o aparelho desligado, permitindo-se somente a passagem de gás oxigênio e da água de refrigeração por aproximadamente 20 minutos até o resfriamento total do aparelho, fechando-se então a passagem dos mesmos.

Imediatamente após o término da aplicação do ozônio, foi coletado o volume já conhecido da água pré-ozonizada em cada torneira da câmara, em frascos individuais, demarcados, contendo solução índigo, para a determinação do residual de ozônio na água. Em seguida, foi coletada amostra para análise bacteriológica. Convém ressaltar que, por motivos econômicos, só foram possíveis as realizações das análises bacteriológicas das águas bruta natural e bruta pré-ozonizada para cada tempo de aplicação de ozônio.

O excesso de gás ozônio, procedente da câmara de contato, que chega na coluna de excesso ("off gas"), contendo uma solução de iodeto de potássio, foi determinado semelhantemente ao processo da produção. Para a determinação da produção e do "off gas" foi efetuado o teste do branco com a solução de iodeto de potássio conforme descrito no item 4.6.2.1. Convém ressaltar que, após estudos dos métodos, concluiu-se pela necessidade de se utilizar o iodo para o teste do branco, conforme Standard Method for Examination of Water and Wastewater, décima sexta edição, 1985, para garantir uma maior precisão dos dados

A determinação do residual de ozônio foi realizada utilizando-se do método colorimétrico, por se tratar de um método quantitativo, seletivo, simples e, principalmen-

te, por não apresentar tantas interferências como o iodométrico. Sómente após o término dos ensaios da segunda fase teve-se acesso ao mais recente Standard Method for Examination of Water and Wastewater, 17^o edição, 1989, com aplicação num intervalo um pouco inferior ao método anterior, 0,05 a 0,5 mg de ozônio por litro. O método descrito é baseado no mesmo recomendado pela Comissão Européia de Padronização e pela Associação Internacional de Ozônio, com acréscimo do controle de dois tipos de interferentes: o cloro e o manganês. Como a água bruta natural foi coletada anteriormente à qualquer adição de produtos químicos, o controle foi efetuado sómente para o manganês, já que a água do rio Piracicaba possui concentrações expressivas deste componente, utilizando a solução de glicina.

No procedimento das coletas de amostras individuais para a determinação do residual de ozônio na água, foi acrescentado um frasco contendo 0,1 ml de reagente glicina. A coleta foi efetuada imediatamente após o término da ozonização. A tomada da amostra no frasco contendo glicina só foi possível de ser realizada num ponto de coleta devida a grande dificuldade em se encontrar este produto químico e pela pequena quantidade disponível, que foi cedida pela UNIMEP -Santa Bárbara, SP. O local de coleta adotado foi o situado no ponto mais baixo da câmara, logo acima da placa difusora, após estudos da literatura disponível e pela realização de ensaios anteriores que mostraram ser o local de maior concentração de ozônio.

Nas leituras das amostras foi utilizado o espectrofotômetro e a célula de 30mm de comprimento para checagem das leituras efetuadas nas de 10 mm.

Em todos os ensaios realizados, o espectrofotômetro foi zerado com a água deionizada (sem solução índigo). O cálculo do Δ de absorção (diferença em absorvância entre

o branco e a amostra), foi realizado com os dois brancos, a amostra contendo glicina e a contendo água desmineralizada com índigo.

4.7.2.2) Ensaio de Coagulação-Floculação

Para cada condição (tempo de contato * concentração de ozônio) foram realizados ensaios de coagulação com a água bruta natural e pré-ozonizada, utilizando os pares de valores selecionados na primeira etapa da pesquisa a partir do diagrama de eficiência de coagulação-floculação (os pares: dosagem de cloreto férrico * pH de coagulação) para cor aparente e turbidez remanescentes. O procedimento foi otimizado de maneira a se obter, simultaneamente, tempos de floculação e sedimentação variáveis, com a finalidade de se estudar o comportamento da água pré-ozonizada em relação à água bruta natural.

A metodologia empregada para a realização dos ensaios foi a seguinte:

3ª Fase - Água Bruta Natural e Pré-Ozonizada:

- (i) Coagulante Primário: Cloreto Férrico;
- (ii) Concentração do Coagulante : 1% ;
- (iii) Mistura Rápida: $G = 100 \text{ s}^{-1}$; $t = 3 \text{ min}$;
- (iv) Floculação: $G = 20 \text{ s}^{-1}$; t_f : 5; 10; 15; 20; 25; 30 min;
- (iv) Sedimentação:
 V_s : 7; 3,5; 2; 1 cm/min.

Foram determinadas as eficiências de remoção de cor aparente, turbidez nas diferentes velocidades de sedimentação e, metais traços na velocidade de 0,8 cm/min, para a água bruta natural e pré-ozonizada.

a) Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação com a Água Bruta Natural

De posse dos pontos ótimos (dosagem de coagulante * pH de coagulação) obtidos na primeira fase do trabalho, através do diagrama de eficiência de coagulação-floculação, repetiram-se os ensaios com a água bruta natural.

Na realização de cada ensaio de coagulação - floculação, na dosagem de coagulante e pH de coagulação desejados, foi coletado um volume de água bruta reservada, imediatamente após a homogeneização. Simultaneamente, foram coletadas amostras para determinação de pH, cor aparente, turbidez, alcalinidade, dureza, condutividade, metais traços e exame bacteriológico, para posteriormente comparar-se com os resultados da água bruta ozonizada e estudar a eficiência da ozonização.

Antes de cada ensaio, a temperatura da água foi corrigida para 25° C, cuja metodologia já foi descrita no item 4.5.13.

Com o decorrer do tempo, o pH da água bruta natural reservada foi se alterando em relação ao dia da coleta. Desta maneira o pH de coagulação desejado para uma determinada dosagem de coagulante, através dos pontos ótimos obtidos no diagrama, não resultou no valor esperado, havendo então a necessidade de se realizar um ensaio simulado de coagulação- floculação em um dos frascos, para a determinação do volume necessário de acidulante ou alcalinizante para se obter o pH de coagulação desejado à cada dosagem de coagulante.

Em seguida, a água bruta natural foi colocada nos reatores e os volumes excedentes descartados. Foi então, adicionado o volume pré- determinado de acidulante ou alcalinizante. Com isto, iniciava-se a mistura rápida,

no gradiente de 100 s^{-1} , adicionando-se no mesmo instante, a dosagem de coagulante desejada em todos os reatores; momentos antes de se iniciar a floculação, foram coletadas amostras de água coagulada em todos os frascos e obtidos valores de pH de coagulação, turbidez e cor aparente. Com 3 minutos de mistura rápida, o gradiente de velocidade foi reduzido gradualmente até 20 s^{-1} . Após o tempo de floculação pré-determinado em cada frasco, foram coletadas amostras para quatro diferentes velocidades de sedimentação. Para cada amostra coletada, foram efetuadas as leituras de pH de coagulação, turbidez e cor aparente e determinadas as porcentagens remanescentes em função dos valores da água bruta natural.

Por motivos econômicos, não foi possível a análise dos metais traços para os seis diferentes tempos de floculação de cada ensaio, tendo como opção apenas à coleta de uma única amostra, que foi escolhida para o tempo de floculação de trinta minutos, logo após o término da coleta da amostra da última velocidade de sedimentação ($0,8 \text{ cm/min.}$), sendo em seguida, filtrada em filtro de millipore e preservada com $0,2 \text{ ml}$ de ácido nítrico (PA). Desta maneira, para cada ensaio de floculação, foi realizada a análise de metais traços de apenas uma amostra de água decantada.

b) Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação com a Água Pré - Ozonizada

Após cada ensaio de pré-ozonização, foram coletados volumes suficientes da água bruta ozonizada nos vários pontos de tomadas da câmara de contato, representando desta maneira, uma uniformidade de toda a água contida na câmara, para a realização dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, nas dosagens de coagulante e pH

de coagulação pré-determinadas. Conforme resultados obtidos nos testes realizados na fase experimental preliminar, a água bruta ozonizada foi coletada no intervalo compreendido entre 24 horas após a aplicação do ozônio, período este em que as suas características não sofreram grandes alterações.

A metodologia empregada para a realização dos ensaios de coagulação - floculação, bem como a coleta de amostras e análises foi idêntica a utilizada nos ensaios com a água bruta natural.

De posse de todos os resultados pode-se comparar os valores obtidos das análises efetuadas antes a após os ensaios de coagulação - floculação da água bruta natural e pré-ozonizada e, então avaliar a eficiência da ozonização para a água de estudo.

5. RESULTADOS

5.1 - Características da Água de Estudo

A Tabela 5.1 apresenta as características da água bruta coletada para a realização dos experimentos.

TABELA 5.1 Características da Água de Estudo

ÁGUA BRUTA		
Características		
Turbidez	(UT)	11,0
Cor Aparente	(mg/l Pt-Co)	90,0
pH		7,3
Alcalinidade	(mg CaCO ₃ /l)	32,0
Dureza	(mg CaCO ₃ /l)	32,0
Condutância Específica	(μmho/cm)	187,6

5.2 - Fase Experimental I:

Nas Tabelas de número A.1 a A.40, anexas no Apêndice A: "Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação com a Água Bruta Natural", são apresentados os seguintes parâmetros e resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação:

- Turbidez e cor aparente remanescentes em função dos valores iniciais (%);
- Dosagem de cloreto férrico;
- pH de coagulação;
- Tempos de detenção e velocidades de rotação da mistura rápida e floculação;
- Velocidade de sedimentação;
- Características da água bruta natural;

Com os dados contidos nas Tabelas do Apêndice A, foram construídos os diagramas de coagulação - floculação, apresentados nas Figuras B.1 e B.2, do Apêndice B: "Diagramas de Coagulação para o Fe III", para turbidez e cor aparente, com os pontos indicados nos diagramas.

As retas presentes nos diagramas foram traçadas segundo Snoeyink e Jenkins (1980), através das equações de número 27 a 31, apresentadas na revisão bibliográfica, no item 3.1.5.3. Nesses diagramas foram indicados os pares de valores selecionados (dosagem de coagulante * pH de coagulação), conforme Tabela 5.2, que foram posteriormente adotados nas fases subsequentes.

TABELA 5.2 Pares de Valores (Dosagem de Coagulante e pH de Coagulação) Obtidos Através dos Diagramas de Coagulação

PARES	1º	2º	3º	4º	5º	6º
pH _c	3,6	4,7	4,8	5,8	6,2	6,4
D _{coag} ; (mg/l)	15	30	22	22	40	60

5.3 - FASE EXPERIMENTAL II:

Na Tabela 5.3 é apresentado um resumo das Tabelas presentes no Apêndice C: "Estudo do Comportamento da Água Bruta Pré - Ozonizada, Controlada Através de Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação, em Relação ao Tempo".

TABELA 5.3 Resumo de Tabelas com os Resultados dos Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação das Águas Brutas Natural e Pré-Ozonizadas Anexas ao Apêndice C

ENSAIO	COAGULAÇÃO, FLOCULAÇÃO SEDIMENTAÇÃO ÁGUA BRUTA		PRÉ - OZONIZAÇÃO
	NATURAL	PRÉ-OZONIZADA	
1	C. 1	C. 3 a C. 5	C. 2
2	C. 6	C. 8	C. 7
3	C. 9	C. 11 a C. 14	C. 10
4	C. 15	C. 17 a C. 18	C. 16
5	C. 19	C. 21	C. 20
6	C. 22	C. 24	C. 23
7	C. 25	C. 27	C. 26
8	C. 28	C. 30	C. 29
9	C. 31	C. 33	C. 32
10	C. 34	C. 36	C. 35
11	C. 37	C. 39	C. 38

Nas Tabelas de número C.1 a C.18, onde são mostrados os resultados de turbidez e cor aparente, através dos ensaios (de 1 a 4) de coagulação, floculação e sedimentação, foram adotados parâmetros similares aos da primeira fase experimental, com alteração apenas no tempo de floculação em cada reator, que variou no intervalo compreendido entre 5 e 30 minutos.

As Tabelas de número C.19 a C.39 foram elaboradas de maneira semelhante às anteriores, mas mostrando resultados de turbidez e cor aparente para quatro diferentes velocidades de sedimentação (de 0,8 a 6,7 cm/min).

Os resultados dos ensaios de pré - ozonização são mostrados nas Tabelas de número C.2; C.7; C.10; C.16; C.20; C.23C.26; C.29; C.32; C.35 e C.38, apresentando:

- Condições de operação da câmara de contato;
- Condições de operação do gerador de ozônio;
- Valores da produção de ozônio;
- Tempo e dosagem de ozônio aplicados na câmara de contato;
- Concentração do residual de ozônio na coluna de excesso.

Um resumo das Tabelas anexas aos Apêndices D: "Estudo da Produção e do Residual de Ozônio na Água Através do Método Iodométrico"; E: "Determinação do Teor Residual de Ozônio na Água Através do Método Iodométrico à uma Produção Constante" e F: "Determinação do Teor Residual de Ozônio na Água Através do Método Colorimétrico à uma Produção Constante", é apresentado na Tabela 5.4, abaixo:

TABELA 5.4 Resumo das Tabelas anexas aos Apêndices D; E e F

ENSAIO	T A B E L A S		
	APÊNDICE D	APÊNDICE E	APÊNDICE F
1	D.1	E.1	F.1
2	D.2	E.2	F.2
3	D.3	E.3	F.3
4	D.4	E.4	F.4
5	D.5	E.5	F.5
6	D.6	E.6	F.6
7	D.7	E.7	F.7
8	D.8	—	—

Nas Tabelas de número D.1 a D.8, do Apêndice D, são mostrados os seguintes parâmetros e resultados dos ensaios de determinação do residual de ozônio pelo método iodométrico:

- Condições de operação da câmara de contato;
- Condições de operação de gerador de ozônio;
- Produção de ozônio;
- Tempo e dosagem de ozônio aplicado;
- Residual de ozônio na água;
- Características da água bruta natural.

No Apêndice E, estão presentes a Tabela E.1, onde são mostrados os parâmetros de geração de ozônio, e as Tabelas de número E.2 a E.7 que contêm os valores de concentração do residual de ozônio na água, obtidos através do método iodométrico (frasco lavadores), com tempo de aplicação de ozônio variando de 5 a 30 minutos, respectivamente, para uma produção de ozônio constante, e igual a 10,36 g/h. Foram coletadas amostras em diferentes pontos, e tempos de coleta, na câmara de contato, conforme Figura 4.25, capítulo 4, e obtidos residuais de ozônio. Nessas Tabelas são apresentadas também, as características das águas brutas natural e pré-ozonizadas.

A Tabela F.1, do Apêndice F, é semelhante à Tabela E.1. Na Tabela F.2 estão contidos os valores do tempo e da dosagem de ozônio aplicados na câmara de contato e os valores de concentração de ozônio residual na água, obtidos através de leitura de absorvância no espectrofotômetro, com célula de caminho óptico de 10 mm, medidos para as amostras individuais, e compostas, coletadas em cinco diferentes pontos ao longo da câmara de contato, conforme ilustrado na Figura 4.26, capítulo 4. Com esses valores, foi determinada a concentração média do teor residual de ozônio na água (amostras individuais e compostas), para o tempo de aplicação de ozônio de 10 minutos. Ainda, nessa Tabela, podem ser visualizadas as características das águas bruta natural e pré-ozonizada.

As Tabelas de número F.3 a F.6, são semelhantes à Tabela F.2, para tempos de aplicação de ozônio de 5 a 15

minutos; já, a Tabela F.7, difere das demais por apresentar valores dos teores residuais de ozônio na água apenas para amostras coletadas individualmente, com leituras realizadas através de células com caminho óptico de 10 e 30 mm, respectivamente. Nela são apresentados também, valores dos teores residuais de ozônio na água para amostras (coletadas em apenas um ponto da câmara para cada ensaio) com glicina.

5.4. Fase Experimental III:

Na fase experimental III foram realizados cinco ensaios globais, envolvendo os de pré-ozonização e de coagulação, floculação e sedimentação.

Na Tabela 5.5 tem-se um resumo das Tabelas e Figuras anexas ao Apêndice G: "Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação realizados com a Água Bruta Natural", onde são encontrados os resultados obtidos dos remanescentes de turbidez e cor aparente, para os diferentes tempos de floculação e sedimentação, através de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, realizados com as águas brutas natural e pré - ozonizadas.

TABELA 5.5 Resumo Geral de Tabelas e Figuras com Resultados dos Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação das Águas Brutas Natural e Pré - Ozonizadas

ENSAIOS	TABELAS	FIGURAS
ENSAIO - 1 DATA : 31/07 A 06/08/1990 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Realizados com Água Bruta Natural	G.1	G.1.1 e G.1.2
	G.2	G.2.1 e G.2.2
	G.3	G.3.1 e G.3.2
	G.4	G.4.1 e G.4.2
	G.5	G.5.1 e G.5.2
	G.6	G.6.1 e G.6.2
ENSAIO - 2 DATA : 14/08/1990 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Realizados com Água Bruta Pré-Ozonizada, com Tempo de Aplicação de Ozônio de 5 min. e Dosagem Aplicada de 3,86 mg/l	G.10	G.10.1 e G.10.2
	G.11	G.11.1 e G.11.2
	G.12	G.12.1 e G.12.2
	G.13	G.13.1 e G.13.2
	G.14	G.14.1 e G.14.2
	G.15	G.15.1 e G.15.2
ENSAIO - 3 DATA : 25/07/1990 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Realizados com Água Bruta Pré-Ozonizada, com Tempo de Aplicação de Ozônio de 7,5 min. e Dosagem Aplicada de 6,04mg/l	G.19	G.19.1 e G.19.2
	G.20	G.20.1 e G.20.2
	G.21	G.21.1 e G.21.2
	G.22	G.22.1 e G.22.2
	G.23	G.23.1 e G.23.2
	G.24	G.24.1 e G.24.2
ENSAIO - 4 DATA : 04/09/1990 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Realizados com Água Bruta Pré-Ozonizada, com Tempo de Aplicação de Ozônio de 10 min. e Dosagem Aplicada de 7,54mg/l	G.28	G.28.1 e G.28.2
	G.29	G.29.1 e G.29.2
	G.30	G.30.1 e G.30.2
	G.31	G.31.1 e G.31.2
	G.32	G.32.1 e G.32.2
	G.33	G.33.1 e G.33.2
ENSAIO - 5 DATA : 18/09/1990 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação, Realizados com Água Bruta Pré-Ozonizada, com Tempo de Aplicação de Ozônio de 15 min. e Dosagem Aplicada de 10,83 mg/l	G.37	G.37.1 e G.37.2
	G.38	G.38.1 e G.38.2
	G.39	G.39.1 e G.39.2
	G.40	G.40.1 e G.40.2
	G.41	G.41.1 e G.41.2
	G.42	G.42.1 e G.42.2

O ensaio 1 engloba todos os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação realizados com a água bruta natural e são apresentados em forma de Tabelas numeradas de G.1 a G.6, presentes no Apêndice G, apresentando os seguintes parâmetros e resultados:

- Turbidez e cor aparente remanescentes em função dos valores iniciais (%);
- Dosagem de cloreto férrico;
- pH de coagulação;
- Tempos de detenção e velocidades de rotação da mistura rápida e floculação;
- Velocidades de sedimentação;
- Características da água bruta natural;

As Figuras, presentes neste mesmo Apêndice com o o título: "Porcentagens Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação, nas Condições Especificadas - Ensaio 1", são também indicadas na Tabela 5.5, cujos números 1 e 2 localizados à direita da consoante (G) representam respectivamente turbidez e cor aparente. Essas Figuras contém as curvas resultantes dos valores remanescentes (%) da turbidez e cor aparente, calculados em função da água bruta natural.

Nos demais ensaios globais (2, 3, 4 e 5), a água de estudo foi pré-ozonizada (quatro diferentes tempos e dosagens de ozônio aplicados). As condições de operação do aparelho gerador de ozônio bem como os valores da produção e do excesso de gás, estão também presentes no Apêndice G: "Ensaio de Pré - Ozonização: Condições de Operação do Aparelho Gerador de Ozônio", através das Tabelas G.7; G.16; G.25 e G.34, para os tempos de aplicação de ozônio de 5; 7,5; 10 e 15 minutos, resumidas na Tabela 5.6 abaixo:

TABELA 5.6 Resumo das Tabelas Contendo Valores das Condições de Operação de Ozonização
Apêndice G

Ensaio	Tabela	OZÔNIO	
		Tempo Aplicação (min.)	Dosagem (mg O ₃ /l)
2	G.7	5	3,86
3	G.16	7,5	6,04
4	G.25	10	7,54
5	G.34	15	10,83

As Tabelas de número G.10 a G.15; G.19 a G.24; G.28 a G.33 e G.37 a G.42, foram elaboradas semelhantemente às Tabelas G.1 a G.6, e contém os resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação realizados com a água bruta pré-ozonizada, com tempos de aplicação de ozônio de 5; 7,5; 10 e 15 min, respectivamente. As Figuras resultantes desses ensaios são também encontradas no mesmo Apêndice e foram construídas de maneira semelhante às Figuras do Ensaio 1.

Imediatamente após o término de cada ensaio de ozonização, foram coletadas amostras da água bruta pré-ozonizada em cinco pontos de tomada localizados ao longo da câmara, conforme Figura 4.26, capítulo 4, para determinação da concentração média do teor residual de ozônio na água, através do método colorimétrico. Na Tabela 5.7 é mostrado um resumo das concentrações médias obtidas para os quatro tempos de aplicação de ozônio. As determinações das concentrações dos residuais em cada ponto de coleta estão contidas nas Tabelas G.8; G.17; G.26 e G.35 (Ensaio 2; 3; 4 e 5), também no Apêndice G: "Determinação do Residual de Ozônio na Água Através do Método Colorimétrico à uma Produção Constante".

TABELA 5.7 Resumo das Concentrações Médias Residuais de Ozônio na Água (Método Colorimétrico) à Produção Constante
Apêndice G

Ensaio	Tabela	OZÔNIO Tempo Apl. (min.)	Comprimento da célula (mm)	Concentração Média Residual de Ozônio na Água (mgO ₃ /l)
2	G. 8	5	10	0,297
			30	0,219
3	G. 17	7,5	10	0,323
			30	0,334
4	G. 26	10	10	0,419
			30	0,409
5	G. 35	15	10	0,427
			30	0,427

Na Tabela 5.8 é apresentado um resumo dos resultados dos exames bacteriológicos das águas bruta natural e bruta pré-ozonizada, coletadas, respectivamente, antes e imediatamente após a realização do ensaio de pré-ozonização. As leituras dos testes presuntivos e confirmas encontram-se nas Tabelas G.9; G.18; G.27 e G.36, no Apêndice G: "Exames Bacteriológicos" (Ensaio 2; 3; 4 e 5).

TABELA 5.8 Resumo dos Resultados dos Exames Bacteriológicos

ENSAIO	TABELA	ÁGUAS	N. M. P/100 ml
			C. T.
2	G. 9	BRUTA NATURAL	ANÔMALO
		BRUTA OZONIZADA	
3	G. 18	BRUTA NATURAL	230.000
		BRUTA OZONIZADA	4
4	G. 27	BRUTA NATURAL	23.000
		BRUTA OZONIZADA	50
5	G. 36	BRUTA NATURAL	80.000
		BRUTA OZONIZADA	2

Para uma melhor visualização do comportamento das águas brutas natural e pré - ozonizadas em função da turbidez e cor aparente remanescentes resultantes para cada velocidade de sedimentação, foram elaboradas Tabelas presentes no Apêndice H: "Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação x ($x = 6,7; 3,1; 1,6$ ou $0,8$ cm/min), para as Condições Especificadas", onde são mostrados os valores de turbidez e cor aparente obtidos nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, nas dosagens de coagulante, pH de coagulação e velocidade de sedimentação adotados.

Nas Figuras anexas a este Apêndice "Porcentagens Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação x , para as Condições Especificadas", são mostradas as curvas de porcentagens remanescentes de turbidez e cor aparente traçadas em função do tempo de floculação e dos tipos de águas estudadas.

Na Tabela 5.9, é mostrado um resumo de todas as Tabelas e Figuras anexas ao Apêndice H.

TABELA 5.9 Resumo Geral de Tabelas e Figuras com os Resultados dos Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação das Águas Brutas Natural e Pré-Ozonizadas, para cada Velocidade de Sedimentação Anexas Apêndice H

ENSAIOS	VELOCIDADE DE SEDI-MENTAÇÃO (cm/min)	TABELA	FIGURAS
1	6,7	H.1	H.1.1 e H.1.2
2		H.2	H.2.1 e H.2.2
3		H.3	H.3.1 e H.3.2
4		H.4	H.4.1 e H.4.2
5		H.5	H.5.1 e H.5.2
6		H.6	H.6.1 e H.6.2
1	3,1	H.7	H.7.1 e H.7.2
2		H.8	H.8.1 e H.8.2
3		H.9	H.9.1 e H.9.2
4		H.10	H.10.1 e H.10.2
5		H.11	H.11.1 e H.11.2
6		H.12	H.12.1 e H.12.2
1	1,6	H.13	H.13.1 e H.13.2
2		H.14	H.14.1 e H.14.2
3		H.15	H.15.1 e H.15.2
4		H.16	H.16.1 e H.16.2
5		H.17	H.17.1 e H.17.2
6		H.18	H.18.1 e H.18.2
1	0,8	H.19	H.19.1 e H.19.2
2		H.20	H.20.1 e H.20.2
3		H.21	H.21.1 e H.21.2
4		H.22	H.22.1 e H.22.2
5		H.23	H.23.1 e H.23.2
6		H.24	H.24.1 e H.24.2

Na Tabela H.1 estão contidos os resultados de turbidez e cor aparente remanescentes obtidos em cada um dos cinco ensaios de coagulação, floculação e sedimentação para a dosagem de 60 mg/l de cloreto férrico, tempo de

floculação de 0 a 30 min e velocidade de sedimentação de 6,7 cm/min, para as águas brutas natural e pré-ozonizadas (nos tempos de aplicação de 5; 7,5; 10 e 15 minutos). As Figuras estão denominadas por H.1.1 e H.1.2, onde os últimos números (1 e 2) representam a turbidez e a cor aparente, respectivamente. As demais Tabelas foram elaboradas de maneira semelhante à Tabela H.1 para todas as dosagens de cloreto férrico e velocidades de sedimentação estudadas.

Com base nas Tabelas de número H.1 a H.24, foram preparadas as Tabelas de número 5.10 a 5.17, apresentadas a seguir, que contêm os resumos das maiores remoções de turbidez e cor aparente, para cada dosagem de coagulante e respectivo pH de coagulação, e velocidade de sedimentação.

TABELA 5.10 Resumo das Maiores Remoções de Turbidez
Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/L)	pH DE COAG.	TURBIDEZ		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	65	35	30	7,5
40,0	6,2	65	35	30 25 a 30	Bruta Nat. 7,5
30,0	4,7	73	27	5 a 30	7,5
22,0	4,8	69	31	20 a 30	5
				5 a 30	7,5
				15 a 30	10
22,0	5,8	62	38	25 a 30	5
				5 a 30	7,5
15,0	3,6	58	42	5 a 30	5 e 7,5
		54	46	15 a 30	15
		50	50	25 a 30	Bruta Nat.

TABELA 5.11 Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente
Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	COR APARENTE		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	Não houve remoção			
40,0	6,2	89	11	15 a 30	15
30,0	4,7	78	22	0 a 30	15
22,0	4,8	56	44	5 a 30	15
22,0	5,8	78	22	0 a 30	5
				5 a 30	15
15,0	3,6	28	72	5 a 30	15
				30	7,5

TABELA 5.12 Resumo das Maiores Remoções de Turbidez
Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	TURBIDEZ		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	54	46	30	Bruta Nat.
				20 a 30	15
40,0	6,2	50	50	20 a 30	5
				30	10
				30	15
30,0	4,7	65	35	15	10
				30	Bruta Nat.
22,0	4,8	62	38	25 a 30	7,5
				20 a 30	5
22,0	5,8	58	42	25 a 30	5
				20 a 30	7,5
				30	Bruta Nat.
15,0	3,6	19	81	30	Bruta Nat.

TABELA 5.13 Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente
Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	COR APARENTE		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	56	44	10 a 30	15
40,0	6,2	39	61	25 a 30 20 a 30	5 10
30,0	4,7	78	22	0 a 30 5 a 30	5 15
22,0	4,8	44	56	25 a 30	15
22,0	5,8	56	44	25 a 30	Bruta Nat.
15,0	3,6	11	89	30	Bruta Nat.

TABELA 5.14 Resumo das Maiores Remoções de Turbidez
Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	TURBIDEZ		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	21	79	30 20 a 30	5 15
40,0	6,2	19 17	81 83	30 30	Bruta Nat. 10
30,0	4,7	46	54	25 a 30	5
22,0	4,8	46	54	30 30	5 15
22,0	5,8	50 42	50 58	25 a 30 20 a 25 30	5 Bruta Nat. Bruta Nat.
15,0	3,6	13	87	30	Bruta Nat.

TABELA 5.15 Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente
Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	COR APARENTE		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	28	72	20 a 30	15
		22	78	5 a 30 15 a 25	5
		17	83	30	5
40,0	6,2	22	78	15 a 25	Bruta Nat. 5
		17	83	15 a 25 30	Bruta Nat. 10
				30	
30,0	4,7	56	44	5 a 30	15
22,0	4,8	39	61	30	5
				20 a 30	10
				15 a 30	15
22,0	5,8	61	39	5 a 30	Bruta Nat.
15,0	3,6	28	72	10 a 25	5
				10 a 15	7,5
				25 a 30	10
		22	78	10 a 15	Bruta Nat.
				30	5
				20 a 30	7,5
11	89			5 a 30	15
				20 a 30	Bruta Nat.

TABELA 5.16 Resumo das Maiores Remoções de Turbidez
Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	TURBIDEZ		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	17	83	5 a 10	5
		15	85	20 a 25	15
		13	87	5	Bruta Nat. 7,5
		10	90	30	Bruta Nat. 15
					10 a 20
40,0	6,2	17	83	10 e 30	5
		15	85	25	7,5
		13	87	30	7,5
		12	88	15 a 30	10
					15
30,0	4,7	27	73	20 a 30	Bruta Nat.
22,0	4,8	30	70	30	15
22,0	5,8	19	81	30	Bruta Nat.
15,0	3,6	19	81	30	5
		10	90	30	Bruta Nat.

TABELA 5.17 Resumo das Maiores Remoções de Cor Aparente
Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min

DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH DE COAG.	COR APARENTE		TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min)	TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO (min)
		REMANESC. (%)	REMOV. (%)		
60,0	6,4	17	83	10 a 25	Bruta Nat.
				10 a 30	5
				30	7,5
		15	85	5 a 30	10
				20	15
				30	Bruta Nat.
25	15				
30	94	15			
40,0	6,2	17	83	15 a 25	Bruta Nat.
				10 a 25	5
				15 a 20	7,5
		11	89	20 a 25	10
				30	Bruta Nat.
				25 a 30	7,5
30	10				
30,0	4,7	22	78	20 a 30	15
22,0	4,8	22	78	25 a 30	5
				30	15
				15 a 30	15
22,0	5,8	17	83	15 a 30	Bruta Nat.
15,0	3,6	11	89	15 a 20	Bruta Nat.
				25 a 30	5
		6	94	25 a 30	10
				25 a 30	Bruta Nat.

No Apêndice I: "Concentrações de Ferro e Manganês na Água", encontra-se a Tabela I.1, onde são apresentados os resultados das concentrações de ferro e manganês (mg/l), obtidas através de amostras das águas brutas natural e pré-ozonizadas (nos quatro diferentes tempos de aplicação de ozônio) e das amostras coletadas nos frascos após 30 min de floculação e velocidade de sedimentação de 0,8 cm/min, para cada par de valores ótimos (dosagem de coagulante * pH de coagulação).

6. DISCUSSÃO

6.1 - Fase Experimental I

A água de estudo foi armazenada em reservatórios de 500 e 1000 l, devidamente fechados. Como o órgão não dispunha de mais recipientes, e devido a necessidade de armazenamento de pelo menos mais 1000 l, a água foi reservada em uma área (a única disponível) adjacente à calha Parshall e do ponto de aplicação da cal, não havendo condições de qualquer cobertura.

Os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação foram iniciados utilizando a água reservada desta área. Pode-se verificar que a variação de alcalinidade, pH, condutividade, cor aparente, turbidez e dureza foi pequena até o ensaio de número 25 (Tabelas de A.1 a A.25) do Apêndice A; do ensaio 26 (Tabela A.26) até o de número 33 (Tabela A.33), verifica-se que a alcalinidade e pH da água bruta sofreram variações, atingindo valores de 101 mg CaCO_3/l e 8,5, respectivamente. Estas variações podem ter ocorrido pelo fato da água estar armazenada perto dos dosadores e do ponto de aplicação de cal e, por qualquer motivo, algumas gotas da suspensão de cal terem respingado na água armazenada. Como o volume era

pequeno (quase toda a água já havia sido utilizada), o efeito pode ter sido significativo, a ponto de alterar os valores dos parâmetros mencionados.

Os ensaios finais da primeira fase, foram realizados com a utilização da água de outro reservatório. Pelas Tabelas de número A.34 a A.40, pode-se verificar, de maneira bem nítida, que os valores das características da água bruta natural (principalmente alcalinidade e pH), antes dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, se apresentaram bem semelhantes aos obtidos nas Tabelas de número A.1 a A.25.

6.1.1 - Diagramas de Eficiência de Coagulação

A primeira fase experimental foi desenvolvida de modo a se obter os diagramas de coagulação - floculação para a água bruta natural, sem qualquer utilização de um pré-tratamento.

O aparelho de coagulação-floculação, utilizado na realização dos trabalhos, apresentava um gradiente máximo permissível da ordem de 105 s^{-1} . Foi adotado, para a realização dos ensaios, o gradiente de 100 s^{-1} e um tempo de mistura rápida da ordem de três minutos, obtendo-se o valor do número de Camp (C) da ordem de 18000. Este valor se mostra compatível com os indicados por Amirtharajah e Trusler (1986), Di Bernardo (1989), Letterman et al. (1973) e Perez et al (1984), para parâmetros de misturadores rápidos mecanizados.

Para a floculação, foram adotados os valores de gradiente de velocidade e tempo de, respectivamente, 20 s^{-1} e 30min. Esses valores são semelhantes aos valores ótimos indicados por Bennefield et al (1982), Di Bernardo et al. (1987) e Richter et al (1984). A velocidade de sedimentação para essa fase foi assumida como constante e igual a $1,0 \text{ cm/min}$. Esse é indicado por Di Bernardo e

Mendes (1989), como sendo o valor desejável para água bruta com as características semelhantes a utilizada.

Nos diagramas de coagulação do Ferro III apresentados nas Figuras B.1 e B.2 no Apêndice B, tem-se, respectivamente, a porcentagem remanescente de turbidez e cor aparente em função da dosagem de coagulante e do pH de coagulação, e foram construídos baseados no modelo desenvolvido por Johnson e Amirtharajah (1983), conforme item 3.1.6.1, Figura 3.14 .

As retas pertencentes aos diagramas representam, segundo Bennefield (1982), as diferentes espécies do ferro III em equilíbrio com o precipitado $\text{Fe(OH)}_{(sp)}$ em função do pH. De acordo com o autor, pode-se verificar nesse diagrama que, para um intervalo de pH compreendido entre 4,5 e 8,0 (faixa comum das águas naturais), a espécie predominante é Fe(OH)_2^+ , já o dímero Fe(OH)_2^{4+} , segundo o autor, não predomina em qualquer valor de pH, mas é uma espécie significativa para valores de pH abaixo de 2,5. O autor evidencia ainda que, para valores de pH tipicamente encontrados em águas naturais, Fe^{+3} é o menor componente das espécies de ferro na presença de $\text{Fe(OH)}_{(sp)}$.

As Figuras B.1 e B.2, mostram para a água estudada, as regiões em que a coagulação é eficiente.

Na Figura B.1, onde o diagrama é construído em termos de porcentagem remanescente de turbidez, em função do valor padrão inicial encontrado na água de estudo, pode-se verificar que os melhores resultados obtidos para diferentes dosagens de coagulante e pH de coagulação, na região de adsorção, encontram-se entre os pares de valores $[\text{Dcoag}=9 \text{ mg/l e pHc}=3,0]$ e $[\text{Dcoag}=20 \text{ mg/l e pHc}=4,7]$, com uma porcentagem de 80 a 95% de turbidez removida, mostrando desta maneira que as curvas de maior eficiência obtidas no mecanismo de adsorção - neutralização, fizeram com que a linha delimita entre as regiões de adsorção e de restabilização se estendesse mais para a esquerda, de

acordo com o já relatado por Johnson e Amirtharajah (1983). Na região da varredura, os valores de maiores remoções resultaram compreendidos entre os pares de valores [Dcoag=30 mg/l e pHc=6] e [Dcoag=100 mg/l e pHc=8,5], apresentando valores remanescentes entre 7 e 10%, isto é, remoções de turbidez entre 90 a 93%. No mesmo diagrama, observou-se também, remoções significativas (em torno de 90%) de turbidez para a faixa de valores [Dcoag=19 mg/l e pHc=5,3] a [Dcoag=25 mg/l e pHc=6,1], compreendidas entre as duas regiões (adsorção e varredura).

Para as dosagens de cloreto férrico entre 5 a 20 mg/l e pH de coagulação no intervalo de 7 a 11, não ocorreu a remoção de turbidez, resultante, provavelmente, conforme Johnson e Amirtharajah (1983), das condições desta região serem desfavoráveis à cinética química e da pequena quantidade de íons metálicos presentes.

O diagrama da Figura B.2, construído em função da porcentagem remanescente de cor aparente, mostra que as remoções ótimas deste parâmetro, na região da adsorção-neutralização, estão compreendidas entre os pares de valores [Dcoag=35 mg/l e pHc=4,8] e [Dcoag=20 mg/l e pHc=5,2], apresentando remoções entre 70 a 90%. Na região da varredura os melhores resultados de cor aparente ocorreram entre os valores [Dcoag=35 mg/l e pHc=6,1] e [Dcoag=50 mg/l e pHc=6,6] com remoção de 95% e, para os pares de valores no intervalo compreendido entre [Dcoag = 50 mg/l e pHc=6,2] a [Dcoag=90 mg/l e pHc=6,7] onde foram removidos 90% deste parâmetro. A restabilização, conforme ilustrado na Figura B.2, ocorreu entre [Dcoag=25 mg/l e pHc=3,0] e [Dcoag=60mg/l e pHc=4,3], mostrando uma diminuição da eficiência da remoção de cor aparente.

Para os valores de dosagens de coagulante compreendidos entre 5 e 20 mg/l e pH de coagulação de 6 a 7, não foi verificado a remoção de cor aparente, fenômeno

este semelhante ao ocorrido com relação à turbidez.

Comparando-se as duas Figuras, verifica-se que as melhores remoções de turbidez e cor aparente ocorreram no mecanismo da varredura.

Os pares de valores (dosagem de coagulante*PH de coagulação) adotados para a realização dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação na terceira fase experimental, foram escolhidos em função dos pares de valores (Dcoag e pHc) com maiores remoções de turbidez e cor aparente, abrangendo as regiões de adsorção- neutralização e de varredura.

6.2 - Fase Experimental II

A segunda fase experimental envolveu várias etapas, como o estudo da produção de ozônio, o comportamento da água bruta pré-ozonizada, controlada por ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, com parâmetros similares aos da primeira fase.

Na primeira etapa dos estudos de produção de ozônio, nas Tabelas de número C.1 a C.18, presentes no apêndice C: "Estudo do Comportamento da Água Bruta Pré - Ozonizada Controlada Através de Ensaios de Coagulação - Floculação em Relação ao Tempo", são mostrados que os parâmetros de turbidez e cor aparente remanescentes, obtidos nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, com dosagens de sulfato de alumínio variáveis, não sofreram alterações significativas até vinte e quatro horas após a realização da pré-ozonização para as dosagens de ozônio aplicadas, com a câmara de contato funcionando em batelada. Nessa etapa, as alterações conduzidas nos parâmetros de controle do ozonizador, mostraram que, maiores remoções de turbidez e cor aparente, estão relacionadas também com o tempo de aplicação de ozônio na câmara de contato.

Os resultados obtidos para a câmara funcionando em batelada foram mais significativos que para fluxo contínuo, em função de remoção de turbidez e cor aparente, depois de serem realizados os ensaios de coagulação - floculação.

As variações das dosagens de sulfato de alumínio, com a câmara de contato funcionando em batelada, como por exemplo, para os ensaios apresentados nas Tabelas de número C.3 a C.5, mostraram que a turbidez e cor aparente remanescentes com coleta imediata e até 22 horas após a pré-ozonização não sofreram alterações significativas para os tempos de floculação (t_f) de 5 a 25 minutos.

Nos ensaios mostrados nas Tabelas de número C.9 a C.14, pode-se verificar que, para dosagens de sulfato de alumínio entre 30 a 40 mg/l, com pH de coagulação de 6,4 a 6,7, a turbidez e cor aparente remanescentes também não sofreram alterações significativas (nos ensaios apresentados das Tabelas de número C.9, C.12 e C.13 foram utilizados polímeros, como auxiliares de floculação) utilizando a água pré - ozonizada após 24 horas da aplicação do ozônio. No ensaio realizado com a água pré - ozonizada coletada após 25 horas da ozonização, nos tempos de floculação de 15 a 30 minutos, pode-se notar alterações dos parâmetros turbidez e cor aparente.

Nas Tabelas de número C.19 a C.36 são mostrados os ensaios de pré - ozonização realizados com a câmara de contato operada em escoamento contínuo, com tempos de detenção da água bruta natural na câmara de 7,5 e 13 min. e, de aplicação de ozônio de 20 minutos, com variações na produção do gás e na concentração de ozônio (de 0,92 a 5,40 mg O_3 /l). Nessas Tabelas, estão contidos os resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação realizados com as águas brutas natural e pré - ozonizadas, variando-se o tempo de floculação (5 a 30 min) e a velocidade de sedimentação (6,7 a 0,8 cm/min),

baseados em trabalhos de Di Bernardo et al (1987) e Di Bernardo e Mendes (1989), com dosagens de sulfato de alumínio entre 32,6 a 48,5mg/l. Nesses ensaios, para um tempo de floculação acima de 15 minutos e velocidade de sedimentação entre 1,6 e 0,8 cm/min, foram obtidas remoções de 80 a 92% para turbidez e de 86 a 98% de cor aparente. Comparando-se os resultados obtidos nos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com a água bruta natural e a pré - ozonizada com coleta imediata, esta última apresentou valores de remoção próximos aos da água bruta natural (turbidez e cor aparente), para dosagem de sulfato de alumínio entre 32,6 a 48,5 mg/l e pH de floculação acima de 6 onde, segundo Amirthrajah (1989), Amirtharajah (1987), Di Bernardo (1990) e Di Bernardo et al (1987), a coagulação ocorre na região de varredura e de acordo com Richard (1988), a dificuldade da sedimentação dos flocos pode ser decorrente da microfloculação devida a ozonização.

Para os ensaios de pré-ozonização, com a câmara de contato operando em batelada (Tabela C.39), para tempo de aplicação de 10 minutos e concentração de ozônio de 4,88 mgO₃/l, os resultados dos ensaios de coagulação, floculação e sedimentação (Tabelas C.37 e C.39), são semelhantes aos dos realizados para a câmara funcionando com escoamento contínuo (Tabelas de número C.19 a C.36). A dosagem de sulfato de alumínio foi de 34,0 mg/l e pH de coagulação entre 6,4 a 6,6 e, os valores de remoção de turbidez e cor aparente, obtidos para a água bruta natural foram melhores que os obtidos para a água pré-ozonizada, provavelmente devida a formação de micro flocos (Richard, 1988).

Conforme se vê nas Tabelas de número D.1 a D.8, do apêndice D, os maiores residuais de ozônio foram obtidos com uma produção de 10,36 g/h. Embora a determinação do residual de ozônio na água, pelo método

iodométrico (frascos lavadores), seja pouco seletivo, podendo sofrer a interferência de vários oxidantes presentes na água da amostra e das impurezas contidas no ar comprimido injetado na amostra, esses ensaios foram úteis para que se tivesse uma ordem de grandeza dos residuais de ozônio na água, com as alterações dos valores dos parâmetros de controle do aparelho de ozonização e dos tempos de aplicação do gás na câmara de contato.

Nas Tabelas de número D.1 a D.4 são mostradas a transferência de massa de ozônio. Segundo Gurol (1985), esse coeficiente depende da geometria e das condições de operação da câmara de contato, sendo que, neste caso, foi diretamente proporcional ao tempo de aplicação e à produção de ozônio, com a câmara de contato operada em sistema de batelada. Nas demais Tabelas pode-se verificar que o valor do residual de ozônio na água decresce ao longo da câmara de contato (sentido ascensional), durante o período de aplicação de ozônio, tornando-se nulo o seu teor, minutos após o término da ozonização.

No apêndice E tem-se as Tabelas de número E.2 a E.7, em que foram estudados os maiores tempos de permanência do residual de ozônio na água, através do método iodométrico. Nessas Tabelas nota-se que, para uma mesma produção, tempo de aplicação, e dosagem aplicada de ozônio, o residual de ozônio é decrescente ao longo da câmara de contato, e que somente para tempo de aplicação superior a 20 minutos pode-se obter valores de residuais para amostra coletada até 12 minutos após a ozonização, nos três pontos de tomada, conforme mostrado na Figura 4.25, item 4.6.4.1, do capítulo 4. Observa-se ainda que quanto maior o tempo de aplicação de ozônio (com produção constante), há uma distribuição mais uniforme do gás em toda a câmara de contato. Verificou-se também que o valor do residual de ozônio na coluna de excesso, é diretamente proporcional ao tempo de aplicação do gás.

No apêndice F estão contidas as Tabelas de número F.2 a F.6, quando foram estudados dois tipos de coletas de amostras para medição do residual de ozônio (método colorimétrico): individual e composta. Através desses ensaios, foi adotado o sistema de coleta individual, por representar o que ocorre ao longo da câmara de contato, e pela menor probabilidade da ocorrência de erros na manipulação dos frascos de coletas. Nessas Tabelas, pode ser confirmado o desempenho da pré-ozonização na remoção de cor aparente, que foi diretamente proporcional ao tempo de aplicação. Na realização dos ensaios com coletas individuais de amostras (Tabela F.7) foram feitas leituras de absorvância no espectrofotômetro utilizando células de 10 e 30 mm de comprimento. Os resultados mostraram que as concentrações médias do residual de ozônio na água, obtidas para as duas células, foram bem próximas. Nessas Tabelas estão contidas ainda, os valores das concentrações obtidas com o uso da glicina, com amostras coletadas em apenas um ponto de tomada. Os resultados mostraram que este método (colorimétrico), considerado um dos mais precisos, é sujeito a ação de alguns interferentes, como o manganês.

6.3 - Fase Experimental III

6.3.1 - Exames Bacteriológicos

Os exames bacteriológicos (Tabelas de número G.9; G.18; G.27 e G.36) anexas ao apêndice G: "Exames Bacteriológicos" (Ensaio 2; 3; 4 e 5), realizados com as águas brutas natural e pré-ozonizadas, mostraram uma alta remoção de coliformes totais para todas as águas pré-ozonizadas, denotando a grande potência bactericida do ozônio, o que é também citado por Cunli e Funchun (1989).

O NMP de coliformes totais foi reduzido de cerca

de 99,9% para as três dosagens de ozônio aplicadas na água bruta (6,04; 7,54 e 10,83 mg/D), para os tempos de aplicação de ozônio de 7,5; 10 e 15 minutos, respectivamente. Estes resultados estão em conformidade com os obtidos por Lepage (1985), Liang et al (1989) e Sierka et al. (1989), que relatam a alta eficiência da pré-ozonização na remoção de coliformes.

Para a água pré - ozonizada, num tempo de aplicação de 5 minutos (Doz = 3,86 mg/D), foram obtidos resultados anômalos, sem que tivesse sido encontrada uma explicação para o ocorrido.

6.3.2 - Determinação do Residual de Ozônio na Água

As concentrações dos residuais de ozônio na água foram obtidas através de leitura de absorvância em espectrofotômetro no comprimento de onda de 600 nm, através do emprego de células de 10 e 30 mm. As concentrações médias obtidas nos quatro tempos de aplicação de ozônio, resultaram semelhantes, tanto com a utilização de célula com caminho óptico no comprimento de 10 mm como para a de 30 mm.

Na impossibilidade de se utilizar glicina para todas as amostras, estabeleceu-se a coleta em apenas uma torneira (A1). Comparando-se os valores dos residuais de ozônio na água, para este ponto de tomada de amostra, verificou-se que, para todos os tempos de aplicação de ozônio, o residual foi sempre menor para a amostra que continha a glicina, comprovando desta maneira, a interferência do manganês na leitura das amostras, Standard Method (1989).

6.2.3 - Ensaio de Coagulação - Floculação com as Águas Brutas Natural e Pré-Ozonizada

6.3.3.1) Remoção de Turbidez e Cor Aparente da Água Decantada

Na primeira fase experimental, foram obtidos os melhores pares de valores (dosagem de coagulante * pH de coagulação) em função das maiores remoções de turbidez e cor aparente, conforme diagramas das Figuras B.1 e B.2 do apêndice B, nas regiões onde a coagulação é decorrente de mecanismos distintos, como adsorção - neutralização, varredura e a combinação destes. Esses pares de valores foram posteriormente utilizados na terceira fase experimental, através de ensaios de coagulação, floculação e sedimentação com as águas brutas natural e pré - ozonizadas.

A discussão dos resultados destes ensaios foi realizada em função das Tabelas de número 5.10 a 5.17, do capítulo 5, que contêm os maiores valores de remoção de turbidez e cor aparente, com D_{coag} entre 60 a 15 mg/l, pHc de 6,4 a 3,6 e t_f de 0 a 30 min, respectivamente, nas velocidades de sedimentação de 6,7; 3,1; 1,6 e 0,8 cm/min.

Na Tabela 5.10, verifica-se que, em geral, ocorreram remoções significativas de turbidez para a água pré - ozonizada com 7,5 min, para todas as dosagens de coagulante na $V_s=6,7$ cm/min. No entanto, quando são comparadas as curvas das Figuras de número H.1.1 a H.6.1, anexos ao apêndice H, observa-se que os melhores resultados, para essa velocidade de sedimentação, ocorreram para a água bruta natural, com 50% de remoção de turbidez para $t_f \geq 15$ min e, de 46% para a água bruta pré - ozonizada com 15 min, com $t_f \geq 15$ min, correspondentes à mesma dosagem de cloreto férrico (15,0 mg/l - pHc=3,6).

Com relação à remoção de cor aparente para $V_s=6,7$ cm/min, as maiores remoções (até 72%) ocorreram com $D_{coag}=15$ mg/l e $pH_c=3,6$ para a água pré - ozonizada com 7,5 e 15 min, conforme mostrado na Tabela 5.11.

Na Tabela 5.12, para $V_s=3,1$ cm/min, a remoção de turbidez mais significativa (81%) ocorreu para a água bruta natural com $D_{coag}=15$ mg/l, $pH_c=3,6$ e $t_f=30$ min. Com relação à cor aparente, vê-se na Tabela 5.13, que a maior remoção foi obtida também para a água bruta natural (89%), com $D_{coag}=15$ mg/l, $pH_c=3,6$ e $t_f=30$ min.

Com $V_s=1,6$ cm/min (Tabela 5.14), a maior remoção de turbidez ocorreu para a água bruta natural (87%) com $D_{coag}=15$ mg/l, $pH_c=3,6$ e $t_f=30$ min. Para a dosagem de cloreto férrico de 40 mg/l, as maiores remoções obtidas foram para a pré-ozonizada com 10min (83%) e bruta natural (81%), com $t_f=30$ min. Convém ressaltar ainda que, para $D_{coag}=60$ mg/l e $pH_c=6,4$, resultou uma remoção significativa, de 79%, para as águas pré-ozonizadas com 5 min ($t_f=30$ min) e 15 min ($t_f \geq 20$ min).

As maiores remoções de cor aparente, para $V_s= 1,6$ cm/min (Tabela 5.15) foram obtidas com $D_{coag}=15$ mg/l, $pH_c=3,6$ e $t_f \geq 20$ min. para a água bruta natural (89%); com $D_{coag}=40$ mg/l, $pH_c=6,2$ e $t_f=30$ min. para as águas brutas natural e pré-ozonizada com 10min (83%) e com $D_{coag}=60$ mg/l, $pH_c=6,4$ e $t_f=5$ min, para a água pré-ozonizada com 5min (83%).

A remoção de turbidez com $V_s=0,8$ cm/min (Tabela 5.16) foi mais significativa para a água bruta natural (90%) com $D_{coag}=60$ e 15 mg/l, $pH_c=6,4$ e 3,6 e $t_f=30$ min., respectivamente. As remoções de cor aparente atingiram o máximo valor (94%) com $D_{coag}=15$ mg/l para a água bruta natural e $D_{coag}=60$ mg/l, para a pré-ozonizada com 15min., com $t_f=30$ min.

6.3.3.2) Remoção de Ferro e Manganês

Com relação às determinações de ferro e manganês, cujos resultados são mostrados na Tabela I.1, do Apêndice I: "Concentrações de Ferro e Manganês na Água", nota-se que as maiores remoções de ferro (%) ocorreram com a água bruta natural para todas as dosagens de coagulante enquanto que, para as águas pré - ozonizadas somente com $D_{coag}=60$ mg/l e $pH_c=6,4$ é que foram conseguidas remoções satisfatórias. A remoção de manganês (%) foi satisfatória para todos os tipos de águas estudadas, coletadas antes e após os ensaios de coagulação, floculação e sedimentação, utilizando os pares de valores adotados ($D_{coag} \cdot pH_c$).

Pesquisas realizadas por Van Breemen et al (1979) com água colorida, mostraram que a pré - ozonização causou deterioração da coagulação com a adição do $Fe(III)$. Segundo os autores, foram realizados dois experimentos envolvendo ensaios de pré - ozonização e de coagulação - floculação, utilizando sulfato férrico. A pré - ozonização foi realizada em reator de batelada, onde foi aplicada uma dosagem de ozônio de 40 mg/l, tendo sido a água pré - ozonizada, submetida a ensaio de coagulação - floculação com a adição de dosagem de coagulante igual a 22,3 mg/l (Fe^{+3}) para $pH_c=4,8$ (par de valores ótimos obtidos através de vários ensaios de coagulação - floculação). Esta investigação experimental, segundo os autores, teve como resultado, um acentuado aumento da cor aparente (o valor inicial era de 274 mg/l Pt-Co), tendo sido impossível de efetuar a leitura devida à alta concentração de ferro resultante (concentração de 16,4 mg/l de Fe^{+3}). Tais resultados podem ser decorrentes de uma má coagulação, pois a pré - ozonização pode ter aumentado os grupos carboxílicos disponíveis, complexando o ferro, mantendo-o, desta maneira, na forma solúvel. A segunda investigação foi realizada sem a aplicação da pré - ozonização,

utilizando a mesma dosagem de coagulante, em que foi obtida, segundo os autores, uma remoção de 93% de cor aparente e uma concentração final de ferro de 1 mg/l (Fe^{+3}).

Van Breemen et al (1979) realizaram, também, experimentos com a água contendo alta concentração de ácido fúlvico para investigar a variação da concentração de grupos carboxílicos. Verificaram um aumento de 40% dos mesmos e uma redução da cor aparente de 230 para 30 uH, quando a água foi submetida à pré - ozonização. O experimento foi também realizado com água bruta natural, mediante a utilização de sulfato férrico, resultando numa redução de cerca de 83% de grupos carboxílicos e cor aparente remanescente de 9 UH. Segundo os autores, estes experimentos mostraram que, para a água estudada, a pré - ozonização foi responsável pelo aumento da concentração de grupos carboxílicos; possivelmente, este aumento pode ter mantido o ferro na forma coloidal ou complexada, causando um aumento no teor de ferro solúvel, conforme já dito anteriormente.

Segundo Jekel (citado em Dowbiggin e Singer, 1988), o aumento do número de grupos carboxílicos pode levar ao aumento da associação entre compostos orgânicos e metais catiônicos, porém, é desconhecida a extensão em que esses complexos formados pela ozonização podem tornar-se solúveis, precipitarem-se diretamente ou adsorverem partículas.

Com base nos resultados obtidos na presente investigação experimental, pode - se supor que a pré - ozonização tenha prejudicado a ação da coagulação e floculação com o emprego do cloreto férrico, principalmente quando houve diminuição da dosagem de coagulante e aumento da dosagem de ozônio aplicado. Tal fato não foi verificado na investigação experimental realizado por Bresaola (1989) com a mesma água de estudo e

iguais dosagens de ozônio, utilizando sulfato de alumínio como coagulante, cujas remoções de ferro resultaram satisfatórias para todas as dosagens de ozônio e de coagulante.

Os resultados obtidos mostraram que, com o acréscimo da dosagem de ozônio aplicado, as remoções de ferro diminuíram e, aumentando-se Dcoag e respectivo valor de pHc, ocorreram maiores remoções de ferro para todas as águas pré - ozonizadas na Dcoag=60 mg/l e pHc=6,4; para a menor dosagem (Dcoag=15 mg/l e pHc=3,6), houve um aumento substancial da concentração de ferro, podendo tal fato ser devido, provavelmente, à dosagem de coagulante não ser suficiente para desestabilizar as ligações organo - metálicas. Estes resultados estão de acordo com Farvadin e Collins (1989), que relatam que, se a dosagem de ozônio aplicada for aumentada, resultando maior que a ótima requerida, o benefício da pré - ozonização é diminuído, pois o ozônio aplicado toma parte, predominantemente nas ligações intermoleculares, ligações entre partículas ou indiretamente nas ligações entre metais e particulados. Este efeito, segundo os autores, causa a divisão de polímeros em fragmentos pequenos acarretando a ocorrência de mais ligações metálicas e prejudicando a qualidade da água. Ainda, de acordo com os autores, quando se adiciona uma dosagem relativamente alta de Fe^{+3} , são formados flocos de hidróxidos de ferro que conseguem precipitar os compostos organo - metálicos. Através dos diagramas de solubilidade para o sistema $FeCO_3.H_2O$ (Figura 3.3, do item 3.1.1.6, capítulo 3) e para o hidróxido de ferro III (Figuras 3.11 e 3.13, item 3.1.5.2, capítulo 3) verificou-se também que, quanto menor o valor do pH da água, maior a concentração das espécies solúveis presentes, tendendo a diminuir com o aumento do pH e da dosagem de cloreto férrico.

Em experimentos realizados por Paillard et al (1989) com ensaios de pré - ozonização e coagulação - floculação com cloreto férrico como coagulante, utilizando água contendo 250 mg/l de ácido fúlvico, pH entre 7 e 8, verificou - se um aumento da concentração do ferro solúvel após sedimentação e filtração, com o aumento da dosagem de ozônio, para uma mesma dosagem de coagulante (15 mg/l) e valor do pH de coagulação (5,5). Segundo os autores, altas dosagens de ozônio na água contendo ácido fúlvico, induzem um decréscimo significativo das partículas maiores e, simultaneamente, um acréscimo das frações de menores tamanhos. Os autores, analisando o grupo carboxila na mesma água ozonizada, verificaram um aumento da concentração deste com o aumento da dosagem de ozônio, como mostrado na Figura 6.1. Os autores afirmam que são os grupos funcionais carboxílicos, presentes na matéria orgânica natural que formam precipitados com espécies (solúveis ou não) de espécies hidrolisadas dos metais (Fe ou Al) e citam trabalhos que provam a função dos grupos carboxílicos na reação estequiométrica da coagulação de compostos húmicos com Fe III com pH levemente ácido, mostrando, desta maneira, que a coagulação foi eficiente com a utilização de altas dosagens do coagulante de Fe III, com o aumento da dosagem de ozônio, devido ao acréscimo dos grupos carboxílicos.

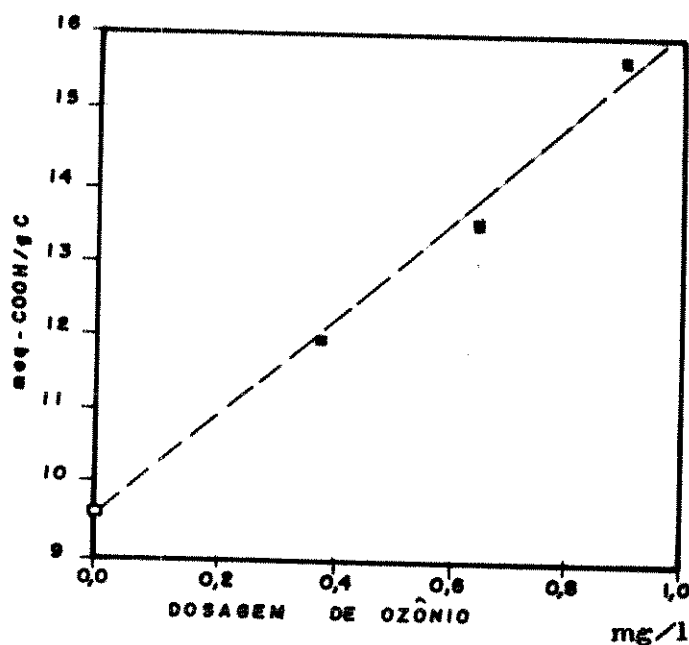


FIGURA 6.1- Ozonização de Água Pura Contendo Ácido Fúlvico (250 mg/l). Evolução do Grupo Carboxílico contido no Ácido Fúlvico em Função da Dosagem de Ozônio. Extraído de Paillard et al (1989).

Com relação aos ensaios realizados com a água bruta natural, verificou-se que os resultados estão em conformidade com as citações de Van Breemen et al (1979), isto é, quanto maior a dosagem de coagulante contendo Fe^{+3} , maior foi a remoção de ferro. Tal fato pode também, ser visto na Figura 6.2, que mostra resultados de ensaios realizados com água contendo ácido fúlvico, submetida à coagulação, floculação e sedimentação e filtração, utilizando o cloreto férrico como coagulante (Paillard et al. (1989). Nota-se um aumento do residual de ferro após a filtração, quando diminui a dosagem do coagulante, para uma mesma concentração de ácido fúlvico e mesmo valor do pH de coagulação (5,5).

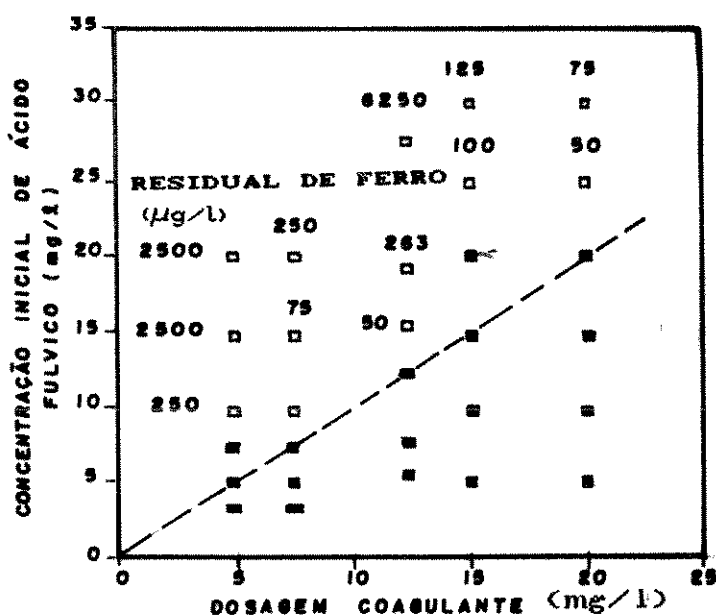


FIGURA 6.2 -Efeito da Dosagem de Coagulante Ferro III e Concentração de Ácido Fúlvico, no Residual de Ferro Após Coagulação e Clarificação. Extraído de Paillard et al , (1989).

■ < 25,0 µg/l

Comparando-se os teores de ferro nas águas brutas natural e pré - ozonizadas (sem a adição de coagulante ou qualquer produto químico), verificou-se um aumento das mesmas para as águas brutas pré-ozonizadas. A equações 54 e 55 (capítulo 3), mostram que quando o Fe^{+2} é oxidado pelo ozônio, ocorre a liberação de íons H^+ , que podem diminuir o pH da água e reduzir a constante da velocidade de reação com este metal. Segundo Bennefield et al (1982), este fato é bem conhecido quando o oxigênio é utilizado como oxidante do ferro e manganês, cujo processo de oxidação acarreta um aumento da concentração de íons H^+ , diminuição do pH e a redução da constante da velocidade de reação. De acordo com os autores, para cada mg/l de Fe^{+2} ou Mn^{+2} oxidado, a quantia de alcalinidade

destruída durante o processo de oxidação com o oxigênio, é de 1,8 mg CaCO₃/l. Se a alcalinidade presente na água for baixa, a concentração de íons H⁺ tende a aumentar com o decorrer do processo de oxidação.

Com relação ao teor de manganês presente na água de estudo e comparando-se os resultados das águas brutas natural e pré - ozonizadas (sem adição de qualquer produto químico), verificou-se que não houve remoção e nem acréscimo do teor deste metal para todas as águas pré - ozonizadas. Em geral, verificou-se um pequeno acréscimo na concentração de manganês após a adição do cloreto férrico, tanto para a água bruta natural como para as pré - ozonizadas, para dosagens de coagulante e valores de pH de coagulação maiores (60 mg/l e 6,4, respectivamente).

Segundo Gurol (1985), a qualidade da água influi diretamente no desempenho da ozonização na câmara de contato, afetando as características de transferência de ozônio e, conseqüentemente, a qualidade da água ozonizada. Tal fato não pode ser desprezado nesta investigação experimental, já que a água de estudo continha, provavelmente, uma variedade de substâncias complexas e poluidoras e, a câmara utilizada, pode não ter sido a mais adequada para a realização dos ensaios.

Outras possibilidades que podem ter afetado a remoção de compostos solúveis de ferro são decorrentes da produção de ozônio; a utilização de cilindros oxigênio, sem a prescrição do grau de pureza, que deve ser assegurado, segundo Schulhof e Smith (1988) em cerca de 95% e o ponto de orvalho, próximo de -60°C, para uma efetiva produção de ozônio; a temperatura da água de refrigeração, deve ser mantida, preferencialmente, abaixo de 25°C para que, conforme Nebel (1981), o calor seja dissipado adequadamente e evitar que ocorra a destruição da parte de ozônio, no interior do gerador.

7. CONCLUSÕES

De acordo com o trabalho realizado concluiu-se que:

- Há duas regiões de coagulação bem caracterizadas, de adsorção - neutralização e varredura;
- A região de adsorção - neutralização é caracterizada por valores de pH e dosagem de coagulante bem menores que os da varredura;
- Através dos diagramas de coagulação, traçados na primeira fase experimental (figuras B.1 e B.2), as remoções mais significativas de turbidez e cor aparente, para velocidade de sedimentação de 1 cm/min, ocorreram no mecanismo da varredura;
- O ozônio mostrou ser um forte agente bactericida para a água de estudo;
- Quanto maior o tempo de aplicação de ozônio, maior o seu residual na água e maior a concentração obtida na coluna de excesso de ozônio (off-gas);
- Os valores das concentrações médias de residual de ozônio na água não sofreram alterações significativas com a utilização de células de diferentes comprimentos (10 e 30 mm) para medição da absorvância no

comprimento de onda de 600 nm;

- Com a utilização da glicina na determinação do teor residual de ozônio pelo método colorimétrico, obtém-se o valor real deste residual, pois são eliminadas as interferências de, provavelmente, compostos de manganês;

- Na terceira fase experimental verificou-se que as maiores remoções de turbidez ocorreram com a dosagem de coagulante de 15 mg/l e pH de coagulação de 3,6 (região de adsorção-neutralização) para todos os tipos de águas (bruta natural e pré-ozonizadas) nas velocidades de sedimentação compreendidas entre 6,7 a 1,6 cm/min. Verificou-se que para $V_s=0,8$ cm/min, as remoções mais significativas de turbidez ocorreram com a água bruta natural para $D_{coag}=40$ mg/l e $pH_c=6,2$ (88%), e para $D_{coag}=60$ e 15 mg/l e $pH_c=6,2$ e 3,6, respectivamente (remoção de 90%). Com relação às remoções de cor aparente, verificou-se que na $V_s=6,7$ cm/min, as maiores ocorreram para as águas pré-ozonizadas com 7,5 e 15 min na $D_{coag}=60$ mg/l e $pH_c=6,4$ (região da varredura). Para as velocidades de sedimentação compreendidas entre 3,1 e 1,6 cm/min, as remoções mais significativas ocorreram para a água bruta natural com $D_{coag}=15$ mg/l e $pH_c=3,6$. Para $V_s=0,8$ cm/min verificou-se uma remoção de 89% da cor aparente na para as águas pré-ozonizadas de 7,5 min ($D_{coag}=40$ mg/l e $pH_c=6,2$), 5 e 10 min ($D_{coag}=15$ mg/l e $pH_c = 3,6$), e uma remoção de 94% com as águas brutas natural ($D_{coag}=15$ mg/l e $pH_c=3,6$) e pré-ozonizada com 15 min ($D_{coag}=60$ mg/l e $pH_c=6,4$);

- A ocorrência de micro bolhas nas amostras das águas pré-ozonizadas, visualizadas a olho nú, podem ter impedido a sedimentação dos flocos mais leves, e prejudicado as leituras dos parâmetros de turbidez e cor aparente;

- Para uma mesma dosagem de coagulante e pH de coagulação, verificou-se que há aumento da concentração de ferro na água com o aumento da dosagem de ozônio aplicado; possivelmente, isto resulta da divisão de substâncias e compostos químicos presentes em pequenos fragmentos, acarretando a ocorrência de mais ligações metálicas;

- Quanto menor a dosagem de coagulante e pH de coagulação, maior resultou a concentração de ferro na água, para as águas brutas natural e pré-ozonizadas;

- As maiores concentrações de ferro na água resultaram quando a coagulação foi realizada com $D_{coag}=15$ mg/l e $pH_c=3,6$, tanto para a água bruta natural como para as pré-ozonizadas;

- Em geral a remoção de ferro foi satisfatória (da ordem de 70%) quando a água bruta (natural ou pré-ozonizadas) foi coagulada no mecanismo da varredura, para $D_{coag}=60$ mg/l e $pH_c=6,2$;

- A dosagem de coagulante mais eficiente na remoção de ferro, cor aparente e turbidez, com $V_s=0,8$ cm/min, foi a de 60 mg/l ($pH_c=6,4$), tanto para a água bruta natural e como para todas as pré-ozonizadas, embora a $D_{coag}=15$ mg/l e $pH_c=3,6$ tenha apresentado remoções altamente significativas de turbidez e cor aparente.

8. RECOMENDAÇÕES

Com base no trabalho realizado, recomenda-se:

- Realização de ensaios de coagulação - floculação, adotando -se um menor tempo e um gradiente de velocidade maior em equipamento adequado, para se chegar mais perto do número de Camp;
- Aplicação de ozônio em câmaras múltiplas, projetadas para operar em sistema de escoamento contínuo;
- Análises dos compostos orgânicos existentes na água de estudo, antes e após a ozonização e os seus efeitos;
- Ensaios de pré-ozonização e pré - cloração e comparação dos efeitos dos mesmos na remoção de turbidez, cor aparente e verdadeira, metais e compostos organoclorados em geral;
- Ensaios de coagulação, floculação, sedimentação e filtração com águas brutas naturais e pré-ozonizadas utilizando baixas dosagens de cloreto férrico e alto pH de coagulação, com exames bacteriológicos e determinações das concentrações dos parâmetros citados no item anterior, com amostras da águas brutas, decantadas e filtradas;

- Construção do diagrama de coagulação com água pré - ozonizada, para estudo dos melhores pontos de remoção de turbidez e cor aparente;
- Realização de pesquisas empregando a combinação de ozônio com peróxido de hidrogênio, ozônio com ultra-violeta e ozônio com carbono biologicamente ativado;
- Desenvolvimento de ensaios de ozonização em unidade piloto antes da aplicação definitiva do ozônio em uma Estação de Tratamento;
- Estudos da água pré-ozonizada com outros coagulantes, como por exemplo o sulfato de alumínio;
- Na adoção de baixos valores de pH nos processos de coagulação, floculação e sedimentação com o emprego do cloreto férrico como coagulante, deve-se levar em conta a ocorrência de corrosões nos equipamentos e a presença de espécies solúveis de metais.

9. REFERÊNCIA BIBLIOGRÁFICA

- AMIRTHARAJAH, A. The Mechanisms of Coagulation. Seminário Nacional sobre Coagulação e Filtração Direta, Julho, 18-21, 1989, São Carlos, São Paulo.

- a AMIRTHARAJAH, A. Theory and Practice of Rapid Mixing. Memorias del Seminario Internacional sobre Tecnologia Simplificada para Potabilización del Agua, Asoc. Col. de Ing. San. y Amb. (ACODAL). Cali, Colômbia, Ag., 1987.

- b AMIRTHARAJAH, A. The Use of Chemicals for Coagulation. Memorias del Seminario Internacional sobre Tecnologia Simplificada para Potabilización del Agua, Asoc. Col. de Ing. San. y Amb. (ACODAL). Cali, Colômbia, Ag., 1987.

- AMIRTHARAJAH, A.; ASCE, M. E TRUSLER, S.L. Destabilization of Particles by Turbulent Rapid Mixing. Journal of Environmental Engineering, 112(6): 1085-1108, 1986.

- AMIRTHARAJAH, A e MILLS, K.M. Rapid-Mix Design for Mechanisms of Alum Coagulation. Journal of American Water Works Association, 74(4): 210-216, 1982.
- ANSELME, G; SUFFET, I.H. e MALLEVIALLE, J. Effects of Ozonation on Tastes and Odors. Journal of American Water Works Association, 80(10): 45-51, 1988.
- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 16th ed., Washington, 1985, 1268 p.
- APHA, AWWA, WPCF. Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater, 17th ed. Washington, 1989, 1400 p.
- BENEFIELD, L.D; JUDKINS, J.F. e WEAND, B.L. Process Chemistry For Water And Wastewater Treatment. Englewood Cliffs, N.J., Prentice - Hall, Inc., 1982, 510 p.
- BERNARD, J. Opening Adress. Proceedings of the International Ozone Symposium, September, Rio de Janeiro, Brazil, 1988.
- BLACK, A.P.; BIRKNER, F.G. e MORGAN, J.J. Destabilization of Dilute Clay Suspensions with Labeled Polymers. Journal of American Water Works Association, 57(12): 1547 - , 1965.

- BOLLYKY, L. J. e SILER, J. Removal of Tributyl Phosphate from Aqueous Solution by Advanced Ozone Oxidation Methods. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- BRANCO, S.M. Hidrobiologia Aplicada à Engenharia Sanitária, São Paulo, Convênio BNH, ABES, CETESB 1978, 616 p.

- BRESAOLA, R. Influência da Pré - Ozonização na Coagulação-Floculação, Utilizando o Sulfato de Alumínio como Coagulante, Tese de Mestrado em Fase de Redação, Universidade Estadual de Campinas, UNICAMP, 1990.

- CANTER, K.P. et alii. Associations of Cancer Mortality With Halomethanes in Drinking Water. Journal Natl. Cancer Institute, 61, 1978, 979 p.

- CHELKOWSKA, K e GRASSO, D. Early Aqueous Ozone Decomposition - Progeny Speciation. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.

- CHEN, A.S.C. e SNOEYYINK, V.L. Activated Alumina Adsorption Of Dissolved Organic Compounds Before And After Ozonation. Environ. Sci. Technol., 21(1): 83-88, 1987.

- COGNET, L.; COURTOIS, Y. e MALLEVIALLE, J. Mutagenic Activity of Disinfection By-Products. Environ. Health Perspect., 69 : 165-175, 1986.

- COLLINS, A.G.; GRASSO, D. e FARVARDIN, M.R. Evaluating Preozonation as an Aid to Coagulation-Flocculation Processes. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.

- COMMITTEE, TRACE INORGANIC SUBSTANCES Research Needs for the Treatment of Iron and Manganese. Journal Of American Water Works Association, 79, 119-122, 1987.

- CONNELLY, P. e GEIGER, B. Treatment Of A New England River Water Source by Ozonation, Conventional Treatment, And Carbon Adsorption. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- CONSELHO ESTADUAL DE RECURSOS HÍDRICOS. Diagnóstico da Bacia do Rio Piracicaba. In: Plano Estadual de Recursos Hídricos: Primeiro Plano do Estado de São Paulo - Síntese, São Paulo, DAEE, 1990, 97 p.

- a- CUNLI, L. e FUCHUN, X. A Study On The Mathematical Models And Optimum Design Of Water Disinfection By Ozone. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- b- CUNLI, L. e FUCHUN, X. Mass Balance Analysis of Ozone in Conventional Bubble Column. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- DANIEL, P.A. e LANIER, M. Impact Of Ozonation On Formation Of Brominated Organics. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- DANIEL, P.A. e MEYERTHOFER, P.F. Oxidation Of Taste And Odor Causing Compounds. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- DAVIS, J.A. e GLOOR, R. Adsorption of Dissolved Organics in Lake Water by Aluminum Oxide, Effect of Molecular Weight. Environmental Science Technology, 15(10): 1223-1229, 1981.

- DERÍSIO, J.C. Controle da Poluição na Bacia do Rio Piracicaba em 1985. Ambiente - Revista da CETESB de Tecnologia, 1(1): 6-11, 1987.

- DI BERNARDO, L. Coagulação-Floculação Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 1990, 129 p.

- DI BERNARDO, L. Desinfecção. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 1989, 85 p.

- DI BERNARDO, L. Ozonização. Universidade de São Paulo - Escola de Engenharia de São Carlos, SP, 1989, 47 p.

- DI BERNARDO, L. e MENDES, C.G.N. Coagulação-Floculação de Águas Superficiais - Estudo de Caso. Seminário Nacional sobre Coagulação e Filtração Direta, Julho, 18-21, 1989, São Carlos, SP.

- DI BERNARDO, L.; MENDES, C.G.N e GUIMARÃES, A.F. Coagulação Floculação de Águas Com Turbidez ou Cor Elevada. Revista DAE, 47(150), 227-239, 1987.
- DI BERNARDO, L. e PENNA, I.A. Influência da Mistura Rápida Hidráulica nas Operações de Floculação e Sedimentação. Revista DAE, 45(143), 408 -419, 1985.
- DIMITRIOU, M.A e MIERZEJEWSKI, M.K Cost Effectiveness and Ozone System Design. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- DORE, M.; NOMPEX, Ph.; DE LAAT, J.; BAWA, M. e LEGUBE,B. Ozonation of Molecules Constituting Cellular Matter. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- DOWBIGGIN, W.B. e SINGER, P.C. Effects of Natural Organic Matter and Calcium on Ozone-Induced Particle Destabilization. Journal of American Water Works Association, (81)8 : 77-84, 1989.
- DUGUET, J.P.; BRUCHET, A. e MALLEVIALLE, J. Geosmin And 2-Methylisoborneol Removal. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- DRAGO, J.A. Planning for Future Ozonation Facilities at Existing Water Treatment Plants. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.

- EDWARDS, G.A. e AMIRTHARAJAH, A. Removing Color Caused by Humic Acids. Journal Of American Water Works Association, 77 (3): 50-57, 1985.

- FARVARDIN, M.R. e COLLINS, A.G. Preozonation as Aid in the Coagulation of Humic Substances-Optimum Preozonation Dose. Water Research, 23(3): 307-316, 1989.

- FRANCISCO JR., R. Experiences with Ozone in Brazil. International Ozone Symposium, September, Rio de Janeiro, Brazil, 1988.

- GEERING, F. Experiences with a New Plant for Treatment of Lake Zurich Water. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- GILLI, G.; SCURSATONI, L.; PALIN, L.; BONO, R.; CARRARO, E.; MEUCCI, L. Water Disinfection: A Relationship Between Ozone and Aldehydes Production. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- GLAZE, W.H. Drinking-Water Treatment with Ozone. Environ. Sci. Technol., 21(3): 224-230, 1987.

- GLAZE, W.H et alii. Evaluation Of Ozonation By Products from Two California Surface Water. Journal of American Water Works Association, 81(8): 66-73, 1989.

- GORDON, G.; RAKNESS, K; VORNEHM, D e WOOD, D. Limitations of the Iodometric Determination of Ozone Journal of American Water Works Association, (81)8: 72-76, 1989.

- GOULD, J. P. e ULIRSCH, G. V. Development of a Structure Based Predictive Model for Overall Ozonation Kinetics of Nitrophenols. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- GRASSO, D. e WEBER, W.J. Ozone-Induced Particle Destabilization. Journal of American Water Works Association, 80(8): 73-81, 1988.

- GRASSO, D.; WEBER, W.J. e DEKAM, J.A. Effects of Preoxidação With Ozone On Water Quality: A Case Study. Journal of American Water Works Association, (81)8: 85-92, 1989.

- GURROL, M.D. Factors Controlling the Removal of Organic Pollutants in Ozone Reactors. Journal of American Water Works Association, 77(8): 55-65, 1985.

- HOIGNÉ, J. Mechanisms, Rates and Selectivities of Oxidations of Organic Compounds Initiated by Ozonation of Water. In: RICE, R.G. and NETZER, A. (Ed.), Handbook of Ozone Technology and Applications, Ann Arbor, Mich., Ann Arbor Sci. Publ., 1982.

- HOIGNÉ, J. e BADER, H. Rate Constants of Reaction of Ozone with Organic and Inorganic Compounds in Water. Water Research, 17: 173-183, 1983.

- HUNDT, R.R. The Removal of Fulvic Acid Using Alumin Coagulants: Mechanisms and Application. Ph.D. Dissertation, John Hopkins University, 1985. Washington, 1989, 1400 p.
- IOA, INTERNATIONAL OZONE ASSOCIATION. Standardisation Committee Europe, Brussels, annex 01 a 02/87 e 01 a 04/88.
- JACANGELO, J.G. et alii. Ozonation: Assessing its Role in the Formation and Control of Disinfection By-Products. Journal of American Water Works Association, 81 (8):77-84, 1989.
- JODY, B.J.; KLEIN, M.J. e JUDEIKIS, H. Catalytic O₃/UV Treatment of Wastewater Containing Mixtures of Organic and Inorganic Pollutants. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- JOHNSON, P.N. e AMIRTHARAH, A. Ferric Chloride And Alum As A Single And Dual Coagulants. Journal Of American Water Works Association, 75(5): 232-239, 1983.
- JOLLEY, R. et alii. Water Chlorination (Chemistry, Environmental Impact and Health Effects), Chelsea, Michigan, Lewis Publishers, 1985.
- JOOST, R.D.; JACKSON, L.A. e BOLLYKY, J. Optimization of Ozone Contactors For Drinking Water Disinfection. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- KATE, C. e GRASSO, D. Early Aqueous Ozone Decomposition- Progeny Speciation. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.
- KLEIN, B. and SMITH, D.W. A Study of Ozone Treatment at Canadian Water Plants. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.
- KNOCKE, W.R; HOEHN, R.C e SINSABAUGH, R.L. Using Alternative Oxidantes to Remove Dissolved Manganese From Waters Laden With Organics. Journal Of American Water Works Association, 79(3): 75-79, 1987.
- LAPLANGE, A.; SAUZE, N.L. e LANGLAIS, B. Simulation of Ozone Transfer In Water Comparison With a Pilot Unit. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- LEPAGE, W.L. A Treatment Plant Operator Assesses Ozonation. Journal of American Water Works Association, 78(8): 44-48, 1985.
- LETTERMAN, R.D.; QUON, J.E e GEMMELL, R.S. Influence Of Rapid-Mix Parameters On Flocculation. Journal Of American Water Works Association, 65(11): 716-722, 1973.
- LIANG, S.; STOLARIK, G.F.; TATE, C.H e GLAZE, W.H. The "Big Switch": Los Angeles Aqueduct Filtration Plant Treatment of California State Project Water. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- MASSCHELEIN, W.J. Design Rules of Ozonation Systems. Proceedings of the International Ozone Symposium, September, Rio de Janeiro, Brazil, 1988.
- a- MASSCHELEIN, W.J. Present State Of Standardization of Ozone Measurements In Europe. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.
- b- MASSCHELEIN, W.J. UV - Reactor Geometry for Water Treatment - Part 2: Development of ISO - Intensity Reactor. Proceedings of Ninth Ozone World Congress, June 3-9, New York, USA, 1989.
- MATIJEVIC, E. Colloid Stability and Complex Chemistry. Journal of Colloid and Interface Science, 43(2): 217-245, 1973.
- McKEON, W.R. e MULDOWNY, J.J. Evaluating Alternative Coagulants to Determine Efficiency and Cost Effectiveness. Journal Of American Water Works Association, 79(11): 71-75, 1987.
- MONK, R.D.G et alii. Prepurchasing Ozone Equipment. Journal of American Water Works Association, 77: 49-54, 1985.
- MORGAN, J.J. e STUMM, W. The Role of Multivalent Metal Oxides in Limnological Transformation, as Exemplified by Iron and Manganese. Proceedings of the Second International Water Pollution Research Conference, New York, 1964.

- MORRIS, J. e KNOCKE, W.R. Temperature. Effects on the Use of Metal - ions Coagulants for Water Treatment. Journal Of American Water Works Association, 76(3): 74-79, 1984.

- NEBEL, C. Ozone. In: KIRK, R.E and OTHMER, D.F (Ed.), Encyclopedia of Chemical Technology, 3rd edition, Vol.16, Wiley, New York, 683-713, 1981.

- NIEMINSKI, E.C e KUTZ, M.S. Impacts Of Ozone Treatment On Selected Microbiological Parameters In Colorado River Water. Proceedings of the Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- O'MELIA, C.R. Particle-Particle Interactions. In: STUMM, W. (ed.), Aquatic Surface Chemistry, Wiley-Interscience, New York, 1987.

- PAILLARD, H; LEFEBVRE, E. e LEGUBE, B. The Effect Of Ozonation On Organics Removal By Coagulation-Flocculation. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- PEREZ, J.M.; CANÉPA DE VARGAS, L.M. e RICHTER, C. Coagulação. In: Evaluacion de Plantas de Tratamiento de Agua. Lima, Manual DTIAPA nº C-5, CEPIS, Tomo I, Cap.1, p. 1-77, 1984.

- PEYTON, G.R. Modeling Advanced Oxidations Processes for Water Treatment. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.

- PROCHNOW, M.C.R. A Qualidade das Águas na Bacia do Rio-Piracicaba. Dissertação de Mestrado, Instituto de Geociências e Ciências Exatas do Campus de Rio Claro, UNESP, 1981.
- RICHARD, Y. Importance de L'Ozone Dans Les Procédés D'Oxydation Pour Le Traitement de L'Eau Potable-Interférence Avec Les Autres Oxydants. Proceedings Of the Fifth Ozone World Congress, April, Berlin, West Germany, 1981.
- RICHARD, Y.R. Use of Ozone in Drinking Water Production. Proceedings of the International Ozone Symposium, September, Rio de Janeiro, Brazil, 1988.
- RICHARD, Y. e JACQ, P. Advantages Of Preozonation In The Upgrading Of The Mont Valerien Plant In France. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- RICE, R.G. The Impact of a Chemicals on a Limited Resource. In: Safe Drinking Water: The Impact of Chemicals on a Limited Resource, Rice, R.G. Editor, Chelsea, Lewis Publishers, 1985.
- RICE,R.G. and NETZER, A. Handbook of Ozone Technology and Applications. Butterworth Publishers, Boston, Ma. 1982.
- RICHTER, C. e CANÉPA DE VARGAS, L.M. Floculação. In: Evaluacion de Plantas de Tratamiento de Agua. Lima, Manual DTIAPA nº C-5, CEPIS, Tomo I, Cap.2, 79-116, 1984.

- ROOK, J.J. Formation of Haloforms during Chlorination of Natural Waters. Journal Water Treat. Exam, 23: 234-243, 1974.
- SAWYER, G.L. e McCARTY, P.L. Chemistry For Environmental Engineering. New York, McGraw-Hill, Inc., 1978, 532 p.
- SCHULHOF, P. e SMITH, P.D. Generation of Ozone Proceedings of the International Ozone Symposium September, Rio de Janeiro, Brazil, 1988.
- SEASE, J. Ozone Mass Transfer and Contact Systems. Proceedings of the Second International Symposium of Ozone. The International Ozone Institute, James Ville, New York, 1976.
- SIERKA, R.A.; AMY, G.L. e RENNA, J. Molecular Weight Characterization Of Color Constituents And Subsequent Removal By Ozone And Activated Carbon Adsorption. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- SINGER, P.C.; ROBINSON, K. e ELEFRITZ, R.A. Ozonation At Belle Glade, Florida: A Case History. Proceedings of the Ninth Ozone World Congress, June, 3-9, New York, USA, 1989.
- SNOEYINK, V.L. E JENKINS, D. Water Chemistry. New York, John Wiley & Sons, Inc., 1980, 463 p.
- SOTELO, J.L et alii. Henry's Law Constant for the Ozone-Water System. Water Research, 23(10): 1239-1246, 1989.

UNIVERSIDADE ESTADUAL DE CAMPINAS
FACULDADE DE ENGENHARIA CIVIL
DEPARTAMENTO DE HIDRÁULICA E SANEAMENTO

INFLUÊNCIA DA PRÉ - OZONIZAÇÃO NA COAGULAÇÃO - FLOCULAÇÃO
UTILIZANDO O CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE

VOLUME II

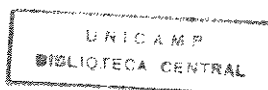
MARIA DE LOURDES DI MATTEO

ORIENTADOR: DR. LUIZ DI BERNARDO

Dissertação apresentada à Faculdade de Engenharia Civil, da Universidade de Campinas, para obtenção do título Mestre em Hidráulica e Saneamento.

*VERSÃO DEFINITIVA
APROVADA
Luiz Di Bernardo
16/07/93*

Campinas
Estado de São Paulo
Junho de 1992



**INFLUÊNCIA DA PRÉ - OZONIZAÇÃO NA COAGULAÇÃO - FLOCULAÇÃO
UTILIZANDO O CLORETO FÉRRICO COMO COAGULANTE**

VOLUME II

MARIA DE LOURDES DI MATTEO

ORIENTADOR: DR. LUIZ DI BERNARDO

APÉNDICES

A P Ê N D I C E A

"Ensaio de Coagulação, Floculação Sedimentação
com a Água Bruta Natural"

TABELA A.1 Ensaios de Coagulação, Flocculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 01		DATA : 03 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 10,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	5,0	9,8	10,0	91	105,0	120
02	7,5	9,7	10,0	91	90,0	100
03	10,0	9,7	7,8	71	80,0	89
04	12,5	9,6	4,0	36	65,0	72
05	15,0	9,5	3,5	32	50,0	56
06	17,5	9,4	3,5	32	40,0	44

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l Pt-Co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conductiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	11,0	90,0	32,0	187,58	92,0

TABELA A.2 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 02		DATA : 03 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 10,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	9,5	2,2	20	40,0	44
02	22,5	9,4	1,5	14	35,0	39
03	25,0	9,3	1,5	14	35,0	39
04	27,5	9,2	1,4	19	30,0	33
05	30,0	9,0	1,4	19	30,0	33
06	32,5	8,8	1,4	19	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co] mg/l	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	11,0	90,0	92,0	187,58	92,0

TABELA A.3 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 03		DATA : 03 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 10,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	35,0	8,4	1,4	13	25,0	28
02	40,0	7,9	1,3	12	25,0	28
03	45,0	7,5	1,0	9	25,0	28
04	50,0	7,2	1,0	9	15,0	17
05	55,0	7,0	0,95	9	15,0	17
06	60,0	6,9	1,0	9	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
NAT.	7,3	25	11,0	90,0	32,0	187,58	92,0
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)

TABELA A. 4 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 04		DATA : 05 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 9,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	8,2	11,0	100	90,0	100
02	7,5	7,9	11,0	100	90,0	100
03	10,0	7,6	11,0	100	90,0	100
04	12,5	7,4	11,0	100	100,0	110
05	15,0	7,3	11,0	100	100,0	110
06	17,5	7,2	12,0	109	105,0	120

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	11,0	90,0	92,0	184,26	92,0

TABELA A. 5 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 05		DATA : 05 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 9,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	7,1	11,0	100	100,0	110
02	22,5	7,0	11,0	100	100,0	110
03	25,0	6,9	8,0	73	90,0	100
04	27,5	6,9	4,0	36	50,0	56
05	30,0	6,8	2,0	18	35,0	39
06	32,5	6,7	1,5	14	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	11,0	90,0	93,0	184,23	92,0

TABELA A. 6 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 06		DATA : 05 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 9,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	35,0	6,6	1,2	11	20,0	22
02	40,0	6,5	0,97	9	10,0	11
03	45,0	6,9	0,97	9	10,0	11
04	50,0	6,2	0,97	9	10,0	11
05	55,0	6,0	1,0	9	10,0	11
06	60,0	5,8	1,5	14	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Conduktiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	11,0	90,0	99,0	184,26	92,0

TABELA A.7 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 07	DATA : 07 /10 / 89
COAGULANTE : CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 8,0	
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min. ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min. ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min. VELOCIDADE : 1,0 cm/min.

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	7,4	11,0	92	90,0	100
02	7,5	7,9	11,0	92	90,0	100
03	10,0	7,2	11,0	92	90,0	100
04	12,5	7,1	11,0	92	100,0	110
05	15,0	7,1	10,0	89	100,0	110
06	17,5	7,0	10,0	89	105,0	120

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co] mg/l	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	11,0	90,0	92,5	187,58	92,0

TABELA A.8 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 08		DATA : 07 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 8,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	6,9	10,0	83	105,0	120
02	22,5	6,8	10,0	89	105,0	120
03	25,0	6,7	4,5	98	70,0	78
04	27,5	6,7	2,2	18	50,0	56
05	30,0	6,6	1,2	10	30,0	33
06	32,5	6,6	1,2	10	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	92,5	187,58	92,0

TABELA A.9 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 09		DATA : 07 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 8,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	35,0	6,5	0,95	8	10,0	11
02	40,0	6,3	1,0	8	10,0	11
03	45,0	6,1	1,0	8	5,0	6
04	50,0	6,0	1,0	8	5,0	6
05	55,0	5,8	1,2	10	15,0	17
06	60,0	5,6	1,5	19	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	32,5	187,58	32,0

TABELA A.10 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 10		DATA : 09 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 7,3			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	7,1	12,0	100	90,0	100
02	7,5	7,0	12,0	100	90,0	100
03	10,0	6,9	12,0	100	90,0	100
04	12,5	6,8	12,0	100	100,0	110
05	15,0	6,8	12,0	100	100,0	110
06	17,5	6,8	12,0	100	100,0	110

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	99,0	195,88	92,0

TABELA A.11 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 11		DATA : 09 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 7,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	7,0	12,0	100	90,0	100
02	7,5	7,0	12,0	100	90,0	100
03	10,0	6,9	12,0	100	90,0	100
04	12,5	6,8	12,0	100	100,0	110
05	15,0	6,8	12,0	100	90,0	100
06	17,5	6,7	12,0	100	100,0	110

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	99,0	195,88	92,0

TABELA A.12 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 12		DATA : 10 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 7,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTACÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	6,6	12,0	100	100,0	110
02	22,5	6,6	6,4	53	90,0	100
03	25,0	6,4	2,0	17	40,0	44
04	27,5	6,4	1,5	13	25,0	28
05	30,0	6,3	1,0	8	10,0	11
06	32,5	6,3	2,5	21	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Conduktiv.	Dureza
		(c)	(ut)	mg/l [Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	99,0	215,80	92,0

TABELA A.13 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 13		DATA : 10 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 7,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	7,0	12,0	100	90,0	100
02	7,5	7,0	12,0	100	90,0	100
03	10,0	6,8	12,0	100	100,0	110
04	12,5	6,8	12,0	100	100,0	110
05	15,0	6,7	12,0	100	100,0	110
06	17,5	6,7	12,0	100	100,0	110

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conductiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	99,0	215,80	92,0

TABELA A.14 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 14		DATA : 10 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 7,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	35,0	6,1	0,9	8	5,0	6
02	40,0	6,0	1,0	8	10,0	11
03	45,0	5,7	1,5	19	10,0	11
04	50,0	5,5	1,4	12	10,0	11
05	55,0	5,1	1,6	19	20,0	22
06	60,0	4,7	2,0	17	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	12,0	90,0	99,0	215,80	32,0

TABELA A.15 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 15		DATA : 16 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 6,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	6,2	13,0	99	90,0	100
02	7,5	6,1	13,0	99	100,0	110
03	10,0	6,1	13,0	99	105,0	120
04	12,5	6,0	13,0	99	100,0	110
05	15,0	5,8	9,7	69	90,0	100
06	17,5	5,7	9,5	25	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	mg/l [Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	14,0	90,0	95,0	209,19	96,0

TABELA A.16 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 16		DATA : 16 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 6,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	5,7	1,0	7	10,0	11
02	22,5	5,6	1,5	11	10,0	11
03	25,0	5,2	2,0	14	10,0	11
04	27,5	5,1	2,7	19	20,0	22
05	30,0	4,8	2,9	21	20,0	22
06	32,5	4,6	2,2	16	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	mg/l [Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	14,0	90,0	35,0	209,19	36,0

TABELA A.17 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 17		DATA : 16 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 6,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	35,0	4,3	1,4	10	10,0	11
02	40,0	4,2	1,5	11	10,0	11
03	45,0	3,5	2,2	16	20,0	22
04	50,0	3,8	3,2	23	40,0	44
05	55,0	3,7	4,4	31	60,0	67
06	60,0	3,7	5,4	39	80,0	89

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	14,0	90,0	35,0	209,13	36,0

TABELA A.18 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 18		DATA : 19 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 9,5			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	9,1	14,0	93	90,0	100
02	7,5	9,1	13,0	87	90,0	100
03	10,0	8,9	9,5	63	90,0	100
04	12,5	8,6	6,9	46	60,0	67
05	15,0	8,3	5,4	36	50,0	56
06	17,5	8,1	4,6	31	50,0	56

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	11,0	90,0	35,0	215,80	36,0

TABELA A.19 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 19		DATA : 19 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 9,5			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/L [Pt-Co]	(%)
01	20,0	7,8	4,4	29	50,0	56
02	22,5	7,6	4,0	27	50,0	56
03	25,0	7,4	3,2	21	40,0	44
04	27,5	7,3	2,5	17	40,0	44
05	30,0	7,2	1,7	11	30,0	33
06	32,5	7,2	1,7	11	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conductiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	15,0	90,0	95,0	215,80	96,0

TABELA A.20 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 20		DATA : 19 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 5,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	4,1	2,0	19	15,0	17
02	22,5	4,0	2,9	19	20,0	22
03	25,0	3,9	3,5	23	25,0	28
04	27,5	3,8	5,0	33	30,0	33
05	30,0	3,7	6,0	40	50,0	56
06	32,5	3,6	6,5	43	50,0	56

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Conductiv.	Dureza
		(c)	(ut)	mg/l [Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	15,0	90,0	95,0	215,80	96,0

TABELA A.21 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 21		DATA : 24 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	11,0	50,0	10,4	1,9	9	20,0	20
02	11,0	55,0	10,3	2,0	13	25,0	25
03	11,0	60,0	10,2	2,3	15	30,0	30
04	10,0	65,0	6,8	3,0	20	40,0	40
05	10,0	70,0	6,7	1,7	11	20,0	20
06	10,0	75,0	6,5	2,0	13	20,0	20

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	15,0	100,0	36,0	230,74	39,0

TABELA A.22 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 22		DATA : 24 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	6,5	27,5	5,5	1,9	19	10,0	10
02	6,7	30,0	6,1	1,9	19	10,0	10
03	6,7	32,5	5,9	2,0	19	10,0	10
04	6,7	35,0	5,8	2,0	19	15,0	15
05	6,7	40,0	5,7	1,9	19	15,0	15
06	8,5	45,0	6,4	2,0	19	15,0	15

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	mg/l [Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	15,0	100,0	96,0	290,74	99,0

TABELA A.23 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 23		DATA : 24 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	10,0	80,0	6,5	0,95	6	5,0	5
02	10,0	85,0	6,4	1,2	8	10,0	10
03	10,0	90,0	6,2	1,2	8	10,0	10
04	9,5	50,0	6,7	1,0	7	10,0	10
05	9,5	55,0	6,6	0,98	7	10,0	10
06	9,5	60,0	6,5	1,0	7	9,0	9

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	15,0	100,0	36,0	230,74	39,0

TABELA A.24 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 24		DATA : 25 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt=Co]	(%)
01	5,0	12,5	4,8	1,5	10	10,0	10
02	5,0	15,0	4,2	2,0	13	20,0	20
03	5,0	17,5	4,1	2,0	13	20,0	20
04	5,5	20,0	4,8	2,2	15	20,0	20
05	5,5	22,5	4,2	2,2	15	20,0	20
06	5,5	25,0	4,1	4,2	28	25,0	25

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	15,0	100,0	36,0	295,72	39,0

TABELA A.25 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 25		DATA : 25 /10 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	5,7	12,5	5,9	4,0	27	25,0	25
02	5,7	17,5	4,9	2,6	17	20,0	20
03	5,7	22,5	4,9	3,0	20	25,0	25
04	10,3	50,0	8,4	1,0	7	15,0	15
05	10,3	55,0	8,0	1,0	7	15,0	15
06	10,3	60,0	7,6	1,5	10	15,0	15

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,9	25	15,0	100,0	96,0	295,72	99,0

TABELA A. 26 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 26		DATA : 01 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 4,0			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTACÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	4,4	6,1	34	40,0	44
02	7,5	4,3	2,5	14	20,0	22
03	10,0	4,0	2,2	12	20,0	22
04	12,5	3,9	2,0	11	20,0	22
05	15,0	3,9	2,5	14	20,0	22
06	17,5	3,8	4,5	25	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,4	25	18,0	90,0	95,0	290,50	35,0

TABELA A. 27 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 27		DATA : 01 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	3,4	5,0	9,5	4,5	25	25,0	28
02	3,4	7,5	9,4	2,8	16	20,0	22
03	3,4	10,0	9,4	2,5	14	20,0	22
04	3,6	12,5	9,6	1,5	8	10,0	11
05	3,6	15,0	9,5	1,6	9	10,0	11
06	3,6	17,5	9,6	9,1	17	17,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conductiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,4	25	18,0	90,0	95,0	290,50	95,0

TABELA A.28 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 28		DATA : 06 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt=Co]	(%)
01	4,7	5,0	4,7	12,0	67	80,0	89
02	4,7	7,5	4,6	5,7	32	35,0	39
03	4,7	10,0	4,4	2,7	15	20,0	22
04	4,3	12,5	4,1	3,4	19	25,0	28
05	4,4	15,0	4,2	3,5	19	25,0	28
06	4,4	17,5	4,1	5,2	29	30,0	33

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCo3/l)	(µmho/cm)	(mgCaCO3/l)
NAT.	8,4	25	18,0	90,0	97,0	348,60	95,0

TABELA A.29 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 29		DATA : 06 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	(mg/l [Pt-Co])	(%)
01	5,0	25,0	6,1	2,2	12	15,0	17
02	6,0	30,0	6,5	2,5	14	25,0	28
03	7,0	35,0	6,1	2,0	11	15,0	17
04	8,0	40,0	6,0	2,2	12	15,0	17
05	9,0	45,0	6,2	2,5	14	25,0	28
06	10,0	50,0	6,3	2,6	14	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l [Pt-Co])	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,4	25	18,0	90,0	97,0	948,60	28,0

TABELA A. 30 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 30		DATA : 08 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)
01	3,5	5,0	9,7	6,0	33	35,0	30
02	3,0	7,5	9,2	4,0	22	25,0	28
03	3,2	10,0	9,9	3,0	17	20,0	22
04	3,0	12,5	9,0	3,0	17	20,0	22
05	3,0	15,0	9,0	2,5	14	20,0	22
06	3,0	17,5	9,0	2,7	15	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co] (mg/l)	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,5	25	18,0	90,0	10,1	189,48	39,0

TABELA A. 31 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 31		DATA : 08 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : 5,2			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	12,5	5,1	3,0	18	20,0	22
02	15,0	5,0	2,7	16	20,0	22
03	17,5	4,7	2,6	15	20,0	22
04	20,0	4,4	5,0	29	30,0	33
05	25,0	4,3	3,5	21	25,0	28
06	27,5	4,1	4,6	27	30,0	33

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,5	25	17,0	90,0	101,0	189,49	99,0

TABELA A. 32 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 32		DATA : 08 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	4,5	22,5	5,7	4,2	23	25,0	28
02	5,0	25,0	5,2	3,0	17	20,0	22
03	5,5	27,5	5,6	3,0	17	15,0	17
04	6,0	30,0	6,2	3,0	17	25,0	28
05	8,0	40,0	5,0	3,5	19	25,0	28
06	10,0	50,0	4,5	2,5	14	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,5	25	18,0	90,0	10,1	189,49	99,0

TABELA A. 33 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 33		DATA : 08 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt=Co]	(%)
01	1,5	7,5	4,0	3,9	22	25,0	28
02	1,5	7,5	3,0	3,0	17	20,0	22
03	2,0	10,0	2,9	3,2	18	25,0	28
04	2,5	12,5	2,9	3,0	17	25,0	28
05	3,0	15,0	3,3	2,5	14	25,0	28
06	3,5	17,5	3,3	2,7	15	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,5	25	18,0	90,0	10,1	189,43	33,0

TABELA A. 34 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 34		DATA : 14 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	6,5	40,0	5,2	2,5	29	25,0	28
02	9,6	40,0	7,2	1,1	10	20,0	22
03	9,3	40,0	6,8	1,5	14	20,0	22
04	6,3	40,0	4,3	3,4	31	40,0	44
05	9,5	45,0	6,8	1,7	15	25,0	28
06	7,2	45,0	6,0	1,8	16	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	11,0	90,0	28,0	297,98	96,0

TABELA A. 35 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 35		DATA : 14 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	7,4	45,0	6,0	2,0	20	25,0	28
02	6,2	50,0	4,2	2,2	22	25,0	28
03	10,2	50,0	8,7	1,5	15	25,0	28
04	7,6	60,0	5,2	1,4	14	15,0	17
05	5,9	35,0	4,2	4,0	40	40,0	44
06	6,2	35,0	5,2	3,0	30	35,0	39

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l [Pt-Co])	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	10,0	90,0	28,0	297,98	96,0

TABELA A. 36 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 36		DATA : 14 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBÍDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	6,5	32,5	4,9	2,0	20	20,0	22
02	6,0	30,0	5,2	2,0	20	20,0	22
03	5,0	25,0	5,6	2,5	25	25,0	28
04	5,0	25,0	4,1	3,4	25	25,0	28
05	4,5	22,5	4,2	3,0	25	25,0	28
06	4,0	20,0	4,0	4,0	25	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap. mg/l	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	[Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	10,0	90,0	28,0	297,98	94,0

TABELA A. 37 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 37		DATA : 14 /11 / 89	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTACÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	3,6	13,0	9,7	2,0	20	15,0	19
02	3,6	14,0	9,5	2,0	20	15,0	19
03	3,6	15,0	9,5	2,5	25	20,0	25
04	9,5	50,0	6,7	1,0	10	10,0	13
05	9,6	55,0	6,6	1,0	10	10,0	13
06	4,5	7,0	4,8	9,5	95	25,0	91

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,7	25	10,0	80,0	28,0	297,98	94,0

TABELA A. 38 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 38		DATA : 11 / 01 / 90	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	4,0	20,0	4,8	3,0	21	25,0	36
02	4,5	22,5	5,8	1,2	9	10,0	14
03	5,0	25,0	5,4	2,0	14	10,0	14
04	2,6	13,0	3,8	2,4	17	25,0	36
05	2,8	14,0	3,8	2,7	19	20,0	29
06	3,0	15,0	3,8	3,0	21	20,0	29

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	14,0	70,0	32,0	297,98	33,0

TABELA A. 39 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 39		DATA : 11 / 01 / 90	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	3,2	13,0	3,3	2,5	18	25,0	36
02	3,3	14,0	3,4	2,2	16	20,0	29
03	3,3	15,0	3,4	2,2	16	20,0	29
04	5,7	19,0	4,9	3,5	25	30,0	43
05	5,8	20,0	4,7	3,0	21	25,0	36

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l (Pt-Co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	14,0	70,0	32,0	297,98	33,0

TABELA A. 40 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Porcentagens Remanescentes Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 40		DATA : 16 /01 / 90	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : Variável	
pH DA ÁGUA BRUTA CORRIGIDO : Variável			
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 30,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	VELOCIDADE : 1,0 cm/min.	

FRASCO	pH CORRIG.	DOSAGEM DE COAGULANTE (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	3,4	13,0	3,5	2,3	16	20,0	25
02	3,4	14,0	3,5	2,4	17	20,0	25
03	6,1	20,0	5,4	1,9	14	10,0	13
04	5,9	22,5	4,9	3,9	28	30,0	38
05	6,0	24,0	4,9	4,0	29	30,0	38
06	3,4	13,5	3,5	2,3	16	20,0	25

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,6	25	14,0	80,0	91,0	297,98	99,0

A P Ê N D I C E B

"Diagramas de Coagulação para o Fe III"

A P Ê N D I C E C

"Estudo do Comportamento da Água Bruta
Pré-Ozonizada, Controlada Através de Ensaio de
Coagulação - Floculação, em Relação ao Tempo"

TABELA C.1 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 1		DATA : 24/01/90	
OSONIZAÇÃO :	TEMPO : -----min	DOSAGEM : ----- mg/l	
ÁGUA BRUTA NATURAL			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : 40,9 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,5 TEMPO : 1,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		(ut)	(%)	[Pt-Co] mg/l	(%)
01	5,0	8,5	15	20,0	11
02	10,0	5,1	9	15,0	8
03	15,0	4,2	8	10,0	6
04	20,0	3,5	6	10,0	6
05	25,0	3,0	5	5,0	3
06	30,0	2,4	4	5,0	3

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	25	55,0	180,0	-----

TABELA C.2 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO	Nº : 1	DATA : 24/01/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O		

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (cm)
-----	210,0	4,50

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	55,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,6
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	325,0
Voltagem	(V)	117,5

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	13,80
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	2,66

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	5,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	-----
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	1,05
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /lO ₂)	8,14

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	5,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	2,3
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,17

TABELA C. 3 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 3		DATA : 24/01/90	
OSONIZAÇÃO :	TEMPO : 5,0 min	DOSAGEM : 1,05 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OSONIZADA COM COLETA IMEDIATA			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : 40,9 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,5 TEMPO : 1,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		Cut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	9,0	16	25,0	14
02	10,0	7,5	14	20,0	11
03	15,0	4,0	7	10,0	6
04	20,0	6,0	11	10,0	6
05	25,0	4,5	8	10,0	6
06	30,0	3,5	6	5,0	3

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Apar. (mg/lPt-Co)	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	255	55,0	180,0	—————
OSONIZADA	7,16	25	35,0	125,0	—————

TABELA C. 4 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 1		DATA : 24/01/90	
OSONIZAÇÃO :	TEMPO : 5,0 min	DOSAGEM : 1,05 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OSONIZADA - COLETA APÓS 15 H. DA OSONIZAÇÃO			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : 40,9 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,5 TEMPO : 1,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	TURBÍDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	11,0	20	30,0	17
02	10,0	14,0	25	40,0	22
03	15,0	6,0	11	15,0	8
04	20,0	5,0	9	10,0	6
05	25,0	5,5	10	10,0	6
06	30,0	7,0	13	15,0	8

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	255	55,0	180,0	————
OSONIZADA	7,16	25	35,0	125,0	————

TABELA C. 5 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 1		DATA : 24/01/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5,0 min	DOSAGEM : 1,05 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COLETA APÓS 22 H. DA OZONIZAÇÃO			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : 40,9 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,5 TEMPO : 1,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		(ut)	(%)	[mg/l Pt-Co]	(%)
01	5,0	11,0	20	25,0	14
02	10,0	6,0	11	15,0	8
03	15,0	5,5	10	15,0	8
04	20,0	6,0	11	15,0	8
05	25,0	5,5	10	10,0	6
06	30,0	6,5	12	15,0	8

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/l Pt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	25	55,0	180,0	—————
OZONIZADA	7,16	25	95,0	125,0	—————

TABELA C.6 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 2		DATA : 30/01/90	
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : 38,1 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 1,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	pH COAG	TEMPO FLOCULAÇÃO (min)	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	6,4	5,0	5,0	10	20,0	14
02	6,4	10,0	4,0	8	15,0	11
03	6,4	15,0	2,7	5	10,0	7
04	6,4	20,0	3,2	6	10,0	7
05	6,5	25,0	3,5	7	10,0	7
06	6,5	30,0	4,5	9	15,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	50,0	140,0	—

TABELA C.7 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO	Nº : 2	DATA : 30/01/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O		
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
-----	210,0	4,50
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	55,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,6
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	325,0
Voltagem	(V)	117,5
PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	9,90
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	1,91
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	50,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	-----
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	7,58
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan) (mgO ₃ /lO ₂)		5,88
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	50,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	49,7
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,11

TABELA C. 8 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 2		DATA : 30/01/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 50,0 min	DOSAGEM : 7,58 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COM COLETA IMEDIATA			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : Variável	
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 1,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	pH COAG.	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	38,1	6,5	5,0	6,0	12	20,0	14
02	40,9	6,5	10,0	4,2	8	10,0	7
03	40,9	6,5	15,0	3,5	7	10,0	7
04	40,9	6,5	20,0	4,2	4	10,0	7
05	40,9	6,5	25,0	4,5	9	10,0	7
06	40,9	6,5	30,0	4,5	9	10,0	7

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	50,0	140,0	—
OZONIZADA	7,1	25	37,0	125,0	—

TABELA C. 9 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 3		DATA : 31/01/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : -----	DOSAGEM : -----	
ÁGUA BRUTA NATURAL			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : VARIÁVEL	
COAGULAÇÃO :	pH : VARIÁVEL TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 Min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	DOSAGEM POLÍMERO (0,1%) (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(cut)	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)
01	33,0	0,1	6,6	2,5	7	10,0	7
02	33,0	0,3	6,6	2,9	7	5,0	4
03	33,0	0,5	6,6	2,2	6	10,0	7
04	40,0	0,1	6,5	3,2	9	10,0	7
05	40,0	0,3	6,5	2,0	6	5,0	4
06	40,0	0,5	6,5	2,0	6	5,0	4

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T	Turb.	Cor Apar.	Alcalinidade
		(c)	(cut)	[mg/lPt-Co]	(mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	35,0	140,0	25,0

TABELA C.10 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	3	DATA :	31/01/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
----	192,0	4,10

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	80,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,8
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	505,0
Voltagem	(V)	117,5

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	10,55
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	2,03

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	5,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	-----
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	0,88
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /lO ₂)	4,02

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	5,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	0,15
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(mg/l)	$3,9 \cdot 10^{-3}$

TABELA C.11 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 3		DATA : 31/01/90	
OSONIZAÇÃO :	TEMPO : 5,0 min	DOSAGEM : 0,88 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OSONIZADA COLETA APÓS 30 Min. DA OSONIZAÇÃO			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : VARIÁVEL	
COAGULAÇÃO :	pH : VARIÁVEL TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 Min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	6,9	12,0	34	35,0	25
02	30,0	6,7	4,2	12	10,0	7
03	33,0	6,5	5,0	14	15,0	11
04	35,0	6,6	4,0	11	10,0	7
05	38,0	6,5	5,5	16	15,0	11
06	40,0	6,4	7,9	21	25,0	18

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T	Turb.	Cor Apar.	Alcalinidade
		(c)	(ut)	[mg/lPt-Co]	(mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	35,0	140,0	25,0
OSONIZADA		25	30,0	105,0	—

TABELA C.12 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 3		DATA : 31/01/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5 min	DOSAGEM : 0,88 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COLETA APÓS 55 Min. DA OZONIZAÇÃO			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : VARIÁVEL	
COAGULAÇÃO :	pH : VARIÁVEL TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 Min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	DOSAGEM POLÍMERO (0,1%) (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	33,0	0,1	6,6	9,0	9	10,0	7
02	33,0	0,3	6,6	2,8	8	5,0	4
03	33,0	0,5	6,6	2,5	7	5,0	4
04	40,0	0,1	6,5	4,0	11	10,0	7
05	40,0	0,3	6,5	2,9	8	5,0	4
06	40,0	0,5	6,5	2,5	7	5,0	4

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	95,0	140,0	25,0
OZONIZADA		25	90,0	105,0	—

TABELA C.13 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 3		DATA : 31/01/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5 min.	DOSAGEM : 0,88 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COLETA APÓS 24 Hs DA OZONIZAÇÃO			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : VARIÁVEL	
COAGULAÇÃO :	pH : VARIÁVEL TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 Min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	DOSAGEM POLÍMERO (0,1%) (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	[Pt-Co] mg/l	(%)
01	33,0	0,1	6,6	2,1	6	5,0	4
02	33,0	0,3	6,5	2,6	7	5,0	4
03	33,0	0,5	6,5	4,0	11	10,0	7
04	40,0	0,1	6,4	2,0	6	5,0	4
05	40,0	0,3	6,4	2,9	8	5,0	4
06	40,0	0,5	6,4	3,5	10	10,0	7

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	35,0	140,0	25,0
OZONIZADA		25	30,0	105,0	—

TABELA C.14 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 3		DATA : 01/02/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5,0 min	DOSAGEM : 0,88 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COM COLETA APÓS 25 H.			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : Variável	
COAGULAÇÃO :	pH : Variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	[Pt-Co] mg/l	(%)
01	20,0	6,8	8,2	29	40,0	29
02	30,0	6,7	5,2	15	15,0	11
03	33,0	6,5	8,0	29	95,0	25
04	35,0	6,4	7,5	21	95,0	25
05	38,0	6,4	9,0	26	95,0	25
06	40,0	6,4	7,0	20	90,0	21

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,9	25	95,0	140,0	25,0
OZONIZADA		25	90,0	105,0	—

TABELA C.15 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 4		DATA : 02/02/90	
OZONIZAÇÃO :		TEMPO : -----	DOSAGEM : -----
ÁGUA BRUTA NATURAL			
COAGULANTE :		SULFATO ALUMINIO	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :		pH : VARIÁVEL TEMPO : 3,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :		TEMPO : 7,0 Min.	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :		TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	DOSAGEM POLÍMERO (0,1%) (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	33,0	0,1	6,6	2,5	7	10,0	7
02	33,0	0,3	6,6	2,8	8	10,0	7
03	33,0	0,5	6,5	3,0	9	10,0	7
04	40,0	0,1	6,4	3,1	9	10,0	7
05	40,0	0,3	6,4	2,5	7	10,0	7
06	40,0	0,5	6,4	2,0	6	5,0	4

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T	Turb.	Cor Apar.	Alcalinidade
		(c)	(ut)	[mg/lPt-Co]	(mgCaCo3/l)
NATURAL	8,2	25	35,0	140,0	---

TABELA C.16 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO	Nº : 4	DATA : 02/02/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O		
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
----	192,0	4,10
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	80,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,6
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	433,0
Voltagem	(V)	150,0
PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	25,50
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	4,91
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	5,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	-----
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	2,13
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /lO ₂)	11,34
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	5,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	2,45
Concentração de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	$6,1 \cdot 10^{-2}$

TABELA C.17 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 4		DATA : 02/02/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5 min.	DOSAGEM : 2,13 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COLETA APÓS 20 Min. DA OZONIZAÇÃO			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : VARIÁVEL	
COAGULAÇÃO :	pH : VARIÁVEL TEMPO : 3,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 Min.	ROTACÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/min.	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	DOSAGEM POLÍMERO (0,1%) (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
				(ut)	(%)	mg/l [Pt=Co]	(%)
01	33,0	0,1	6,6	9,5	10	10,0	7
02	33,0	0,3	6,7	2,6	7	5,0	4
03	33,0	0,5	6,6	9,0	9	5,0	4
04	40,0	0,1	6,6	4,2	12	10,0	7
05	40,0	0,3	6,5	2,5	7	5,0	4
06	40,0	0,5	6,5	2,5	7	5,0	4

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	8,2	25	95,0	140,0	—————
OZONIZADA		25	92,0	120,0	—————

TABELA C.18 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 4		DATA : 02/02/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5,0 min	DOSAGEM : 2,13 mg/l	
ÁGUA BRUTA PRÉ-OZONIZADA COM COLETA APÓS 50 MIN.			
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : variável	
COAGULAÇÃO :	pH : variável TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : 7,0 min.	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 2,0 cm/m	

FRASCO	DOSAGEM COAG. (mg/l)	pH COAG	TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
			(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	20,0	6,9	20,0	57	40,0	29
02	30,0	6,7	6,0	17	20,0	14
03	33,0	6,7	5,0	14	10,0	7
04	35,0	6,6	5,9	15	10,0	7
05	38,0	6,6	6,0	17	20,0	14
06	40,0	6,5	5,5	16	15,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	8,2	25	35,0	140,0	—
OZONIZADA		25	32,0	120,0	—

TABELA C.19 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 5		DATA : 14/02/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : -----	DOSAGEM : ----- mg/l	
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 44,8. mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,3 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	1,0	6,70	24,0	97	70,0	99
		2,0	9,10	6,0	9	15,0	7
		9,5	1,60	5,7	9	15,0	7
		7,0	0,80	5,0	8	15,0	7
02	10,0	1,0	6,70	25,0	98	60,0	29
		2,0	9,10	9,5	5	10,0	5
		9,5	1,60	9,5	5	10,0	5
		7,0	0,80	9,0	5	10,0	5
03	15,0	1,0	6,70	20,0	91	50,0	24
		2,0	9,10	2,5	4	5,0	2
		9,5	1,60	9,0	5	10,0	5
		7,0	0,80	2,9	4	5,0	2
04	20,0	1,0	6,70	90,0	46	70,0	99
		2,0	9,10	9,2	5	10,0	5
		9,5	1,60	2,0	9	5,0	2
		7,0	0,80	1,5	2	5,0	2
05	25,0	1,0	6,70	24,0	97	60,0	29
		2,0	9,10	9,6	6	10,0	5
		9,5	1,60	2,0	9	5,0	2
		7,0	0,80	1,5	2	5,0	2
06	30,0	1,0	6,70	92,0	49	70,0	99
		2,0	9,10	9,0	55	5,0	2
		9,5	1,60	2,2	9	5,0	2
		7,0	0,80	1,0	2	5,0	2

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	29	65,0	210,0	—

TABELA C.20 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	5	DATA :	14/02/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA			
FLUXO CONTÍNUO			
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)	
0,25	197,0	4,22	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO			
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0	
Vazão Máxima no gerador	(%)	85,0	
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7	
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	509,0	
Voltagem	(V)	150,0	
PRODUÇÃO DE OZÔNIO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0	
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0	
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	25,45	
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	4,90	
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA			
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0	
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	13,0	
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	5,40	
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /10 ₂)	9,65	
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52	
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0	
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	49,75	
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,96	

TABELA C. 21 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº: 5		DATA : 14/02/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 20,0 min	DOSAGEM : 5,40 mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 44,8, mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,3 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(Cut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	1,0	6,70	44,0	68	90,0	49
		2,0	9,10	9,0	14	20,0	10
		9,5	1,60	6,5	10	15,0	7
		7,0	0,80	6,0	9	15,0	7
02	10,0	1,0	6,70	99,0	51	60,0	29
		2,0	9,10	7,0	11	15,0	7
		9,5	1,60	6,5	10	10,0	5
		7,0	0,80	4,5	7	5,0	2
03	15,0	1,0	6,70	95,0	54	70,0	32
		2,0	9,10	6,5	10	10,0	5
		9,5	1,60	5,0	8	5,0	2
		7,0	0,80	9,5	5	5,0	2
04	20,0	1,0	6,70	95,0	54	70,0	33
		2,0	9,10	6,0	9	10,0	5
		9,5	1,60	4,5	7	5,0	2
		7,0	0,80	1,5	2	5,0	2
05	25,0	1,0	6,70	40,0	62	90,0	49
		2,0	9,10	4,5	7	5,0	2
		9,5	1,60	9,2	5	5,0	2
		7,0	0,80	2,0	9	5,0	2
06	30,0	1,0	6,70	99,0	51	70,0	33
		2,0	9,10	8,0	12	10,0	5
		9,5	1,60	9,9	5	5,0	2
		7,0	0,80	2,0	9	5,0	2

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	29	65,0	210,0	—
OZONIZADA	7,9	29	70,0	180,0	—

TABELA C.22 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº: 6		DATA : 16/02/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 20,0 min	DOSAGEM : 3,70 mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 33,8 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,7 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	1,0	6,70	15,0	69	50,0	56
		2,0	9,10	7,5	31	15,0	17
		9,5	1,60	6,0	25	15,0	17
		7,0	0,80	5,1	21	10,0	11
02	10,0	1,0	6,70	15,0	69	40,0	44
		2,0	9,10	5,6	29	10,0	11
		9,5	1,60	9,6	15	5,0	6
		7,0	0,80	2,8	12	5,0	6
03	15,0	1,0	6,70	12,0	50	90,0	99
		2,0	9,10	4,0	17	5,0	6
		9,5	1,60	2,9	12	5,0	6
		7,0	0,80	2,5	10	5,0	6
04	20,0	1,0	6,70	19,0	54	95,0	99
		2,0	9,10	9,0	19	5,0	6
		9,5	1,60	2,0	8	5,0	6
		7,0	0,80	1,5	6	5,0	6
05	25,0	1,0	6,70	12,0	50	95,0	99
		2,0	9,10	2,8	12	5,0	6
		9,5	1,60	2,9	10	5,0	6
		7,0	0,80	1,4	6	5,0	6
06	30,0	1,0	6,70	14,0	58	40,0	44
		2,0	9,10	2,2	9	5,0	6
		9,5	1,60	2,2	9	5,0	6
		7,0	0,80	1,0	4	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,0	29	24,0	90,0	—
OZONIZADA	—	—	—	—	—

TABELA C.23

Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	6	DATA :	16/02/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
FLUXO CONTÍNUO		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
0,25	197,0	4,22

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	85,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	509,0
Voltagem	(V)	130,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	17,10
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	3,30

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	13,0
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	3,70
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /lO ₂)	6,61

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	30,75
Concentração de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	5,90

TABELA C. 24 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº: 6		DATA : 16/02/90	
OSONIZAÇÃO :	TEMPO : -----	DOSAGEM : ----- mg /l	
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 33,8 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,7 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt=Co]	(%)
01	5,0	1,0	6,70	15,0	69	50,0	56
		2,0	9,10	4,9	18	15,0	17
		9,5	1,60	3,4	14	10,0	11
		7,0	0,80	3,1	19	10,0	11
02	10,0	1,0	6,70	14,0	58	50,0	56
		2,0	9,10	2,9	12	10,0	11
		9,5	1,60	2,7	11	10,0	11
		7,0	0,80	2,0	8	5,0	6
03	15,0	1,0	6,70	11,0	46	40,0	44
		2,0	9,10	2,9	10	10,0	11
		9,5	1,60	2,4	10	10,0	11
		7,0	0,80	1,5	6	5,0	6
04	20,0	1,0	6,70	11,0	46	35,0	39
		2,0	9,10	1,5	6	5,0	6
		9,5	1,60	2,0	8	5,0	6
		7,0	0,80	1,2	5	5,0	6
05	25,0	1,0	6,70	10,0	42	40,0	44
		2,0	9,10	2,0	8	5,0	6
		9,5	1,60	1,6	7	5,0	6
		7,0	0,80	0,95	4	40,0	6
06	30,0	1,0	6,70	19,0	54	5,0	44
		2,0	9,10	2,0	8	5,0	6
		9,5	1,60	2,0	8	5,0	6
		7,0	0,80	0,9	4	9,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,0	29	24,0	90,0	-----

TABELA C.25 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 7		DATA : 20/02/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : -----	DOSAGEM : ----- mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 36,4 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,7 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE (ut)	(%)	REMANESCENTE (mg/l [Pt-Co])	(%)
01	5,0	1,0	6,70	14,0	99	70,0	78
		2,0	9,10	4,5	90	20,0	22
		9,5	1,60	9,0	20	10,0	11
		7,0	0,80	9,0	20	10,0	11
02	10,0	1,0	6,70	11,0	79	45,0	50
		2,0	9,10	4,5	90	20,0	22
		9,5	1,60	9,0	20	10,0	11
		7,0	0,80	1,5	10	5,0	6
03	15,0	1,0	6,70	11,0	79	95,0	99
		2,0	9,10	2,0	19	10,0	11
		9,5	1,60	2,0	19	10,0	11
		7,0	0,80	1,5	10	5,0	6
04	20,0	1,0	6,70	11,0	79	95,0	99
		2,0	9,10	9,2	21	10,0	11
		9,5	1,60	1,8	12	5,0	6
		7,0	0,80	1,2	8	5,0	6
05	25,0	1,0	6,70	10,0	67	25,0	28
		2,0	9,10	1,7	11	5,0	6
		9,5	1,60	2,0	19	5,0	6
		7,0	0,80	1,1	7	5,0	6
06	30,0	1,0	6,70	10,0	67	25,0	28
		2,0	9,10	2,4	16	10,0	11
		9,5	1,60	1,7	11	5,0	6
		7,0	0,80	0,87	6	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,2	28	15,0	90,0	—

TABELA C. 26

Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	7	DATA :	20/02/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
FLUXO CONTÍNUO		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
0,25	197,0	4,22

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	85,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	509,0
Voltagem	(V)	120,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	12,80
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	2,20

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	13,0
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	2,42
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /lO ₂)	4,32

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	19,10
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,32

TABELA C.27 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 7		DATA : 20/02/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 20,0 min	DOSAGEM : 2,40 mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 36,4 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,7 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	5,0	1,0	6,70	19,0	87	50,0	56
		2,0	9,10	4,5	90	15,0	17
		9,5	1,60	4,5	90	15,0	17
		7,0	0,80	9,5	29	10,0	11
02	10,0	1,0	6,70	12,0	80	40,0	44
		2,0	9,10	9,4	29	10,0	11
		9,5	1,60	9,9	22	10,0	11
		7,0	0,80	1,7	11	5,0	6
03	15,0	1,0	6,70	19,0	87	50,0	56
		2,0	9,10	6,0	40	15,0	17
		9,5	1,60	2,4	16	5,0	6
		7,0	0,80	2,1	14	5,0	6
04	20,0	1,0	6,70	11,0	79	40,0	44
		2,0	9,10	1,9	19	5,0	6
		9,5	1,60	2,4	16	5,0	6
		7,0	0,80	1,1	7	5,0	6
05	25,0	1,0	6,70	10,0	67	40,0	44
		2,0	9,10	2,6	17	5,0	6
		9,5	1,60	2,4	16	5,0	6
		7,0	0,80	1,2	8	5,0	6
06	30,0	1,0	6,70	11,0	79	40,0	44
		2,0	9,10	9,2	21	10,0	11
		9,5	1,60	1,8	12	5,0	6
		7,0	0,80	1,4	9	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,2	28	15,0	90,0	————
OZONIZADA	7,4	28	17,0	70,0	————

TABELA C. 28 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 8		DATA : 22/02/90
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 32,6 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,9 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MEDI DA (cut)	REMAN (%)	MEDI DA mg/l [Pt-Co]	REMAN. (%)
01	5,0	1,0	6,70	12,0	80	40,0	57
		2,0	9,10	4,0	27	15,0	21
		3,5	1,60	9,0	20	10,0	14
		7,0	0,80	9,0	20	10,0	14
02	10,0	1,0	6,70	12,0	80	40,0	57
		2,0	9,10	5,5	37	20,0	29
		3,5	1,60	9,0	20	10,0	14
		7,0	0,80	2,0	18	10,0	14
03	15,0	1,0	6,70	12,0	80	40,0	57
		2,0	9,10	9,0	20	10,0	14
		3,5	1,60	2,7	18	10,0	14
		7,0	0,80	1,5	10	5,0	7
04	20,0	1,0	6,70	10,0	67	95,0	50
		2,0	9,10	9,0	20	10,0	14
		3,5	1,60	2,2	15	5,0	7
		7,0	0,80	1,0	7	5,0	7
05	25,0	1,0	6,70	11,0	79	40,0	57
		2,0	9,10	5,0	39	20,0	29
		3,5	1,60	2,9	19	10,0	14
		7,0	0,80	1,3	9	5,0	7
06	30,0	1,0	6,70	12,0	80	40,0	57
		2,0	9,10	5,0	39	20,0	29
		3,5	1,60	9,0	20	10,0	14
		7,0	0,80	1,3	9	5,0	7

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,1	28	15,0	90,0	—

TABELA C. 29 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	8	DATA :	22/02/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
FLUXO CONTÍNUO		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
0,25	197,0	4,22

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	85,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	509,0
Voltagem	(V)	110,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	8,85
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	1,50

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	13,0
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	1,65
Conc. Ozônio F(gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /10 ₂)	2,95

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	13,2
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,22

TABELA C. 30 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 8		DATA : 22/02/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 20 min	DOSAGEM : 1,70 mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 32,6 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,9 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		CÓR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MEDIDA (ut)	REMAN (%)	MEDIDA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	15,0	100	50,0	71
		2,0	9,10	7,5	50	25,0	36
		3,5	1,60	4,9	29	20,0	29
		7,0	0,80	3,5	29	10,0	14
02	10,0	1,0	6,70	19,0	87	50,0	71
		2,0	9,10	5,0	33	10,0	14
		3,5	1,60	3,0	20	10,0	14
		7,0	0,80	2,5	17	5,0	7
03	15,0	1,0	6,70	19,0	87	50,0	71
		2,0	9,10	4,0	27	15,0	21
		3,5	1,60	3,0	20	10,0	14
		7,0	0,80	2,5	17	5,0	7
04	20,0	1,0	6,70	11,0	79	40,0	57
		2,0	9,10	5,1	34	15,0	21
		3,5	1,60	2,1	14	5,0	7
		7,0	0,80	1,6	11	5,0	7
05	25,0	1,0	6,70	11,0	79	40,0	57
		2,0	9,10	4,0	27	10,0	14
		3,5	1,60	2,5	17	5,0	7
		7,0	0,80	1,6	11	5,0	7
06	30,0	1,0	6,70	11,0	79	40,0	57
		2,0	9,10	4,0	27	10,0	14
		3,5	1,60	2,1	14	5,0	7
		7,0	0,80	1,2	8	5,0	7

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/l Pt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,2	28	15,0	90,0	—
OZONIZADA	7,9	30	15,0	60,0	—

TABELA C.31 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº:	9	DATA :	07/03/90
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM :	48,5 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,1 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE :	VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MEDI DA (ut)	REMAN (%)	MEDI DA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	27,0	92	40,0	24
		2,0	9,10	10,0	12	15,0	9
		3,5	1,60	9,0	11	15,0	9
		7,0	0,80	7,8	9	10,0	6
02	10,0	1,0	6,70	18,0	21	25,0	15
		2,0	9,10	6,5	8	10,0	6
		3,5	1,60	5,1	6	10,0	6
		7,0	0,80	4,0	5	5,0	3
03	15,0	1,0	6,70	27,0	92	40,0	24
		2,0	9,10	4,5	5	10,0	6
		3,5	1,60	3,5	4	5,0	3
		7,0	0,80	2,6	3	5,0	3
04	20,0	1,0	6,70	27,0	92	40,0	24
		2,0	9,10	3,5	4	5,0	3
		3,5	1,60	2,6	3	5,0	3
		7,0	0,80	2,1	2	5,0	3
05	25,0	1,0	6,70	36,0	42	60,0	35
		2,0	9,10	3,5	4	5,0	3
		3,5	1,60	2,4	3	5,0	3
		7,0	0,80	2,0	2	5,0	3
06	30,0	1,0	6,70	40,0	47	60,0	35
		2,0	9,10	3,5	4	5,0	3
		3,5	1,60	3,0	4	5,0	3
		7,0	0,80	2,0	3	5,0	3

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T	Turb.	Cor Apar.	Alcalinidade
		(c)	(ut)	[mg/lPt-Co]	(mgCaCo3/l)
NATURAL	6,8	25	85,0	170,0	—

TABELA C. 32

Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	9	DATA :	07/03/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA			
FLUXO CONTÍNUO			
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)	
0,47	211,0	4,51	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO			
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0	
Vazão Máxima no gerador	(%)	85,0	
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7	
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	505,0	
Voltagem	(V)	115,0	
PRODUÇÃO DE OZÔNIO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0	
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0	
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	9,20	
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	1,55	
Dosagem de Ozônio aplicado na coluna de produção	(mg/l)	0,92	
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA			
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0	
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	7,5	
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	0,92	
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /10z)	3,07	
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52	
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0	
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	16,6	
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,28	

TABELA C. 33 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº: 9		DATA : 07/03/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 20,0 min	DOSAGEM : 0,92 mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 48,5 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,1 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MÉDIA (ut)	REMAN (%)	MÉDIA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	97,0	44	50,0	29
		2,0	9,10	19,0	15	15,0	9
		3,5	1,60	10,0	12	15,0	9
		7,0	0,80	7,5	9	10,0	6
02	10,0	1,0	6,70	47,0	55	70,0	41
		2,0	9,10	10,0	12	10,0	6
		3,5	1,60	8,0	9	10,0	6
		7,0	0,80	5,1	6	5,0	9
03	15,0	1,0	6,70	42,0	49	50,0	29
		2,0	9,10	7,5	9	10,0	6
		3,5	1,60	4,5	5	5,0	9
		7,0	0,80	9,5	4	5,0	9
04	20,0	1,0	6,70	42,0	49	50,0	29
		2,0	9,10	5,5	6	5,0	9
		3,5	1,60	9,6	4	5,0	9
		7,0	0,80	2,9	9	5,0	9
05	25,0	1,0	6,70	55,0	65	90,0	59
		2,0	9,10	6,5	8	5,0	9
		3,5	1,60	9,5	4	5,0	9
		7,0	0,80	2,1	2	5,0	9
06	30,0	1,0	6,70	49,0	51	50,0	29
		2,0	9,10	5,5	6	5,0	9
		3,5	1,60	4,0	5	5,0	9
		7,0	0,80	2,9	9	5,0	9

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,9	28	85,0	170,0	—
OZONIZADA	7,9	28	95,0	—	—

TABELA C.34 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº:	10	DATA :	09/03/90
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM :	43,0 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO:	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE :	VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MEDI DA (cut)	REMAN (%)	MEDI DA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	20,0	27	40,0	29
		2,0	9,10	7,5	10	10,0	7
		3,5	1,60	7,9	10	10,0	7
		7,0	0,80	6,5	9	10,0	7
02	10,0	1,0	6,70	22,0	29	50,0	36
		2,0	9,10	5,0	7	10,0	7
		3,5	1,60	5,0	7	10,0	7
		7,0	0,80	4,2	6	5,0	4
03	15,0	1,0	6,70	20,0	27	40,0	29
		2,0	9,10	4,0	5	5,0	4
		3,5	1,60	3,9	4	5,0	4
		7,0	0,80	3,2	4	5,0	4
04	20,0	1,0	6,70	22,0	29	40,0	29
		2,0	9,10	4,0	5	5,0	4
		3,5	1,60	3,2	4	5,0	4
		7,0	0,80	2,4	8	5,0	4
05	25,0	1,0	6,70	19,0	25	35,0	25
		2,0	9,10	3,5	5	5,0	4
		3,5	1,60	2,5	3	5,0	4
		7,0	0,80	1,9	3	5,0	4
06	30,0	1,0	6,70	35,0	47	50,0	36
		2,0	9,10	6,5	9	5,0	4
		3,5	1,60	3,0	4	5,0	4
		7,0	0,80	2,1	3	5,0	4

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,2	28	75,0	140,0	—

TABELA C. 35

Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	10	DATA :	09/03/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
FLUXO CONTÍNUO		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
0,47	211,0	4,51

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	85,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	506,0
Voltagem	(V)	115,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	10,68
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	1,81
Dosagem de Ozônio aplicado na coluna de produção	(mg/l)	1,07

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	7,5
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	1,07
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /10z)	3,57

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	20,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	17,5
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,30

TABELA C. 36 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº: 10		DATA : 09/03/90	
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 20,0 min	DOSAGEM : 1,07 mg/l	
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 43,0 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,3 TEMPO : 3,0 min.	ROTACÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MEDI DA (cut)	REMAN (%)	MEDI DA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	50,0	67	70,0	50
		2,0	9,10	19,0	17	25,0	18
		3,5	1,60	10,0	19	20,0	14
		7,0	0,80	7,8	10	10,0	7
02	10,0	1,0	6,70	49,0	57	70,0	50
		2,0	9,10	8,5	11	10,0	7
		3,5	1,60	7,0	9	10,0	7
		7,0	0,80	4,4	6	5,0	4
03	15,0	1,0	6,70	40,0	59	50,0	36
		2,0	9,10	6,9	9	5,0	4
		3,5	1,60	3,9	5	5,0	4
		7,0	0,80	3,1	4	5,0	4
04	20,0	1,0	6,70	95,0	47	95,0	25
		2,0	9,10	9,0	12	10,0	7
		3,5	1,60	3,4	5	5,0	4
		7,0	0,80	2,5	3	5,0	4
05	25,0	1,0	6,70	95,0	47	95,0	25
		2,0	9,10	8,0	11	5,0	4
		3,5	1,60	4,0	5	5,0	4
		7,0	0,80	2,5	3	5,0	4
06	30,0	1,0	6,70	55,0	79	90,0	64
		2,0	9,10	11,0	15	5,0	4
		3,5	1,60	5,0	7	5,0	4
		7,0	0,80	2,5	3	5,0	4

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,2	28	75,0	140,0	—
OZONIZADA	—	—	—	—	—

TABELA C. 37 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº : 11		DATA : 06/04/90	
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM : 34,0 mg/l	
COAGULAÇÃO :	pH : 6,6 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm	
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm	
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL	

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MÉDIA (cut)	REMAN (%)	MÉDIA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	27,0	64	90,0	100
		2,0	9,10	7,9	17	25,0	28
		3,5	1,60	7,9	17	25,0	28
		7,0	0,80	5,8	14	15,0	17
02	10,0	1,0	6,70	25,0	60	90,0	100
		2,0	9,10	10,0	24	20,0	22
		3,5	1,60	5,0	12	10,0	11
		7,0	0,80	5,0	12	10,0	11
03	15,0	1,0	6,70	14,0	99	95,0	99
		2,0	9,10	9,5	8	10,0	11
		3,5	1,60	9,5	8	5,0	6
		7,0	0,80	2,6	6	5,0	6
04	20,0	1,0	6,70	14,0	99	95,0	99
		2,0	9,10	9,0	7	10,0	11
		3,5	1,60	9,0	7	5,0	6
		7,0	0,80	2,0	5	5,0	6
05	25,0	1,0	6,70	14,0	99	95,0	99
		2,0	9,10	2,0	5	5,0	6
		3,5	1,60	9,0	7	5,0	6
		7,0	0,80	1,6	4	5,0	6
06	30,0	1,0	6,70	14,0	99	95,0	99
		2,0	9,10	9,7	9	5,0	6
		3,5	1,60	9,5	8	5,0	6
		7,0	0,80	1,5	4	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,9	29	42,0	90,0	—

TABELA C.38

Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº :	11	DATA :	06/04/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
Vazão de ensaio (l/s)	Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
----	215,0	4,61

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	90,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	541,0
Voltagem	(V)	180,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	37,35
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	6,31
Dosagem de Ozônio aplicado na coluna de produção	(mg/l)	4,88

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA		
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	10,0
Tempo de Detenção de Ozônio	(min.)	----
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	(mg/l)	4,88
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	(mgO ₃ /10 ₂)	11,66

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE EXCESSO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	1,52
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	10,0
Volume de tiosulfato gasto na titulação	(ml)	26,15
Residual de Ozônio na coluna de excesso	(g/h)	0,88

TABELA C. 39 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural

ENSAIO Nº :	11	DATA :	06/04/90
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10,0 min	DOSAGEM :	4,88 mg/l
COAGULANTE :	SULFATO ALUMÍNIO	DOSAGEM :	34,0 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,5 TEMPO : 3,0 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE :	VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	MEDIDA (cut)	REMAN (%)	MEDIDA mg/l [Pt-Co]	REMAN (%)
01	5,0	1,0	6,70	95,0	89	70,0	78
		2,0	9,10	29,0	69	50,0	56
		3,5	1,60	24,0	57	35,0	39
		7,0	0,80	18,0	49	40,0	44
02	10,0	1,0	6,70	92,0	76	70,0	78
		2,0	9,10	14,0	99	20,0	22
		3,5	1,60	14,0	99	20,0	22
		7,0	0,80	12,0	29	15,0	17
03	15,0	1,0	6,70	29,0	69	50,0	56
		2,0	9,10	15,0	96	40,0	44
		3,5	1,60	9,0	21	10,0	11
		7,0	0,80	6,0	14	5,0	6
04	20,0	1,0	6,70	21,0	50	95,0	99
		2,0	9,10	11,0	26	20,0	22
		3,5	1,60	6,5	15	5,0	6
		7,0	0,80	6,2	15	5,0	6
05	25,0	1,0	6,70	29,0	69	50,0	56
		2,0	9,10	10,0	24	15,0	17
		3,5	1,60	8,0	19	10,0	11
		7,0	0,80	6,0	14	5,0	6
06	30,0	1,0	6,70	98,0	90	50,0	56
		2,0	9,10	12,0	29	15,0	17
		3,5	1,60	7,5	18	10,0	11
		7,0	0,80	6,1	15	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Apar. [mg/lPt-Co]	Alcalinidade (mgCaCo3/l)
NATURAL	7,9	29	42,0	90,0	—————
OZONIZADA		29	90,0	50,0	—————

APÊNDICE D

"Estudo da Produção e do Residual de Ozônio na Água
Através do Método Iodométrico"

TABELA D.1 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº :	1	DATA :	24/04/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA			
BATELADA (BATCH)			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO			
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)		2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)		90,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)		0,7
Voltagem	(V)		200,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)		2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)		2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)		7,99

Aplicação de Ozônio		Passagem Ar Comprimido		Residual na Água (M. Iodométrico) (mg Os/l)
Tempo (min)	Dosagem (mg/l)	Tempo (min)	Pressão (kg/cm ²)	
15	9,14	15	0,31	0,52
20	11,29	9	0,31	0,65
30	17,50	15	0,31	1,12

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. mg/l [Ptco]	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	24	25,0	100,0	25,0

TABELA D.2 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 2	DATA : 24/04/90
PRÉ - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	100,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Voltagem	(V)	210,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	9,62

Aplicação de Ozônio		Passagem Ar Comprimido		Residual na Água (M. Iodométrico) (mg Os/l)
Tempo (min)	Dosagem (mg/l)	Tempo (min)	Pressão (kg/cm ²)	
12	8,15	15	0,38	0,25

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. mg/l (Pico)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	25	31,0	120,0	25,0

TABELA D.3 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/04/90
PRÉ - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	100,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Voltagem	(V)	210,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	9,79

Aplicação de Ozônio		Passagem Ar Comprimido		Residual na Água (M. Iodométrico) (mg Os/l)
Tempo (min)	Dosagem (mg/l)	Tempo (min)	Pressão (kg/cm ²)	
10	6,91	15	0,38	0,16

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. mg/l (Ptco)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	25,5	30,0	100,0	25,0

TABELA D. 4 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 4	DATA : 25/04/90
PRÉ - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	100,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Voltagem	(V)	210,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	9,79

Aplicação de Ozônio		Passagem Ar Comprimido		Residual na Água (M. Iodométrico) (mg Os/l)
Tempo (min)	Dosagem (mg/l)	Tempo (min)	Pressão (kg/cm ²)	
8	5,53	15	0,31	0,07
9	6,22	15	0,31	0,10
14	9,68	15	0,31	0,31
16	11,06	15	0,31	0,49

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. mg/l (PtCo)	Alcalinidade (mg CaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	27	28,0	75,0	25,0

TABELA D.5 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº :	5	DATA :	27/04/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA			
BATELADA (BATCH)			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO			
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)		2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)		100,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)		0,7
Voltagem	(V)		230,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)		2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)		2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)		10,96

Aplicação de Ozônio				Passagem de Ar Comprimido	
Tempo (min.)		10,0		Tempo (min.) 10,0	
Dosagem (mg/l)		7,74		Pressão (Kg/cm ²) 0,31	
TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	0,176	após 10 min	NULO	após 20 min	NULO

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (°C)	Turbidez (ut)	Cor Ap. (Ptco) mg/l	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	25,5	30,0	100,0	25,0

TABELA D.6 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº :	6	DATA :	27/04/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O			
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA			
BATELADA (BATCH)			

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO			
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)		2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)		100,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)		0,7
Voltagem	(V)		230,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO			
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)		2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)		2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)		10,96

Aplicação de Ozônio				Passagem de Ar Comprimido	
Tempo (min.)		10,0		Tempo (min.) 10,0	
Dosagem (mg/l)		7,74		Pressão (Kg/cm ²) 0,31	
TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	0,244	após 10 min	NULO	após 20 min	NULO

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. (Pt.co)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	27	28,0	75,0	25,0

TABELA D.7 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 7	DATA : 01/05/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	100,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Voltagem	(V)	230,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	10,96

Aplicação de Ozônio				Passagem de Ar Comprimido	
Tempo (min.)		10,0		Tempo (min.) 10,0	
Dosagem (mg/l)		7,74		Pressão (Kg/cm ²) 0,31	
TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	0,484	após 10 min	NULO	após 25 min	NULO

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. mg/l (Pico)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	25,5	90,0	100,0	25,0

TABELA D.8 Residual de Ozônio na Água Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 8	DATA : 03/05/90
PRÉ - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	80,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Voltagem	(V)	230,0

PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min.)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	10,36

Aplicação de Ozônio				Passagem de Ar Comprimido	
Tempo (min.)		15,0		Tempo (min.) 10,0	
Dosagem (mg/l)		12,25		Pressão (Kg/cm ²) 0,31	
TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	1,510	após 20 min	NULO	após 40 min	NULO

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turbidez (ut)	Cor Ap. mg/l (Ptco)	Alcalinidade (mgCaCO ₃ /l)
NATURAL	6,9	25,5	30,0	100,0	25,0

APÊNDICE E

"Determinação do Residual de Ozônio na Água Através
do Método Iodométrico à uma Produção Constante"

TABELA E.1 Ensaio de Pré - Ozonização

P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O		
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	80,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	479,0
Voltagem	(V)	230,0
PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min,)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	10,36

TABELA E.2 Determinação do Residual de Ozônio na Água
Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 2	DATA : 04/05/90
TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO - 5 min	
DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO - 4,08 mg/l	
EXCESSO DE OZÔNIO - 0,16 mg/l	

TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	0,373	imediate	0,022	imediate	0,101
11	0,242	15	0,007	13	0,014
25	0,213	27	NULO	28	NULO
44	NULO	43	NULO	43	NULO

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TORNEIRA-01		TORNEIRA-02		TORNEIRA-03	
	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ
pH	6,8	7,6	6,9	7,2	6,9	7,3
TURBIDEZ (UT)	30,0	29,0	24,0	29,0	25,0	27,0
COR APARENTE (mg/l Pt-Co)	80,0	50,0	80,0	50,0	80,0	50,0
TEMPERATURA (°C)	23,5	23,5	24,0	25,0	24,5	25,0
ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /l)	29,1	28,6	29,1	28,1	29,1	29,1

TABELA E.3 Determinação do Residual de Ozônio na Água
Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 3	DATA : 08/05/90
TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO - 10 min	
DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO - 8,17 mg/l	
EXCESSO DE OZÔNIO - 1,51 mg/l	

TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	0,83	imediate	0,46	imediate	0,62
11'30"	NULO	12'20"	NULO	12	NULO
25'15"	NULO	23'30"	NULO	24	NULO

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TORNEIRA-01		TORNEIRA-02		TORNEIRA-03	
	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ
pH	7,0	7,1	7,0	7,1	7,0	7,1
TURBIDEZ (UT)	16,0	17,0	15,0	17,0	15,0	17,0
COR APARENTE (mg/l Pt-Co)	100,0	50,0	80,0	40,0	80,0	40,0
TEMPERATURA (°C)	24,5	25,5	24,0	25,0	24,0	24,0
ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /l)	29,1	28,1	30,1	28,1	30,6	28,1

TABELA E. 4 Determinação do Residual de Ozônio na Água
Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 4	DATA : 09/05/90
TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO - 15 min	
DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO - 12,25 mg/l	
EXCESSO DE OZÔNIO - 3,27 mg/l	

TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	2,16	imediate	1,34	imediate	1,14
12	NULO	12	NULO	12	NULO
25	NULO	25	NULO	25	NULO

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TORNEIRA-01		TORNEIRA-02		TORNEIRA-03	
	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ
pH	6,9	7,0	7,0	7,1	7,0	7,0
TURBIDEZ (UT)	15,0	15,0	15,0	16,0	14,0	15,0
COR APARENTE (mg/l Pt-Co)	80,0	40,0	80,0	40,0	80,0	40,0
TEMPERATURA (°C)	23,5	23,5	25,0	25,5	25,5	26,0
ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /l)	33,0	33,0	32,3	31,0	30,1	33,0

TABELA E.5 Determinação do Residual de Ozônio na Água
Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 5	DATA : 10/05/90
TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO - 20 min	
DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO - 16,34 mg/l	
EXCESSO DE OZÔNIO - 5,08 mg/l	

TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	2,89	imediate	2,42	imediate	1,93
13	0,53	12	NULO	17	NULO
26	NULO	27	NULO	28	NULO

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TORNEIRA-01		TORNEIRA-02		TORNEIRA-03	
	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.
pH	6,9	7,0	7,1	7,2	6,9	7,0
TURBIDEZ (UT)	14,0	13,0	14,0	13,0	14,0	15,0
COR APARENTE (mg/l Pt-Co)	80,0	40,0	80,0	40,0	80,0	30,0
TEMPERATURA (°C)	23,5	23,5	25,5	26,0	23,0	23,0
ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /l)	33,1	29,6	31,5	31,0	33,5	30,1

TABELA E.6 Determinação do Residual de Ozônio na Água
Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 6	DATA : 14/05/90
TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO - 25 min	
DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO - 20,42 mg/l	
EXCESSO DE OZÔNIO - 7,77 mg/l	

TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	2,91	imediate	2,83	imediate	2,73
12	0,55	12'45"	0,75	12'30"	0,56
25	NULO	25	NULO	25'30"	NULO

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TORNEIRA-01		TORNEIRA-02		TORNEIRA-03	
	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ
pH	6,9	7,1	7,1	7,0	7,0	7,0
TURBIDEZ (UT)	13,0	13,0	13,0	13,0	18,0	18,0
COR APARENTE (mg/l Pt-Co)	80,0	25,0	70,0	25,0	80,0	40,0
TEMPERATURA (°C)	24,0	24,0	24,5	23,5	23,0	23,0
ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /l)	35,4	27,2	31,0	28,1	31,0	27,2

TABELA E.7 Determinação do Residual de Ozônio na Água
Método Iodométrico

ENSAIO Nº : 7	DATA : 16/05/90
TEMPO DE APLICAÇÃO DE OZÔNIO - 30 min	
DOSAGEM DE OZÔNIO APLICADO - 24,5 mg/l	
EXCESSO DE OZÔNIO - 9,84 mg/l	

TORNEIRA - 01		TORNEIRA - 02		TORNEIRA - 03	
COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)	COLETA (min)	RESIDUAL (mgO ₃ /l)
imediate	3,69	imediate	2,88	imediate	2,74
11'30"	1,12	12	0,72	12'15"	0,59
24	NULO	24'30"	NULO	26	NULO

CARACTERÍSTICAS DA ÁGUA BRUTA	TORNEIRA-01		TORNEIRA-02		TORNEIRA-03	
	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ.	NATURAL	OZONIZ
pH	6,9	7,0	7,0	7,0	6,9	7,0
TURBIDEZ (UT)	17,0	17,0	24,0	25,0	19,0	22,0
COR APARENTE (mg/l Pt-Co)	80,0	40,0	90,0	50,0	90,0	50,0
TEMPERATURA (°C)	23,0	23,5	25,0	23,5	23,5	23,5
ALCALINIDADE (mg CaCO ₃ /l)	32,0	28,6	32,5	28,1	33,0	27,6

APÊNDICE F

**"Determinação do Residual de Ozônio na Água Através
do Método Colorimétrico à uma Produção Constante"**

TABELA F.1 Ensaio de Pré - Ozonização

P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O		
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA		
BATELADA (BATCH)		
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO		
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	(Kg/cm ²)	2,0
Vazão Máxima no gerador	(%)	80,0
Pressão no gerador	(Kg/cm ²)	0,7
Vazão gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	(l/h)	479,0
Voltagem	(V)	230,0
PRODUÇÃO DE OZÔNIO		
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	(l)	2,0
Tempo de Aplicação de Ozônio	(min,)	2,0
Produção de Ozônio calculada	(g/h)	10,36

TABELA F.2

Residuais de Ozônio na Água
Método Colorimétrico

AMOSTRA INDIVIDUAL		VOL. ml	ABSORVÂNCIA (celula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL $\text{mg O}_3/\text{l}$
A-1		90	0,014	0,176	0,4656
A-2		90	0,013	0,177	0,4683
A-3		90	0,033	0,157	0,4153
A-4		90	0,015	0,175	0,4630
A-5		90	0,013	0,177	0,4683
Concentração Média $C_m = 0,46 \text{ mg O}_3/\text{l}$					
AMOSTRA COMPOSTA		VOLUME COLETADO ml	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL $\text{mg O}_3/\text{l}$	
C		90	0,155	0,41	

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l Pt-co)	Alcalin (mg CaCO ₃ /l)
NAT.	6,9	23	8,50	80,0	29,5
ÓZON.	7,0	21	10,0	40,0	29,0

TABELA F. 3

Residuais de Ozônio na Água
Método Colorimétrico

ENSAIO 3				DATA: 29/05/91
Tempo de aplicação de ozônio - 5 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 4,08 mg O ₃ /l;				
AMOSTRA INDIVIDUAL	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (celula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,038	0,152	0,402
A-2	90	0,135	0,055	0,145
A-3	90	0,157	0,033	0,087
A-4	90	0,165	0,025	0,066
A-5	90	0,136	0,054	0,143
Concentração Média Cm = 0,15 mg O ₃ /l				
AMOSTRA COMPOSTA	VOLUME COLETADO ml	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l	
C	90	0,08	0,22	

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (°C)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l Pt-co)	Alcalin. (mg CaCO ₃ /l)
NAT.	6,9	22	8,60	70,0	99,0
ÓZON.	7,0	22	10,0	90,0	92,5

TABELA F. 4

Residuais de Ozônio na Água
Método Colorimétrico

ENSAIO 4		DATA: 30/05/91		
Tempo de aplicação de ozônio - 10 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 8,17 mg O ₃ /l;				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,190 ;				
AMOSTRA INDIVIDUAL	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,009	0,181	0,48
A-2	90	0,010	0,180	0,48
A-3	90	0,010	0,180	0,48
A-4	90	0,011	0,179	0,47
A-5	90	0,010	0,180	0,48
Concentração Média Cm = 0,48 mg O ₃ /l				
AMOSTRA COMPOSTA	VOLUME COLETADO ml	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l	
C	90	0,16	0,42	

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l Pt ² co)	Alcalin _t (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	7,0	23,5	8,0	70,0	36,0
OZON.	7,0	22	9,0	90,0	34,0

TABELA F.5

Residuais de Ozônio na Água
Método Colorimétrico

ENSAIO 5			DATA: 30/05/91	
Tempo de aplicação de ozônio - 5 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 4,08 mg O ₃ /l;				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,182				
AMOSTRA INDIVIDUAL	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,096	0,086	0,228
A-2	90	0,116	0,066	0,175
A-3	90	0,147	0,035	0,093
A-4	90	0,155	0,027	0,071
A-5	90	0,136	0,046	0,122
Concentração Média Cm = 0,13 mg O ₃ /l				
AMOSTRA COMPOSTA	VOLUME COLETADO ml	Δ ABSORÇÃO		RESIDUAL mg O ₃ /l
C	90	0,07		0,19

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/[Pt ²⁺ co])	Alcalin. (mg CaCO ₃ /l)
NAT.	7,0	23,5	8,0	70,0	36,0
OZON.	7,1	24	8,5	90,0	34,5

TABELA F. 6

Residuais de Ozônio na Água
Método Colorimétrico

ENSAIO 6		DATA: 02/06/91		
Tempo de aplicação de ozônio - 15 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 12,25 mg O ₃ /l;				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,189 ;				
AMOSTRA INDIVIDUAL	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,006	0,183	0,484
A-2	90	0,006	0,183	0,484
A-3	90	0,007	0,182	0,482
A-4	90	0,007	0,182	0,482
A-5	90	0,009	0,180	0,476
Concentração Média Cm = 0,48 mg O ₃ /l				
AMOSTRA COMPOSTA	VOLUME COLETADO ml	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l	
C	90	0,18	0,484	

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S				
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l Pt-co)	Alcalin. (mg CaCO ₃ /l)
NAT.	6,9	29	8,3	70,0	95,5
ÓZON.	7,0	29	9,0	20,0	92,5

TABELA F.7

Residuais de Ozônio na Água
Método Colorimétrico

ENSAIO 7			DATA: 03/06/91	
Tempo de aplicação de ozônio - 15 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 12,25 mg O ₃ /l;				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,199 ;				
AMOSTRA INDIVIDUAL	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,025	0,174	0,460
A-1 (*)	90	0,173	0,148	0,392
A-2	90	0,050	0,149	0,394
A-3	90	0,125	0,0074	0,196
A-4	90	0,106	0,0093	0,246
A-5	90	0,103	0,0096	0,254
Concentração Média $C_m = 0,30$ mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 3,0 cm: Branco - 0,581 ;				
AMOSTRA INDIVIDUAL	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 3cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,068	0,513	0,452
A-1 (*)	90	0,497	0,429	0,378
A-2	90	0,128	0,453	0,399
A-3	90	0,347	0,234	0,206
A-4	90	0,300	0,281	0,248
A-5	90	0,271	0,310	0,273
Concentração Média $C_m = 0,30$ mg O ₃ /l				

(*) Amostra com Glicina (branco)

APÊNDICE G

"Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
com as Águas Brutas Natural e Pré-Ozonizadas"

**"Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
realizados com a Água Bruta Natural - Ensaio 1"**

TABELA G.1 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 1	DATA : 31/07/90	FIGURA Nº : G.1.1 e G.1.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : ———	DOSAGEM : ———
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt=Co]	(%)
01	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	5	1,0	6,70	21,0	81	140,0	156
		2,0	9,10	19,0	50	90,0	100
		3,5	1,60	7,5	29	95,0	99
		7,0	0,80	4,0	15	20,0	22
02	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	10	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
		2,0	9,10	12,0	46	90,0	100
		3,5	1,60	5,2	20	90,0	93
		7,0	0,80	3,4	19	15,0	17
03	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	15	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
		2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
		3,5	1,60	7,2	28	90,0	93
		7,0	0,80	3,5	19	15,0	17
04	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	20	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
		2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
		3,5	1,60	6,9	27	25,0	28
		7,0	0,80	3,4	19	15,0	17
05	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	25	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
		2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
		3,5	1,60	6,2	24	25,0	28
		7,0	0,80	3,0	12	15,0	17
06	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	30	1,0	6,70	19,0	79	140,0	156
		2,0	9,10	14,0	54	90,0	100
		3,5	1,60	8,0	31	25,0	28
		7,0	0,80	2,5	10	10,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	91,0
OZON.	—	—	—	—	—	—	—

TABELA G.2 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 1	DATA : 31/07/90	FIGURA Nº : G.2.1 e G.2.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : _____	DOSAGEM : _____
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO:	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	5	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
		2,0	9,10	15,0	58	90,0	100
		3,5	1,60	8,0	31	25,0	28
		7,0	0,80	3,3	19	20,0	22
02	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	10	1,0	6,70	20,0	77	120,0	133
		2,0	9,10	14,0	54	90,0	100
		3,5	1,60	8,0	31	25,0	28
		7,0	0,80	4,5	17	20,0	22
03	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	15	1,0	6,70	19,0	73	120,0	133
		2,0	9,10	14,0	54	80,0	89
		3,5	1,60	5,5	21	20,0	22
		7,0	0,80	3,5	19	15,0	17
04	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	20	1,0	6,70	19,0	73	120,0	133
		2,0	9,10	14,0	54	70,0	78
		3,5	1,60	6,5	25	20,0	22
		7,0	0,80	3,5	19	15,0	17
05	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	25	1,0	6,70	18,0	69	100,0	111
		2,0	9,10	14,0	54	70,0	78
		3,5	1,60	6,5	25	20,0	22
		7,0	0,80	3,5	19	15,0	17
06	0	—	—	21,0	81	140,0	156
	30	1,0	6,70	17,0	65	100,0	111
		2,0	9,10	14,0	54	70,0	78
		3,5	1,60	5,0	19	15,0	17
		7,0	0,80	3,0	12	10,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	861,0	31,0
ÓZON.	—	—	—	—	—	—	—

TABELA G. 3 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 1	DATA : 01/08/90	FIGURA Nº : G. 3.1 e G. 3.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : ———	DOSAGEM : ———
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO: 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO: VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO:	TEMPO: VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	22,0	85	140,0	156
	5	1,0	6,70	22,0	85	140,0	156
		2,0	9,10	19,0	79	100,0	111
		3,5	1,60	18,0	69	90,0	100
		7,0	0,80	12,0	46	50,0	56
02	0	—	—	22,0	85	140,0	156
	10	1,0	6,70	22,0	85	140,0	156
		2,0	9,10	19,0	79	100,0	111
		3,5	1,60	16,0	62	70,0	78
		7,0	0,80	11,0	42	50,0	56
03	0	—	—	22,0	85	140,0	156
	15	1,0	6,70	21,0	81	120,0	133
		2,0	9,10	19,0	79	90,0	100
		3,5	1,60	15,0	58	70,0	78
		7,0	0,80	11,0	42	50,0	56
04	0	—	—	22,0	85	140,0	156
	20	1,0	6,70	21,0	81	120,0	133
		2,0	9,10	19,0	79	90,0	100
		3,5	1,60	15,0	58	70,0	78
		7,0	0,80	7,8	30	40,0	44
05	0	—	—	22,0	85	140,0	156
	25	1,0	6,70	20,0	77	120,0	133
		2,0	9,10	19,0	79	90,0	100
		3,5	1,60	14,0	54	70,0	78
		7,0	0,80	7,5	29	40,0	44
06	0	—	—	22,0	85	140,0	156
	30	1,0	6,70	20,0	77	110,0	122
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		3,5	1,60	14,0	54	70,0	78
		7,0	0,80	7,0	27	40,0	44

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	31,0
ÓZON.	—	—	—	—	—	—	—

TABELA G. 4 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 1	DATA : 01/08/90	FIGURA Nº : G. 4.1 e G. 4.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : _____	DOSAGEM : _____
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	5	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	80,0	89
		3,5	1,60	17,0	65	40,0	44
		7,0	0,80	14,0	54	25,0	28
02	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	10	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	19,0	79	80,0	89
		3,5	1,60	14,0	54	40,0	44
		7,0	0,80	12,0	46	25,0	28
03	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	15	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	80,0	89
		3,5	1,60	17,0	65	40,0	44
		7,0	0,80	13,0	50	25,0	28
04	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	20	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	80,0	89
		3,5	1,60	17,0	65	40,0	44
		7,0	0,80	13,0	50	25,0	28
05	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	25	1,0	6,70	20,0	77	80,0	89
		2,0	9,10	19,0	73	60,0	67
		3,5	1,60	17,0	65	40,0	44
		7,0	0,80	12,0	46	25,0	28
06	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	30	1,0	6,70	20,0	77	80,0	89
		2,0	9,10	19,0	73	60,0	67
		3,5	1,60	16,0	62	40,0	44
		7,0	0,80	11,5	44	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	31,0
ÓZON.	—	—	—	—	—	—	—

TABELA G.5 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 1	DATA : 06/08/90	FIGURA Nº : G.5.1 e G.5.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : _____	DOSAGEM : _____
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	0	—	—	22,0	85	90,0	100
	5	1,0	6,70	22,0	85	90,0	100
		2,0	3,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	12,0	46	35,0	39
		7,0	0,80	7,0	27	25,0	28
02	0	—	—	22,0	85	90,0	100
	10	1,0	6,70	22,0	85	90,0	100
		2,0	3,10	16,0	62	60,0	67
		3,5	1,60	12,0	46	35,0	39
		7,0	0,80	6,9	24	20,0	22
03	0	—	—	22,0	85	90,0	100
	15	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	3,10	16,0	62	60,0	67
		3,5	1,60	7,3	28	25,0	28
		7,0	0,80	4,5	17	15,0	17
04	0	—	—	22,0	85	90,0	100
	20	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	3,10	16,0	62	60,0	67
		3,5	1,60	13,0	50	35,0	39
		7,0	0,80	7,0	27	10,0	11
05	0	—	—	22,0	85	90,0	100
	25	1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	3,10	14,0	54	50,0	56
		3,5	1,60	13,0	50	35,0	39
		7,0	0,80	6,0	23	15,0	17
06	0	—	—	22,0	85	90,0	100
	30	1,0	6,70	20,0	77	80,0	89
		2,0	3,10	13,0	50	50,0	56
		3,5	1,60	11,0	42	30,0	33
		7,0	0,80	5,0	19	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	91,0
OZON.	—	—	—	—	—	—	—

TABELA G. 6 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 1	DATA : 07/08/90	FIGURA Nº : G.6.1 e G.6.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : _____	DOSAGEM : _____
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	22,0	85	80,0	89
	5	1,0	6,70	19,0	79	50,0	56
		2,0	9,10	14,0	54	95,0	99
		9,5	1,60	12,0	46	90,0	99
		7,0	0,80	7,0	27	25,0	28
02	0	—	—	22,0	85	80,0	89
	10	1,0	6,70	16,0	62	50,0	56
		2,0	9,10	12,0	46	95,0	99
		9,5	1,60	6,0	29	20,0	22
		7,0	0,80	5,0	19	15,0	17
03	0	—	—	22,0	85	80,0	89
	15	1,0	6,70	16,0	62	50,0	56
		2,0	9,10	9,0	35	25,0	28
		9,5	1,60	6,0	29	20,0	22
		7,0	0,80	4,5	17	10,0	11
04	0	—	—	22,0	85	80,0	89
	20	1,0	6,70	16,0	62	50,0	56
		2,0	9,10	9,0	35	25,0	28
		9,5	1,60	4,5	17	10,0	11
		7,0	0,80	9,9	19	10,0	11
05	0	—	—	22,0	85	80,0	89
	25	1,0	6,70	19,0	50	40,0	44
		2,0	9,10	8,0	31	20,0	22
		9,5	1,60	4,0	15	10,0	11
		7,0	0,80	9,0	12	5,0	6
06	0	—	—	22,0	85	80,0	89
	30	1,0	6,70	19,0	50	95,0	99
		2,0	9,10	5,0	19	10,0	11
		9,5	1,60	9,5	14	10,0	11
		7,0	0,80	2,5	10	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	961,0	91,0
OZON.	—	—	—	—	—	—	—

"Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação,
Para Diferentes Velocidades de Sedimentação, nas
Condições Especificadas - Ensaio 1"

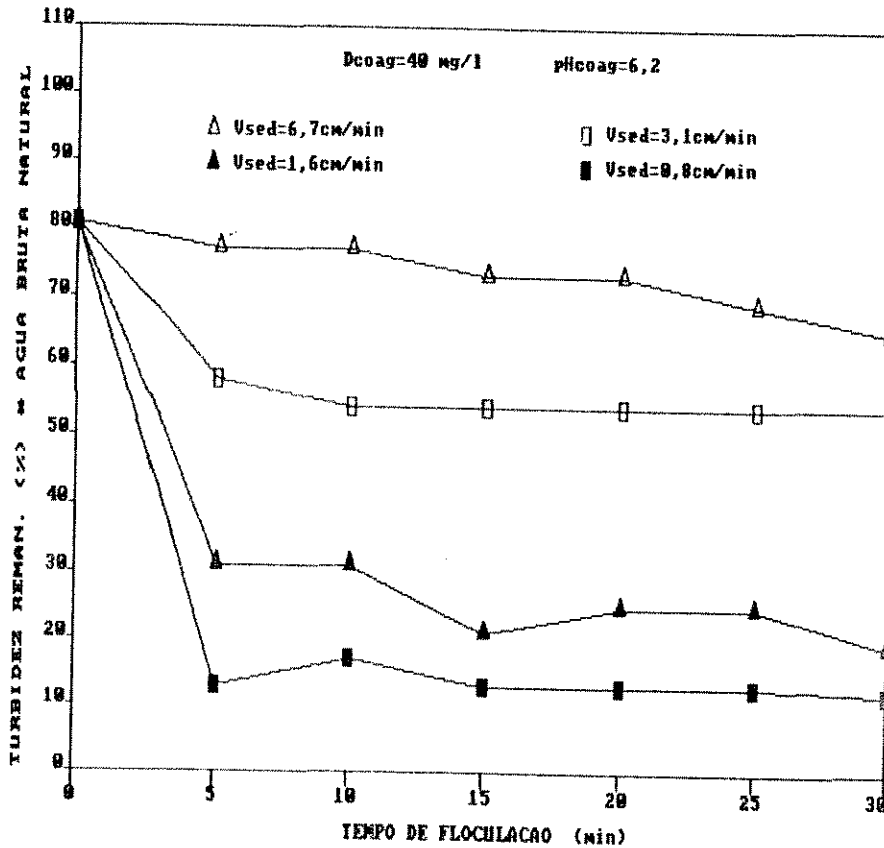


Figura G.2.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

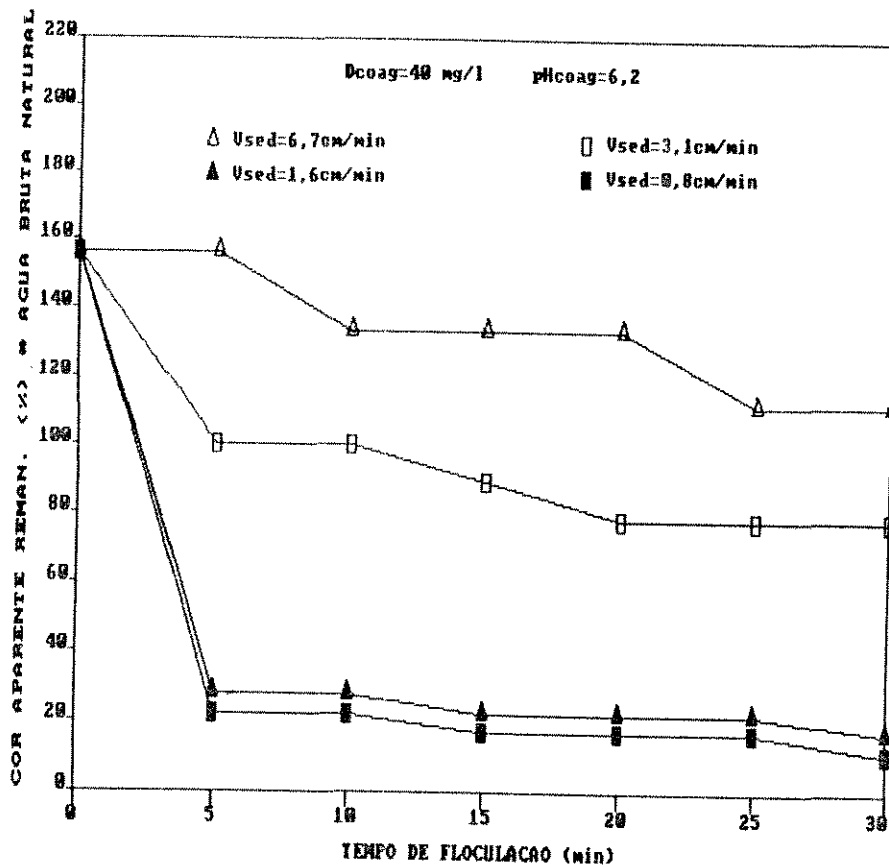


Figura G.2.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

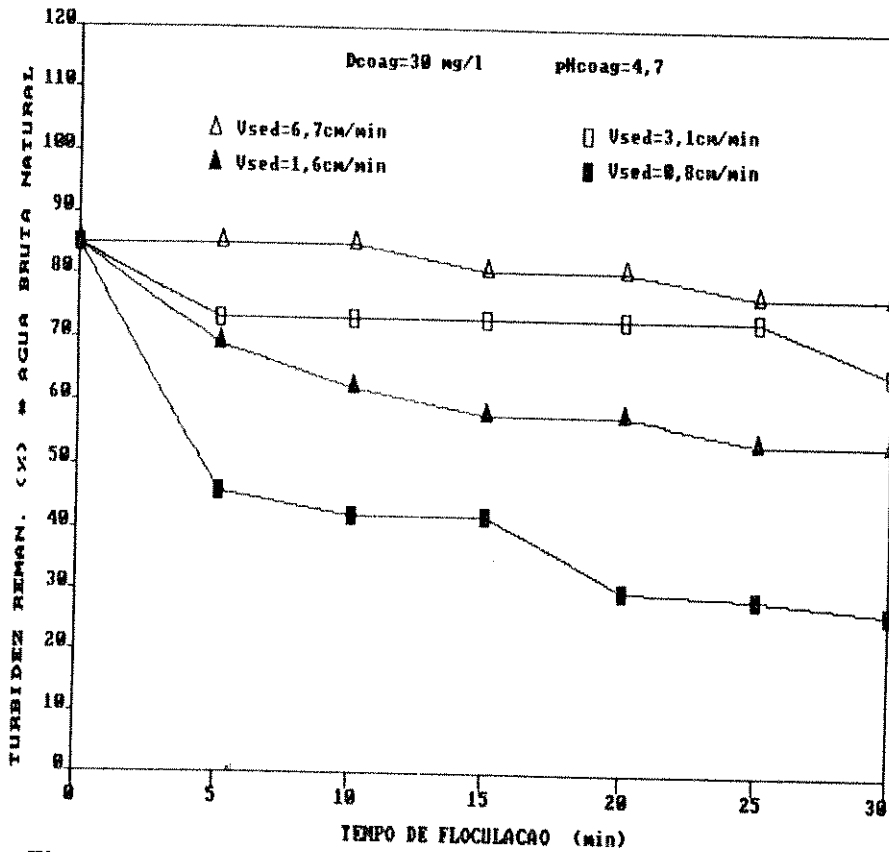


Figura 0.3.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

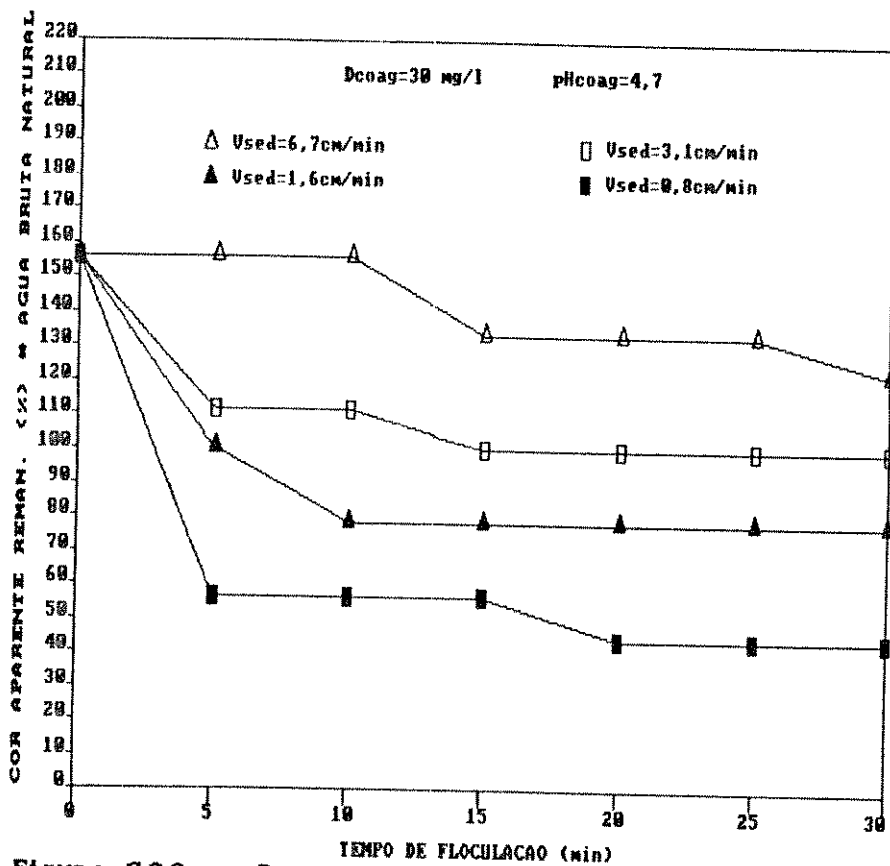


Figura 0.3.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

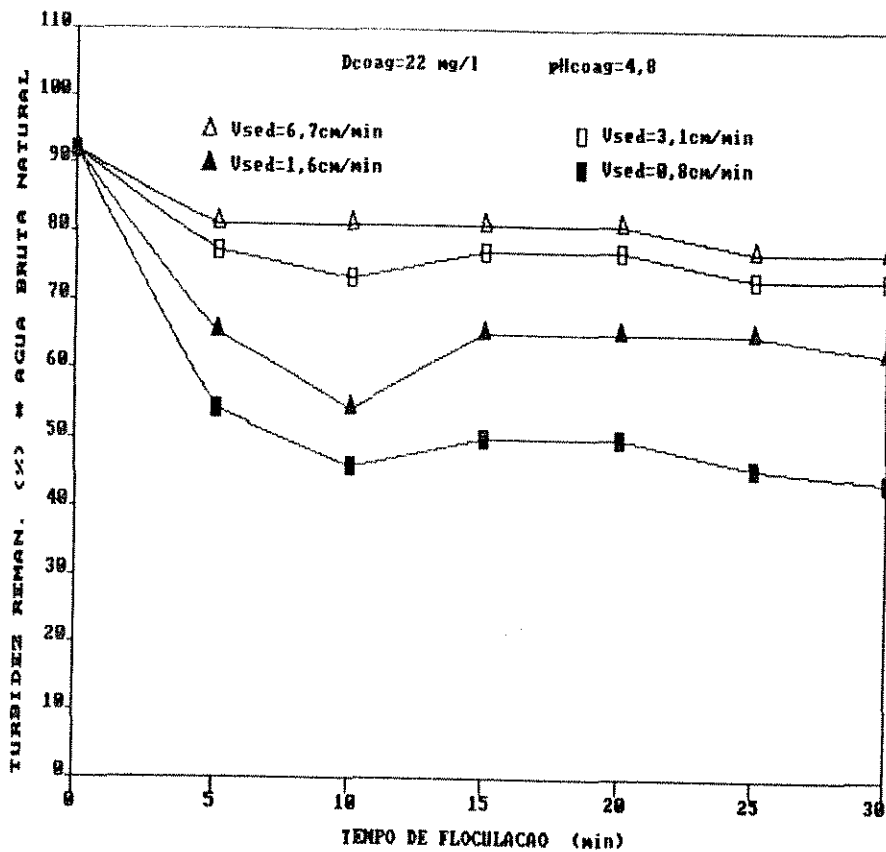


Figura G.4.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

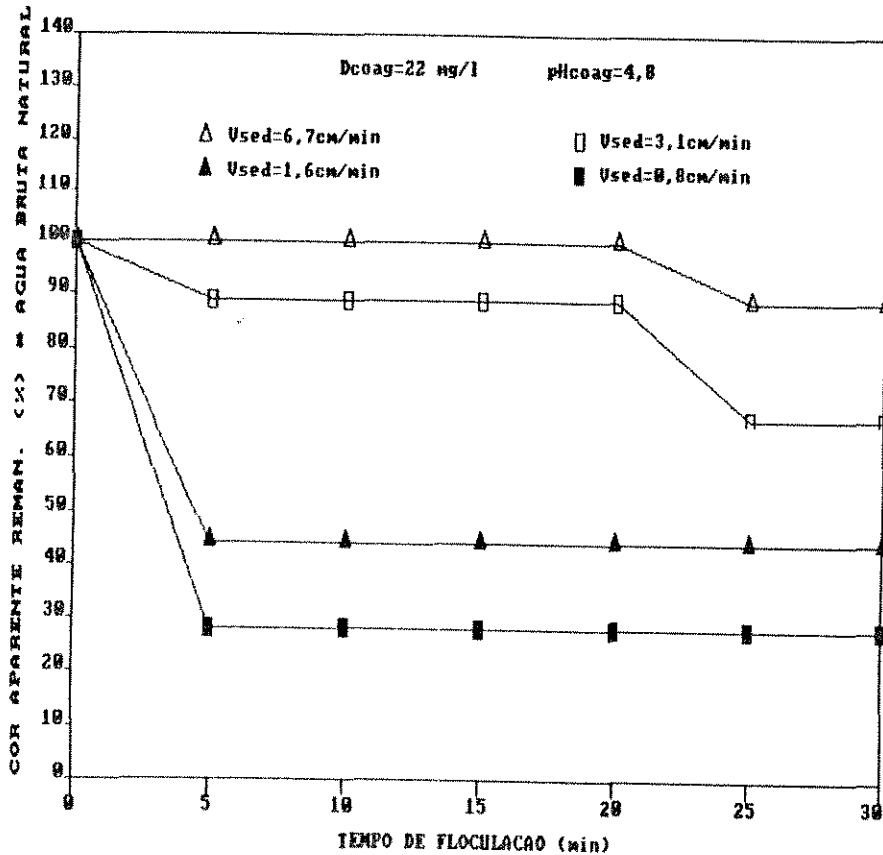


Figura G.4.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

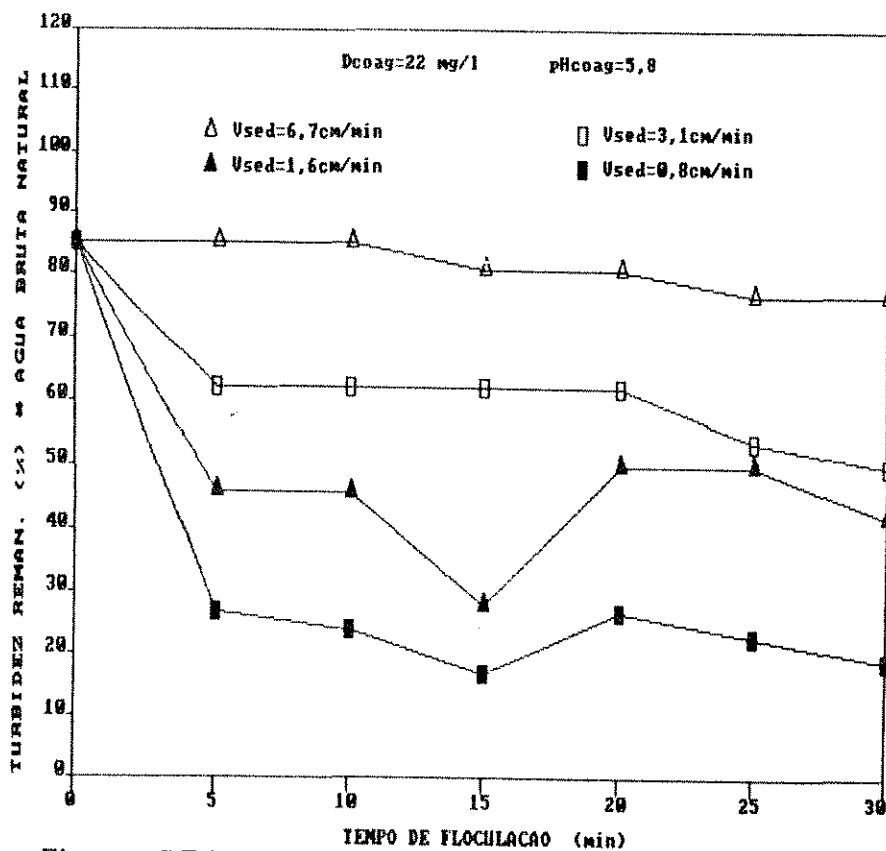


Figura G.5.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

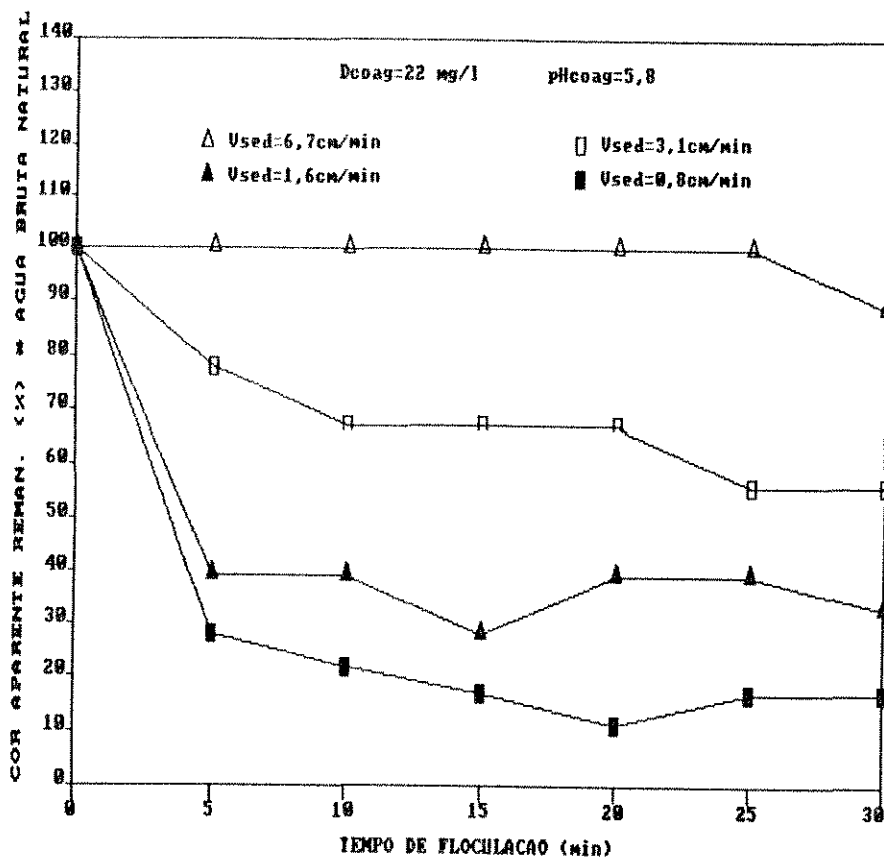


Figura G.5.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

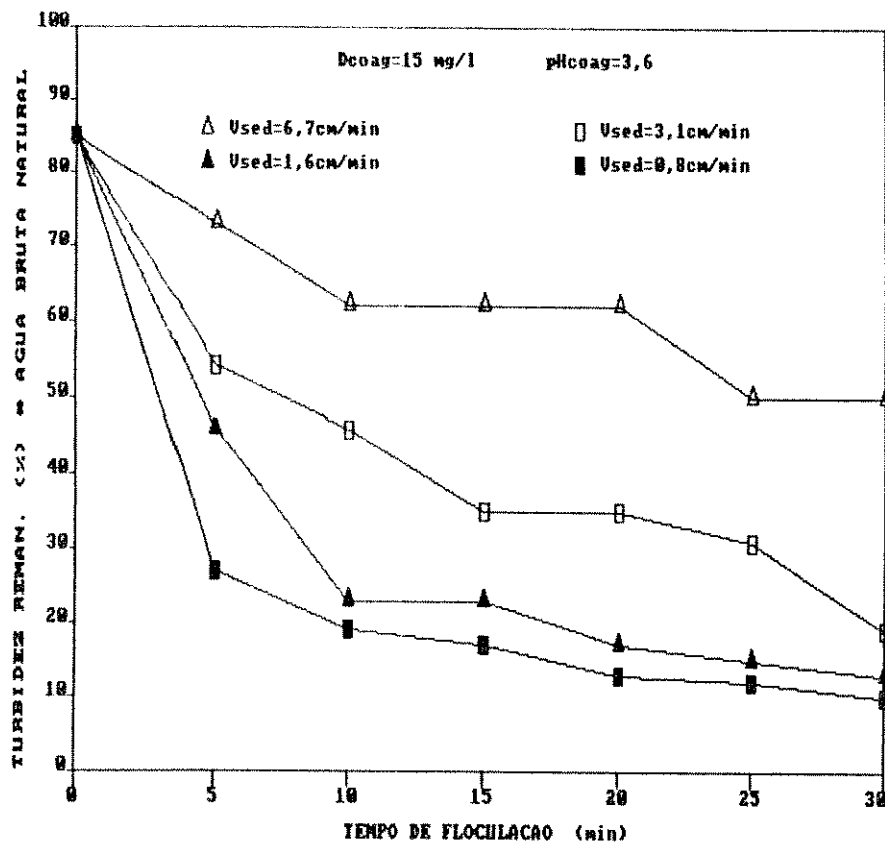


Figura G.6.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

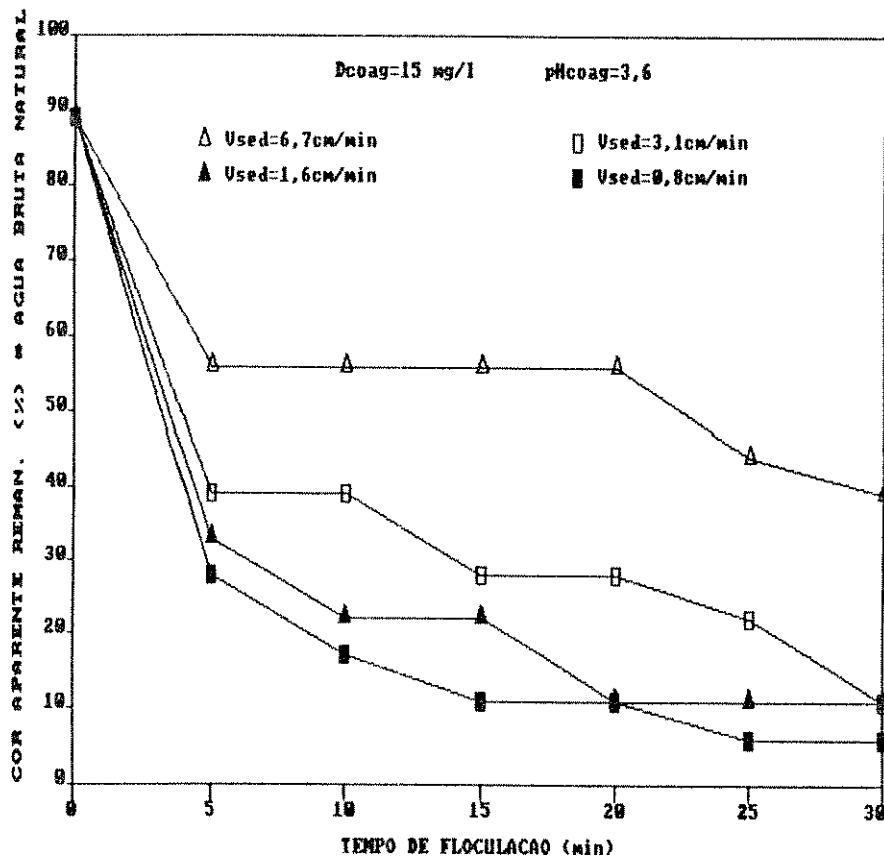


Figura G.6.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

**"Ensaio de Pré - Ozonização:
Condições de Operação do Aparelho Gerador de Ozônio
Ensaio - 2"**

TABELA G.7 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O	

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	
Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
211,29	4,52

CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO	
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	: 2,0 (Kg/cm ²)
Vazão Máxima de oxigênio no gerador	: 80,0 (%)
Pressão do gás no gerador	: 0,7 (Kg/cm ²)
Vazão média do gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	: 479,8 (l/h)
Voltagem	: 230,0 (V)

PRODUÇÃO DE OZÔNIO	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 2,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 53,98 (ml)
Produção de Ozônio calculada	: 9,78 (g/h)

APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA	
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 5,0 (min.)
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	: 3,86 (mg/l)
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	: 20,39 (gO ₃ /10z)
Concentração Média do Residual de Ozônio	: 0,205 (mgO ₃ /l)

RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE OFF-GAS	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 5,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 6,69 (ml)
Concentração de Ozônio na coluna de off-gas	: 0,15 (mg/l)

**"Determinação do Residual de Ozônio na Água Através
do Método Colorimétrico à uma Produção Constante
Ensaio - 2"**

TABELA G.8 Concentração do Residual de Ozônio na Água

ENSAIO 2				
Tempo de aplicação de ozônio - 5,0 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 3,86 mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,188				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mgO ₃ /l
A-1	90	0,063	0,125	0,331
A-1(*)	90	0,172	0,109	0,288
A-2	90	0,089	0,099	0,262
A-3	90	0,140	0,048	0,127
A-4	90	0,118	0,070	0,185
A-5	90	0,122	0,066	0,175
Leitura da Absorvância com célula de 3,0 cm: Branco - 0,555				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 3cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mgO ₃ /l
A-1	90	0,143	0,412	0,363
A-1(*)	90	0,472	0,329	0,290
A-2	90	0,240	0,315	0,159
A-3	90	0,375	0,180	0,186
A-4	90	0,344	0,211	0,168
A-5	90	0,364	0,191	0,175
Concentração Média C _m = 0,219 mg O ₃ /l				

(*) Amostra com glicina (branco)

**"Exames Bacteriológicos
Ensaio - 2"**

TABELA G.9 Resultados de Exames Bacteriológicos

ENSAIO 2	DILUIÇÃO (ml)	T E S T E				E. C. 24h	N. M. P. /100ml
		PRESUNTIVO		CONFIRMATIVO			C. T.
		24h	48h	24h	48h		
ÁGUA BRUTA NATURAL	5×10	+++++	+++++				* ANÔMALO
	5×1	+++++	+++++			-----	
	5×10 ⁻¹	+++++	+++++	+++++	+++++	-----	
	5×10 ⁻²	+++++	+++++	-----	-----	-----	
	5×10 ⁻³	-----	+++++	-----	-----	-----	
ÁGUA BRUTA OZONIZ.	5×10	+++++	+++++	-----	-----	-----	* ANÔMALO
	5×1	+++++	+++++	-----	-----	-----	
	5×10 ⁻¹	+++++	+++++	-----	-----	-----	
	5×10 ⁻²	-----	-----	--	++	--	

* Não consta índice de N. M. P. por 100 ml dos resultados :

- Bruta Natural - 5/2/3 tubos positivos em Coli Total;
- Bruta Ozoniz. - 4/1/4 tubos positivos em Coli Total.

**"Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
com a Água Bruta Pré - Ozonizada com Tempo de
Aplicação de Ozônio de 5 min. - Ensaio 2"**

TABELA G.10 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90	FIGURA Nº: G.10.1 e G.10.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5 '	DOSAGEM : 3,86 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE		
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)	
01	0	—	—	22,0	85	140,0	156	
		5	1,0	6,70	22,0	85	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	7,0	27	40,0	44
			7,0	0,80	4,5	17	20,0	22
02	0	—	—	22,0	85	140,0	156	
		10	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	5,9	20	90,0	99
			7,0	0,80	4,9	17	15,0	17
03	0	—	—	22,0	85	140,0	156	
		15	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	8,0	91	20,0	22
			7,0	0,80	5,0	19	15,0	17
04	0	—	—	22,0	85	140,0	156	
		20	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	9,5	97	20,0	22
			7,0	0,80	5,0	19	15,0	17
05	0	—	—	22,0	85	140,0	156	
		25	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	5,8	22	20,0	22
			7,0	0,80	5,5	21	15,0	17
06	0	—	—	22,0	85	140,0	156	
		30	1,0	6,70	20,0	77	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	5,5	21	15,0	17
			7,0	0,80	5,0	19	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	82,92	379,50	96,0
OZON.	8,0	25	20,0	50,0	82,92	381,80	96,0

TABELA G.11 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90	FIGURA Nº: G.11.1 e G.11.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5'	DOSAGEM : 3,86 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	---	---	20,0	77	90,0	100
		1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	10,0	38	30,0	33
		7,0	0,80	7,0	27	25,0	28
02	10	---	---	20,0	77	90,0	100
		1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	14,0	54	60,0	67
		3,5	1,60	8,5	33	25,0	28
		7,0	0,80	4,5	17	15,0	17
03	15	---	---	20,0	77	90,0	100
		1,0	6,70	19,0	73	90,0	100
		2,0	9,10	14,0	54	60,0	67
		3,5	1,60	6,0	23	25,0	28
		7,0	0,80	4,0	15	15,0	17
04	20	---	---	20,0	77	90,0	100
		1,0	6,70	19,0	73	90,0	100
		2,0	9,10	13,0	50	50,0	56
		3,5	1,60	7,5	29	25,0	28
		7,0	0,80	5,0	19	15,0	17
05	25	---	---	20,0	77	90,0	100
		1,0	6,70	19,0	73	90,0	100
		2,0	9,10	13,0	50	35,0	39
		3,5	1,60	7,5	29	20,0	22
		7,0	0,80	5,5	21	15,0	17
06	30	---	---	20,0	77	90,0	100
		1,0	6,70	19,0	73	90,0	100
		2,0	9,10	13,0	50	35,0	39
		3,5	1,60	6,5	25	20,0	22
		7,0	0,80	4,5	17	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	82,92	379,50	36,0
OZON.	8,0	25	20,0	50,0	82,92	381,80	36,0

TABELA G.12 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90	FIGURA Nº: G.12.1 e G.12.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5'	DOSAGEM : 3,86 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	21,0	81	90,0	100
	5	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		3,5	1,60	18,0	69	70,0	78
		7,0	0,80	14,0	54	50,0	56
02	0	—	—	21,0	81	90,0	100
	10	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		3,5	1,60	15,0	58	50,0	56
		7,0	0,80	11,0	42	35,0	39
03	0	—	—	21,0	81	90,0	100
	15	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		3,5	1,60	15,0	58	50,0	56
		7,0	0,80	11,0	42	35,0	39
04	0	—	—	21,0	81	90,0	100
	20	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	80,0	89
		3,5	1,60	19,0	50	50,0	56
		7,0	0,80	11,0	42	35,0	39
05	0	—	—	21,0	81	90,0	100
	25	1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	19,0	73	70,0	78
		3,5	1,60	12,0	46	50,0	56
		7,0	0,80	11,0	42	35,0	39
06	0	—	—	21,0	81	90,0	100
	30	1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	19,0	73	70,0	78
		3,5	1,60	12,0	46	50,0	56
		7,0	0,80	10,5	40	35,0	39

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor mg/l Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	82,92	979,50	36,0
OZON.	8,0	25	20,0	50,0	82,92	981,80	36,0

TABELA G.13 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90	FIGURA Nº: G.13.1 e G.13.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5'	DOSAGEM : 3,86 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	20,0	77	80,0	89
	5	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	17,0	65	60,0	67
		3,5	1,60	14,0	54	50,0	56
		7,0	0,80	19,0	50	95,0	99
02	0	—	—	20,0	77	80,0	89
	10	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	17,0	65	60,0	67
		3,5	1,60	14,0	54	50,0	56
		7,0	0,80	10,0	38	90,0	99
03	0	—	—	20,0	77	80,0	89
	15	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	17,0	65	50,0	56
		3,5	1,60	14,0	54	50,0	56
		7,0	0,80	10,0	38	90,0	99
04	0	—	—	20,0	77	80,0	89
	20	1,0	6,70	18,0	69	80,0	89
		2,0	9,10	16,0	62	50,0	56
		3,5	1,60	14,0	54	50,0	56
		7,0	0,80	10,0	38	90,0	99
05	0	—	—	20,0	77	80,0	89
	25	1,0	6,70	18,0	69	80,0	89
		2,0	9,10	16,0	62	50,0	56
		3,5	1,60	19,0	50	40,0	44
		7,0	0,80	9,5	37	20,0	22
06	0	—	—	20,0	77	80,0	89
	30	1,0	6,70	18,0	69	80,0	89
		2,0	9,10	16,0	62	50,0	56
		3,5	1,60	12,0	46	95,0	99
		7,0	0,80	9,0	35	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	82,92	379,50	96,0
OZON.	8,0	25	20,0	50,0	82,92	381,80	96,0

TABELA G.14 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90	FIGURA Nº: G.14.1 e G.14.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5 '	DOSAGEM : 3,86 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIAMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	0	—	—	17,0	65	70,0	78
		1,0	6,70	17,0	65	70,0	78
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	15,0	58	70,0	78
		7,0	0,80	15,0	58	50,0	56
02	10	—	—	17,0	65	70,0	78
		1,0	6,70	17,0	65	70,0	78
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	15,0	58	70,0	78
		7,0	0,80	14,0	54	50,0	56
03	15	—	—	17,0	65	70,0	78
		1,0	6,70	17,0	65	70,0	76
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	76
		3,5	1,60	15,0	58	60,0	67
		7,0	0,80	19,0	50	50,0	56
04	20	—	—	17,0	65	70,0	78
		1,0	6,70	17,0	65	70,0	78
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	15,0	58	60,0	67
		7,0	0,80	12,0	46	40,0	44
05	25	—	—	17,0	65	70,0	78
		1,0	6,70	16,0	62	70,0	78
		2,0	9,10	15,0	58	70,0	78
		3,5	1,60	19,0	50	60,0	67
		7,0	0,80	12,0	46	40,0	44
06	30	—	—	17,0	65	70,0	78
		1,0	6,70	16,0	62	70,0	78
		2,0	9,10	15,0	58	70,0	78
		3,5	1,60	19,0	50	60,0	67
		7,0	0,80	12,0	46	95,0	99

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	82,92	979,50	96,0
OZON.	8,0	25	20,0	50,0	82,92	984,80	96,0

"Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação,
Para Diferentes Velocidades de Sedimentação, nas
Condições Especificadas - Ensaio 2"

TABELA G.15 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 2	DATA : 14/08/90	FIGURA Nº:G.15.1 e G.15.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 5'	DOSAGEM : 3,86 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE		REMANESCENTE	
				ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	17,0	65	50,0	56
	5	1,0	6,70	15,0	58	40,0	44
		2,0	9,10	15,0	58	40,0	44
		3,5	1,60	14,0	54	40,0	44
		7,0	0,80	13,0	50	25,0	28
02	0	—	—	17,0	65	50,0	56
	10	1,0	6,70	15,0	58	40,0	44
		2,0	9,10	15,0	58	40,0	44
		3,5	1,60	12,0	46	25,0	28
		7,0	0,80	10,0	38	20,0	22
03	0	—	—	17,0	65	50,0	56
	15	1,0	6,70	15,0	58	40,0	44
		2,0	9,10	15,0	58	40,0	44
		3,5	1,60	12,0	46	25,0	28
		7,0	0,80	7,8	30	15,0	17
04	0	—	—	17,0	65	50,0	56
	20	1,0	6,70	15,0	58	40,0	44
		2,0	9,10	14,0	54	35,0	39
		3,5	1,60	12,0	46	25,0	28
		7,0	0,80	7,5	29	15,0	17
05	0	—	—	17,0	65	50,0	56
	25	1,0	6,70	15,0	58	35,0	39
		2,0	9,10	14,0	54	35,0	39
		3,5	1,60	11,0	42	25,0	28
		7,0	0,80	5,5	21	10,0	11
06	0	—	—	17,0	65	50,0	56
	30	1,0	6,70	15,0	58	35,0	39
		2,0	9,10	14,0	54	35,0	39
		3,5	1,60	10,0	38	20,0	22
		7,0	0,80	5,0	19	10,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T	Turb.	Cor Ap.	Alcalin.	Condutiv.	Dureza
		(c)	(ut)	mg/l [Pt-Co]	(mgCaCO ₃ /l)	(µmho/cm)	(mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	82,92	979,50	96,0
ÓZON.	8,0	25	20,0	50,0	82,92	981,80	96,0

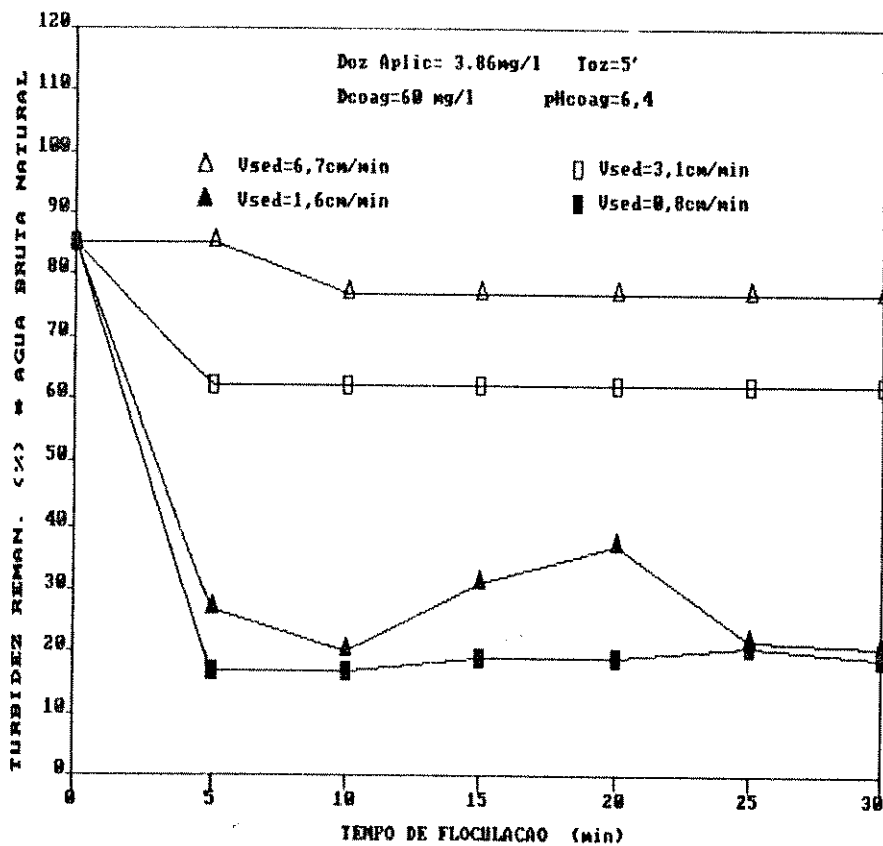


Figura G.10.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

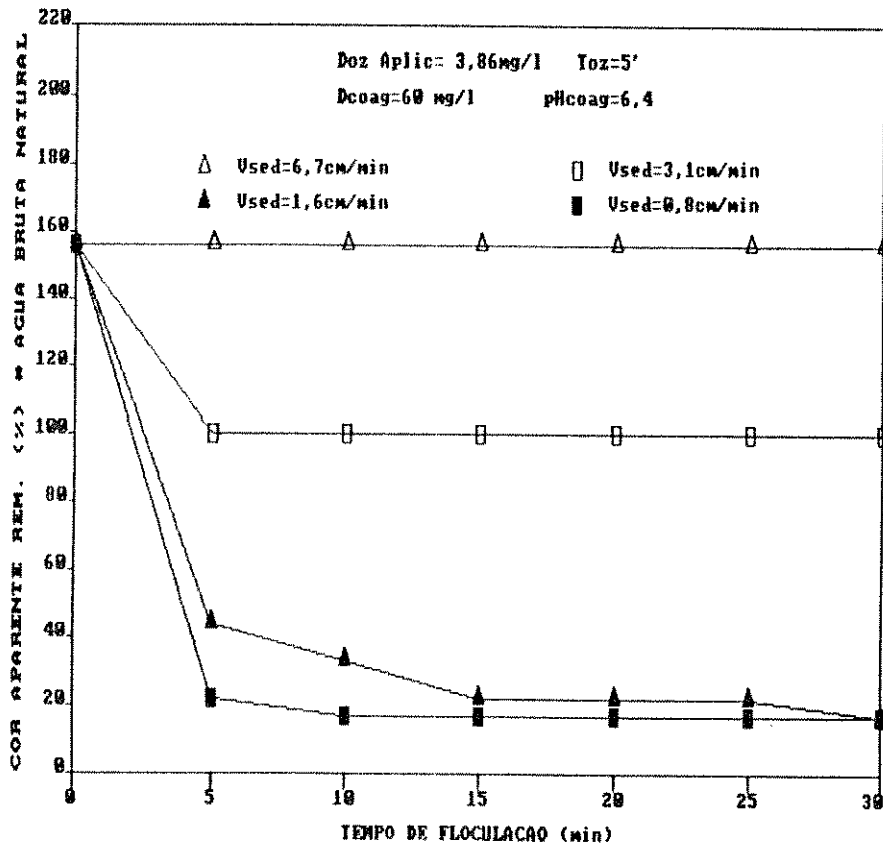


Figura G.10.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

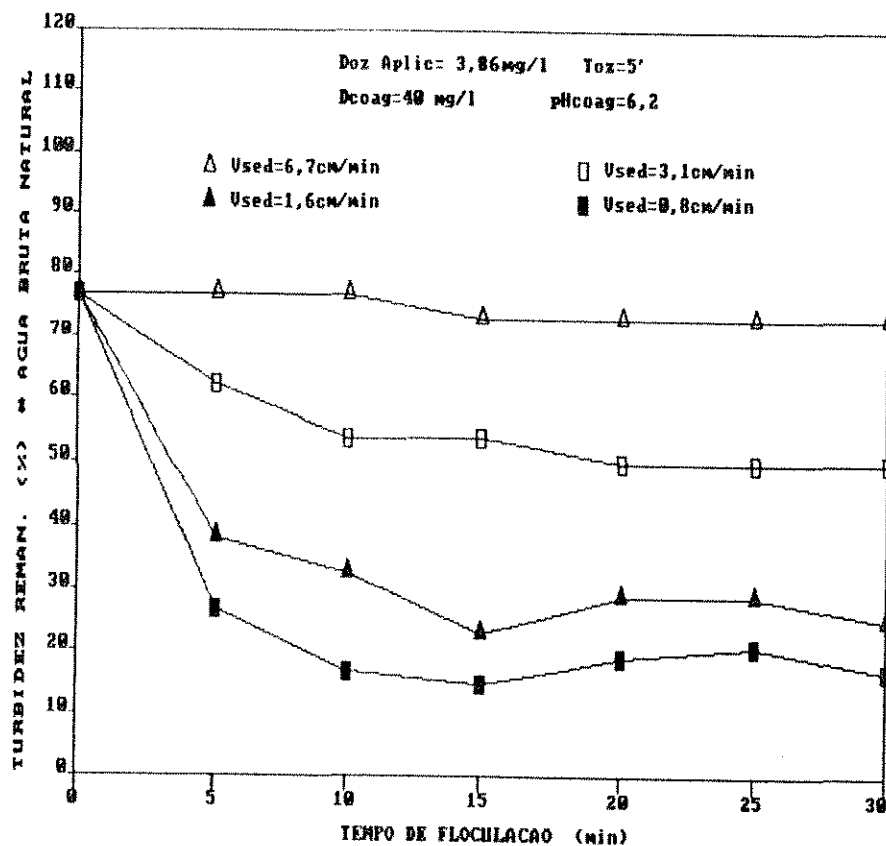


Figura G.11.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

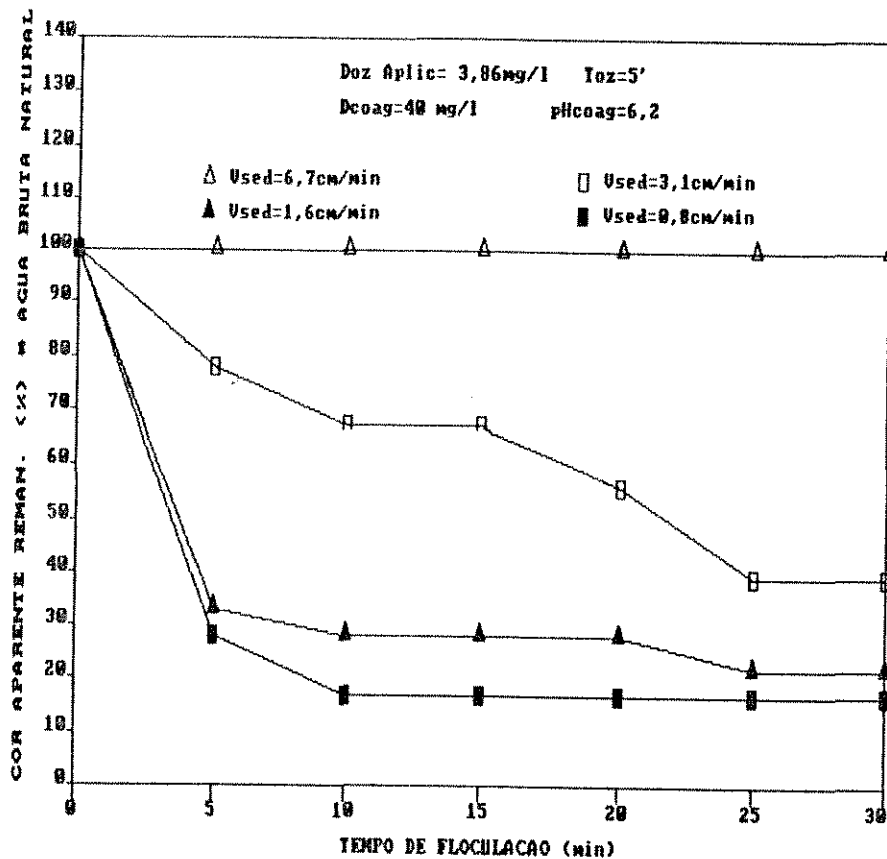


Figura G.11.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

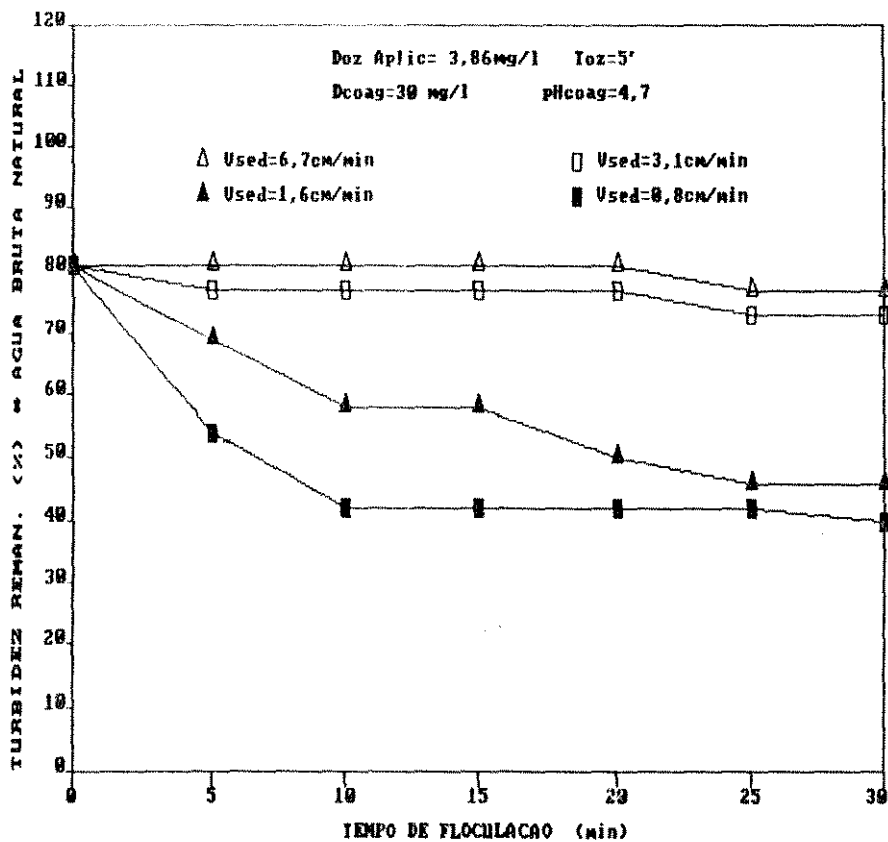


Figura G.12.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

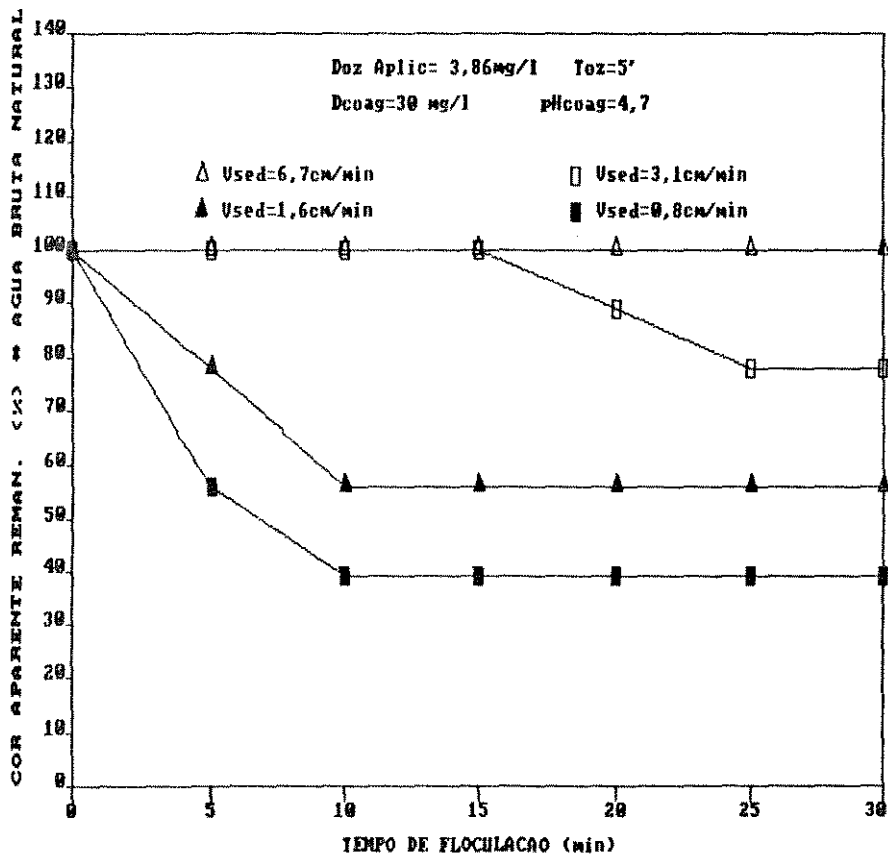


Figura G.12.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

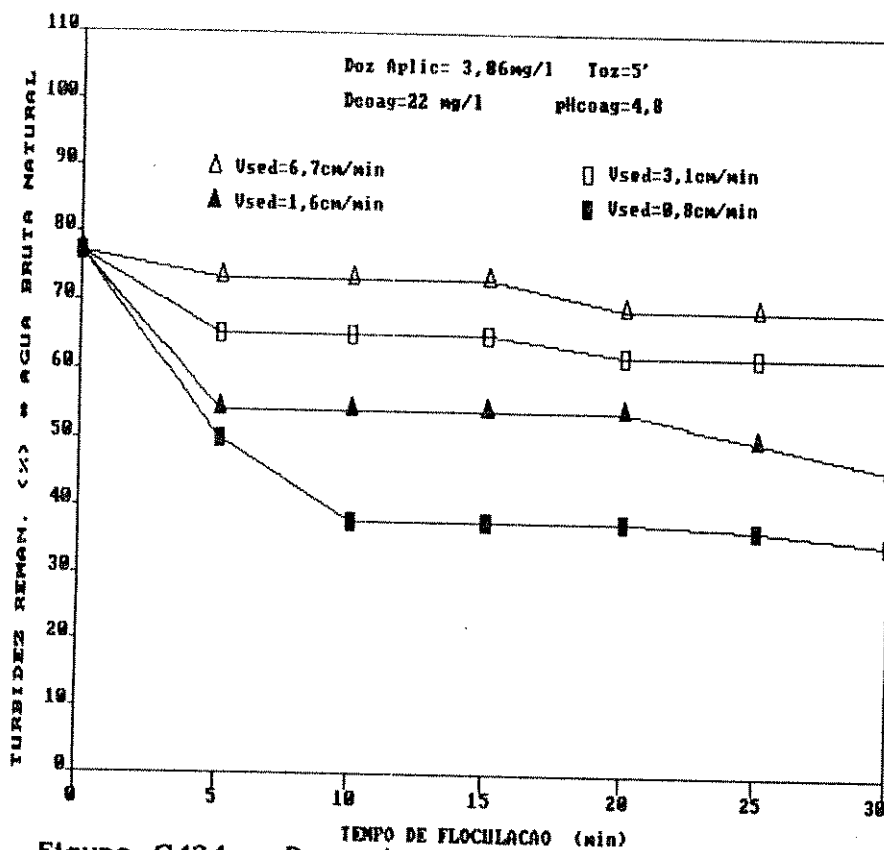


Figura G.13.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

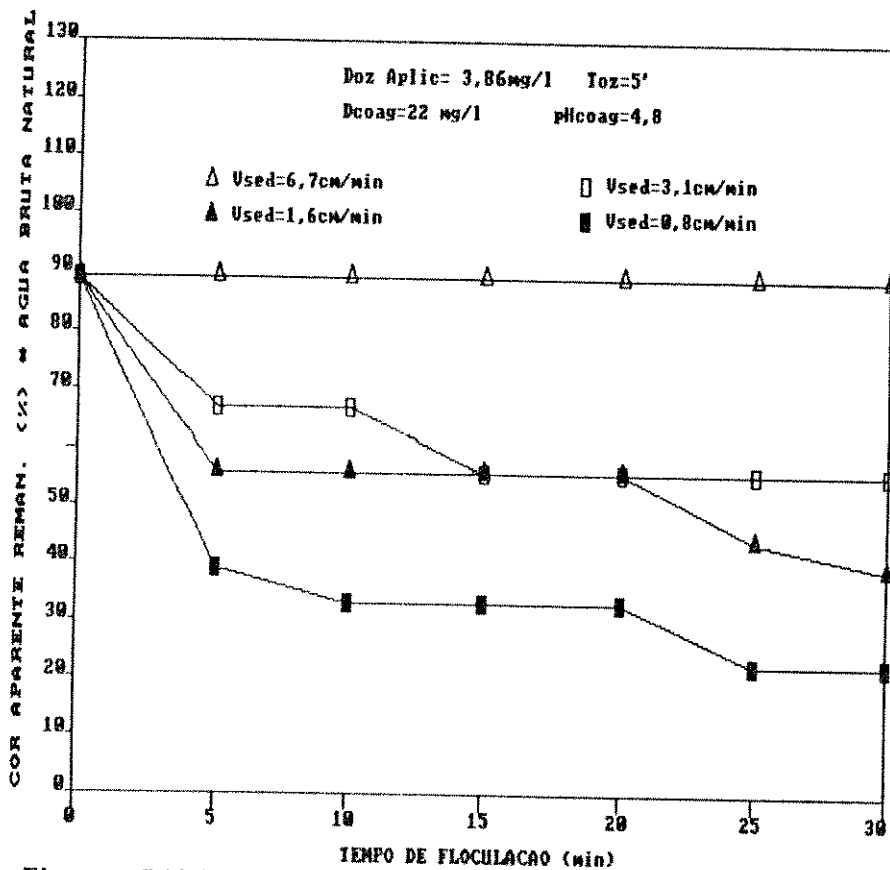


Figura G.13.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

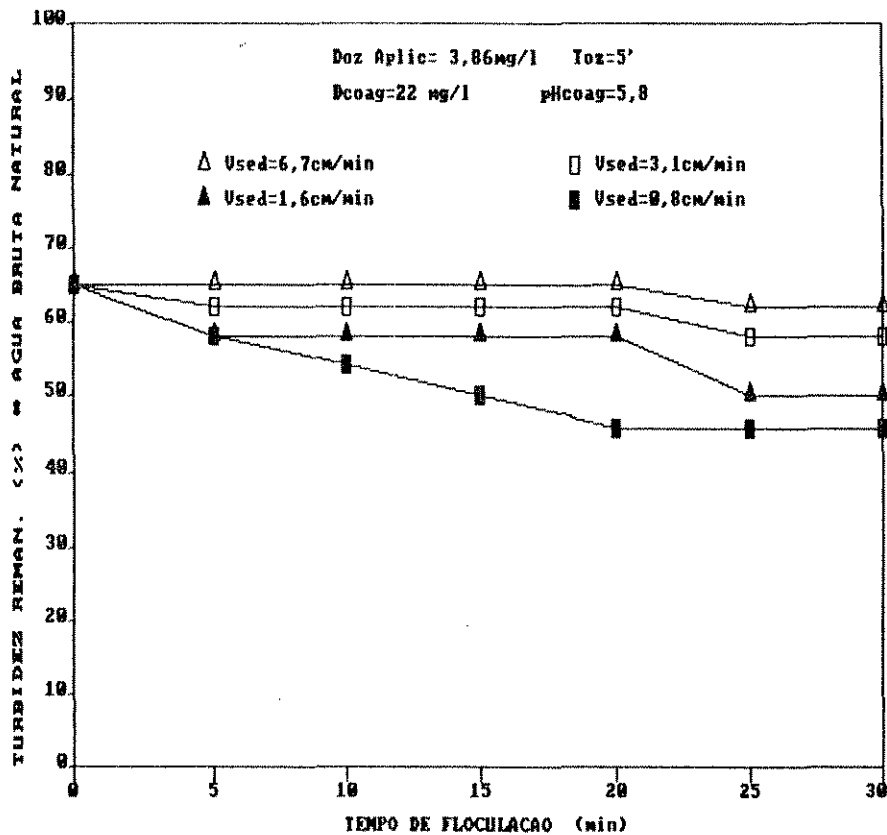


Figura G.14.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

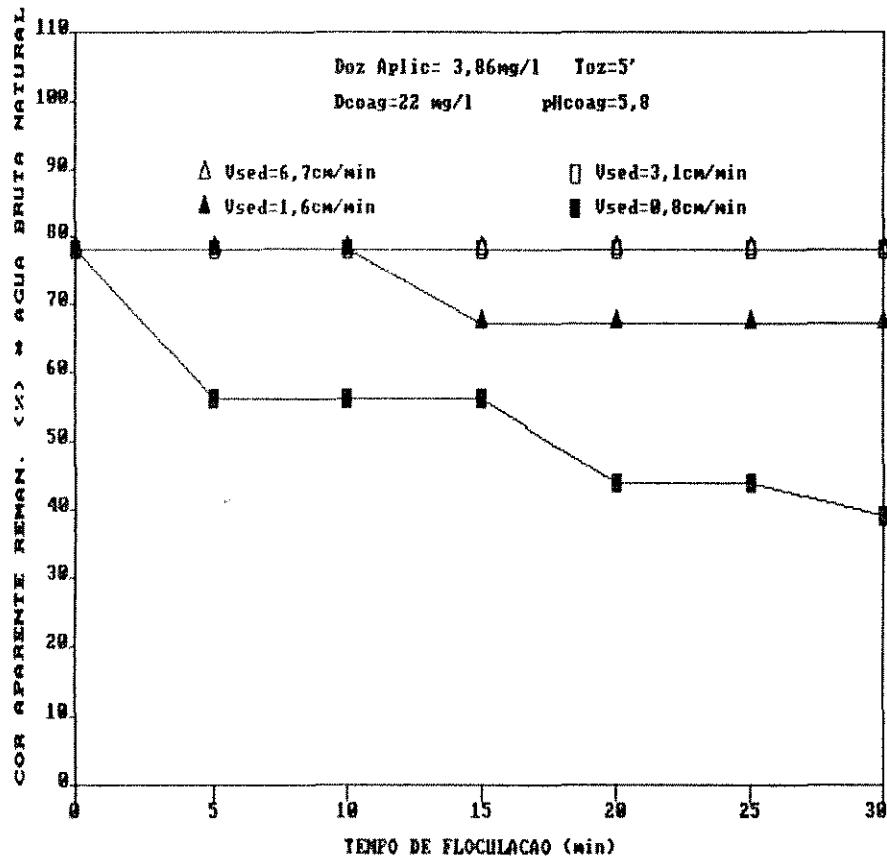


Figura G.14.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

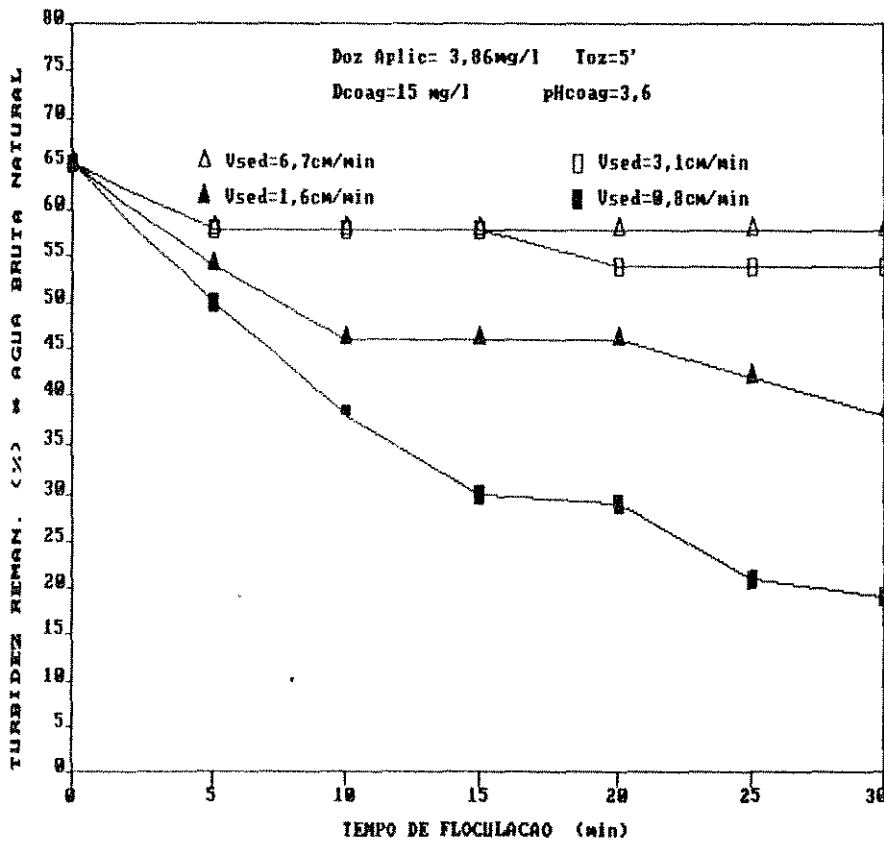


Figura G.15.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

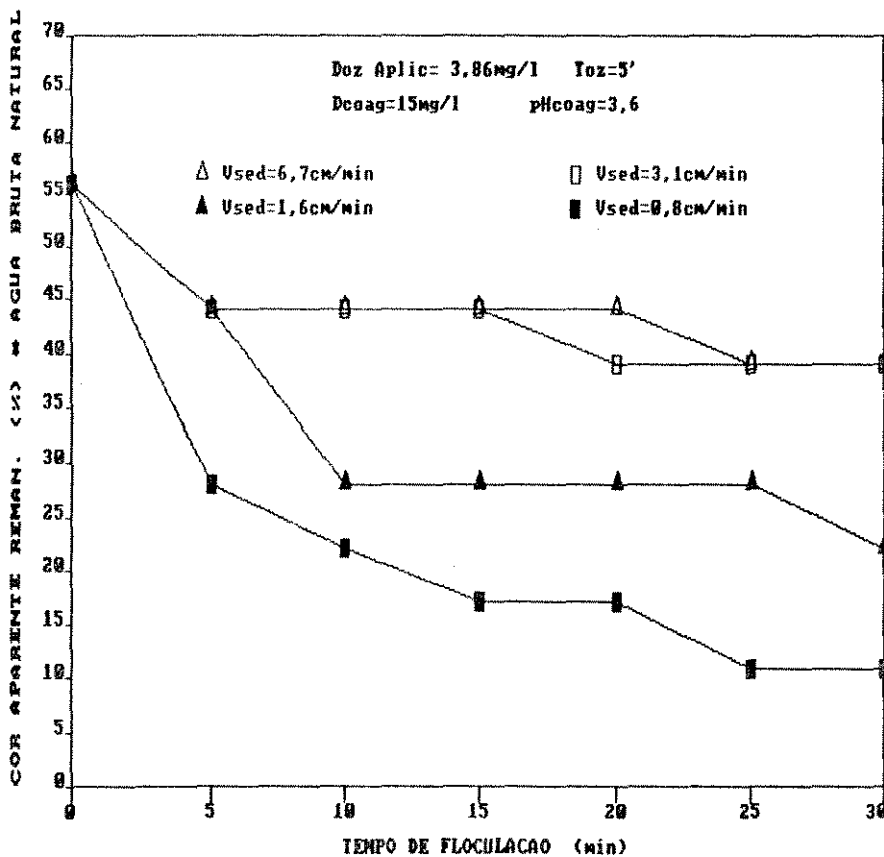


Figura G.15.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

**"Ensaio de Pré - Ozonização:
Condições de Operação do Aparelho Gerador de Ozônio
Ensaio - 3"**

TABELA G.16 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	
Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
211,29	4,52
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO	
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	: 2,0 (Kg/cm ²)
Vazão Máxima de oxigênio no gerador	: 80,0 (%)
Pressão do gás no gerador	: 0,7 (Kg/cm ²)
Vazão média do gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	: 479,8 (l/h)
Voltagem	: 230,0 (V)
PRODUÇÃO DE OZÔNIO	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 2,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 56,5 (ml)
Produção de Ozônio calculada	: 10,22 (g/h)
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA	
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 7,5 (min.)
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	: 6,04 (mg/l)
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	: 21,29 (gO ₃ /10z)
Concentração Média do Residual de Ozônio	: 0,333 (mgO ₃ /l)
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE OFF-GAS	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 7,5 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 25,81 (ml)
Concentração de Ozônio na coluna de off-gas	: 0,56 (mg/l)

**"Determinação do Residual de Ozônio na Água Através
do Método Colorimétrico à uma Produção Constante
Ensaio - 3"**

TABELA G.17 Concentração do Residual de Ozônio na Água

ENSAIO 3				
Tempo de aplicação de ozônio - 7,5 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 6,04 mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,185				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,020	0,165	0,437
A-1(*)	90	0,161	0,141	0,373
A-2	90	0,035	0,150	0,397
A-3	90	0,093	0,092	0,243
A-4	90	0,080	0,105	0,278
A-5	90	0,069	0,116	0,307
Concentração Média $C_{m_1} = 0,323$ mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 3,0 cm: Branco - 0,557				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 3cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,065	0,492	0,434
A-1(*)	90	0,436	0,371	0,327
A-2	90	0,084	0,473	0,417
A-3	90	0,255	0,302	0,266
A-4	90	0,229	0,328	0,289
A-5	90	0,210	0,347	0,306
Concentração Média $C_{m_2} = 0,334$ mg O ₃ /l				

(*) Amostra com glicina (branco)

**"Exames Bacteriológicos
Ensaio - 3"**

TABELA G.18 Resultados de Exames Bacteriológicos

ENSAIO 3	DILUIÇÃO (ml)	T E S T E				E. C. 24h	N. M. P. /100ml
		PRESUNTIVO		CONFIRMATIVO			C. T.
		24h	48h	24h	48h		
ÁGUA BRUTA NATURAL	5×10	+++++	+++++	+++++	+++++	-----+	230.000
	5×1	+++++	+++++	+++++	+++++	-----	
	5×10 ⁻¹	-----+	+++++	+++++	+++++	-----	
	5×10 ⁻²	-----+	+++++	+++++	+++++	-----	
	5×10 ⁻³	-----	+++++	-----	+++++	-----	
ÁGUA BRUTA OZONIZ.	5×10	-----	+++++	-----	-----	-----	4
	5×1	-----	+++++	-----	-----	-----	
	5×10 ⁻¹	-----	-----	-	-	-	
	5×10 ⁻²	-----	-----				

**"Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
com a Água Bruta Pré - Ozonizada com Tempo de
Aplicação de Ozônio de 7,5 min. - Ensaio 3"**

TABELA G.19 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90	FIGURA Nº: G.19.1 e G.19.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 7,5'	DOSAGEM : 6,04 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE		
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)	
01	0	—	—	19,0	79	140,0	156	
		5	1,0	6,70	18,0	69	140,0	156
			2,0	9,10	15,0	58	100,0	111
			3,5	1,60	8,5	33	50,0	56
			7,0	0,80	3,2	12	20,0	22
02	10	—	—	19,0	79	140,0	156	
		10	1,0	6,70	18,0	69	140,0	156
			2,0	9,10	15,0	58	100,0	111
			3,5	1,60	12,0	46	70,0	78
			7,0	0,80	7,2	28	90,0	99
03	15	—	—	19,0	79	140,0	156	
		15	1,0	6,70	18,0	69	140,0	156
			2,0	9,10	15,0	58	100,0	111
			3,5	1,60	6,2	24	25,0	28
			7,0	0,80	4,4	17	15,0	17
04	20	—	—	19,0	79	140,0	156	
		20	1,0	6,70	18,0	69	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	100,0	111
			3,5	1,60	9,5	37	40,0	44
			7,0	0,80	5,5	21	20,0	22
05	25	—	—	19,0	79	140,0	156	
		25	1,0	6,70	18,0	69	140,0	156
			2,0	9,10	16,0	62	100,0	111
			3,5	1,60	7,6	29	95,0	99
			7,0	0,80	5,2	20	20,0	22
06	30	—	—	19,0	79	140,0	156	
		30	1,0	6,70	17,0	65	140,0	156
			2,0	9,10	15,0	58	100,0	111
			3,5	1,60	7,0	27	95,0	99
			7,0	0,80	4,0	15	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conductiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	861,0	91,0
OZON.	8,0	25	24,0	50,0	75,46	865,20	91,0

TABELA G.20 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90	FIGURA Nº: G.20.1 e G.20.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 7,5'	DOSAGEM : 6,04 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBI DEZ		COR APARENTE		
		TEMPO (min)	VELOCI DADE (cm/min.)	REMANESCENTE		REMANESCENTE		
				ut	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)	
01	0	---	---	19,0	73	100,0	111	
		5	1,0	6,70	18,0	69	100,0	111
			2,0	9,10	17,0	65	100,0	111
			3,5	1,60	12,0	46	90,0	100
			7,0	0,80	6,9	27	25,0	28
02	10	---	---	19,0	73	100,0	111	
		10	1,0	6,70	18,0	69	111,0	100
			2,0	9,10	15,0	58	90,0	100
			3,5	1,60	9,0	35	50,0	56
			7,0	0,80	5,5	21	20,0	22
03	15	---	---	19,0	73	100,0	111	
		15	1,0	6,70	18,0	69	100,0	111
			2,0	9,10	14,0	54	90,0	100
			3,5	1,60	6,6	25	35,0	39
			7,0	0,80	4,7	18	15,0	17
04	20	---	---	19,0	73	100,0	111	
		20	1,0	6,70	18,0	69	100,0	111
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	8,0	31	35,0	39
			7,0	0,80	4,6	18	15,0	17
05	25	---	---	19,0	73	100,0	111	
		25	1,0	6,70	17,0	65	100,0	111
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	7,7	30	25,0	28
			7,0	0,80	4,9	17	10,0	11
06	30	---	---	19,0	73	100,0	111	
		30	1,0	6,70	17,0	65	100,0	111
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	7,5	29	25,0	28
			7,0	0,80	4,0	15	10,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-Co) (mg/l)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	91,0
OZON.	8,0	25	24,0	50,0	75,46	365,20	91,0

TABELA G. 21 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90	FIGURA Nº: G.21.1 e G.21.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 7,5'	DOSAGEM : 6,04 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	ut	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)
01	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	5	1,0	6,70	19,0	79	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	90,0	100
		9,5	1,60	16,0	62	80,0	89
		7,0	0,80	14,0	54	70,0	78
02	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	10	1,0	6,70	19,0	79	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	19,0	50	70,0	78
03	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	15	1,0	6,70	19,0	79	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	12,0	46	70,0	78
04	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	20	1,0	6,70	19,0	79	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	12,0	46	70,0	78
05	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	25	1,0	6,70	19,0	79	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	12,0	46	50,0	56
06	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	30	1,0	6,70	19,0	79	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	12,0	46	50,0	56

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co] (mg/l)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	961,0	31,0
OZON.	8,0	25	24,0	50,0	75,46	965,20	31,0

TABELA G. 22 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90	FIGURA Nº: D. 22.1 e G. 22.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 7,5'	DOSAGEM : 6,04 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE (ut)	(%)	REMANESCENTE (Pt-Co) (mg/l)	(%)
01	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	5	1,0	6,70	18,0	69	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	90,0	100
		3,5	1,60	16,0	62	90,0	100
		7,0	0,80	14,0	54	70,0	78
02	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	10	1,0	6,70	18,0	69	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	90,0	100
		3,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	13,0	50	70,0	78
03	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	15	1,0	6,70	18,0	69	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		3,5	1,60	15,0	58	80,0	89
		7,0	0,80	11,0	42	40,0	44
04	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	20	1,0	6,70	18,0	69	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		3,5	1,60	14,0	54	80,0	89
		7,0	0,80	11,0	42	40,0	44
05	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	25	1,0	6,70	18,0	69	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		3,5	1,60	14,0	54	70,0	78
		7,0	0,80	10,0	38	40,0	44
06	0	—	—	20,0	77	90,0	100
	30	1,0	6,70	18,0	69	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		3,5	1,60	14,0	54	70,0	78
		7,0	0,80	9,5	37	40,0	44

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l) [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	91,0
OZON.	8,0	25	24,0	50,0	75,46	365,20	91,0

TABELA G.23 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90	FIGURA Nº: G.23.1 e G.23.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 7,5'	DOSAGEM : 6,04 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE		
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)	
01	0	—	—	18,0	69	90,0	100	
		5	1,0	6,70	16,0	62	90,0	100
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	16,0	62	90,0	100
			7,0	0,80	15,0	58	90,0	100
02	10	—	—	18,0	69	90,0	100	
		10	1,0	6,70	16,0	62	90,0	100
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	15,0	58	90,0	100
			7,0	0,80	14,0	54	90,0	100
03	15	—	—	18,0	69	90,0	100	
		15	1,0	6,70	16,0	62	90,0	100
			2,0	9,10	16,0	62	90,0	100
			3,5	1,60	15,0	58	90,0	100
			7,0	0,80	14,0	54	90,0	100
04	20	—	—	18,0	69	90,0	100	
		20	1,0	6,70	16,0	62	90,0	100
			2,0	9,10	15,0	58	90,0	100
			3,5	1,60	15,0	58	90,0	100
			7,0	0,80	13,0	50	80,0	89
05	25	—	—	18,0	69	90,0	100	
		25	1,0	6,70	16,0	62	90,0	100
			2,0	9,10	15,0	58	90,0	100
			3,5	1,60	14,0	54	80,0	89
			7,0	0,80	13,0	50	80,0	89
06	30	—	—	18,0	69	90,0	100	
		30	1,0	6,70	16,0	62	90,0	100
			2,0	9,10	15,0	58	90,0	100
			3,5	1,60	14,0	54	80,0	89
			7,0	0,80	12,0	46	80,0	89

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	961,0	81,0
OZON.	8,0	25	24,0	50,0	75,46	965,20	81,0

TABELA G.24 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 3	DATA : 25/07/90	FIGURA Nº: G.24.1 e G.24.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 7,5'	DOSAGEM : 6,04 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(cut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	16,0	62	40,0	44
	5	1,0	6,70	15,0	58	35,0	39
		2,0	9,10	15,0	58	35,0	39
		3,5	1,60	14,0	54	30,0	33
		7,0	0,80	13,0	50	20,0	22
02	0	—	—	16,0	62	40,0	44
	10	1,0	6,70	15,0	58	30,0	33
		2,0	9,10	14,0	54	30,0	33
		3,5	1,60	13,0	50	25,0	28
		7,0	0,80	12,0	46	20,0	22
03	0	—	—	16,0	62	40,0	44
	15	1,0	6,70	15,0	58	30,0	33
		2,0	9,10	14,0	54	30,0	33
		3,5	1,60	13,0	50	25,0	28
		7,0	0,80	11,0	42	20,0	22
04	0	—	—	16,0	62	40,0	44
	20	1,0	6,70	15,0	58	30,0	33
		2,0	9,10	14,0	54	30,0	33
		3,5	1,60	13,0	50	20,0	22
		7,0	0,80	10,0	38	20,0	22
05	0	—	—	16,0	62	40,0	44
	25	1,0	6,70	15,0	58	30,0	33
		2,0	9,10	14,0	54	30,0	33
		3,5	1,60	12,0	46	20,0	22
		7,0	0,80	9,0	35	15,0	17
06	0	—	—	16,0	62	40,0	44
	30	1,0	6,70	15,0	58	25,0	28
		2,0	9,10	14,0	54	25,0	28
		3,5	1,60	12,0	46	20,0	22
		7,0	0,80	9,0	35	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	77,42	361,0	91,0
OZON.	8,0	25	24,0	50,0	75,46	365,20	91,0

"Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação,
Para Diferentes Velocidades de Sedimentação, nas
Condições Especificadas - Ensaio 3"

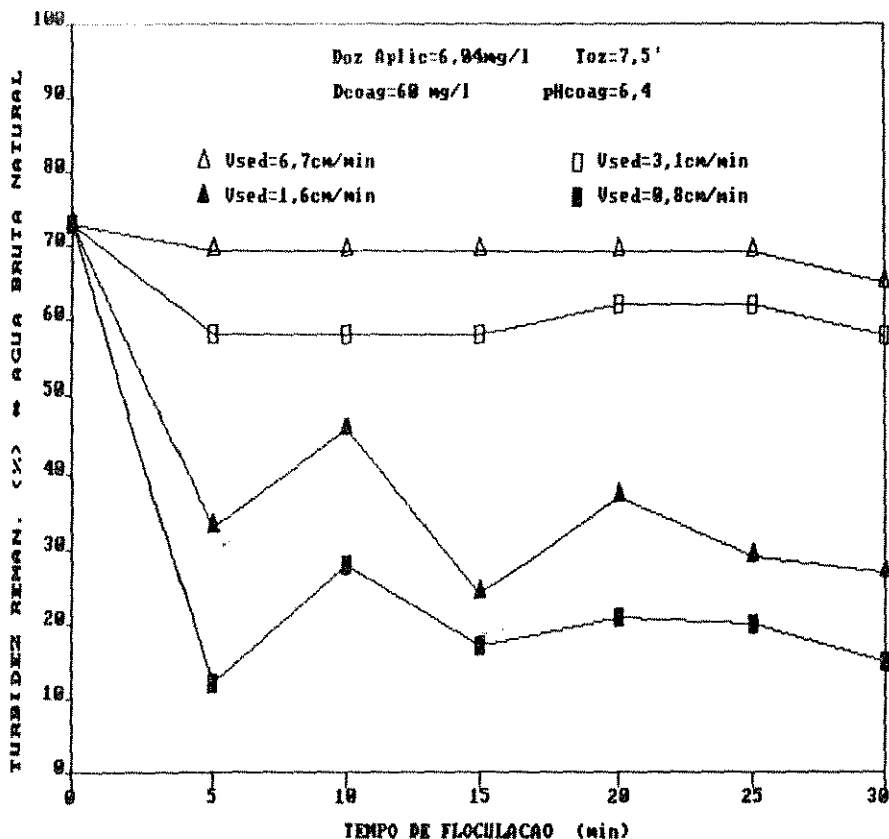


Figura G.19.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

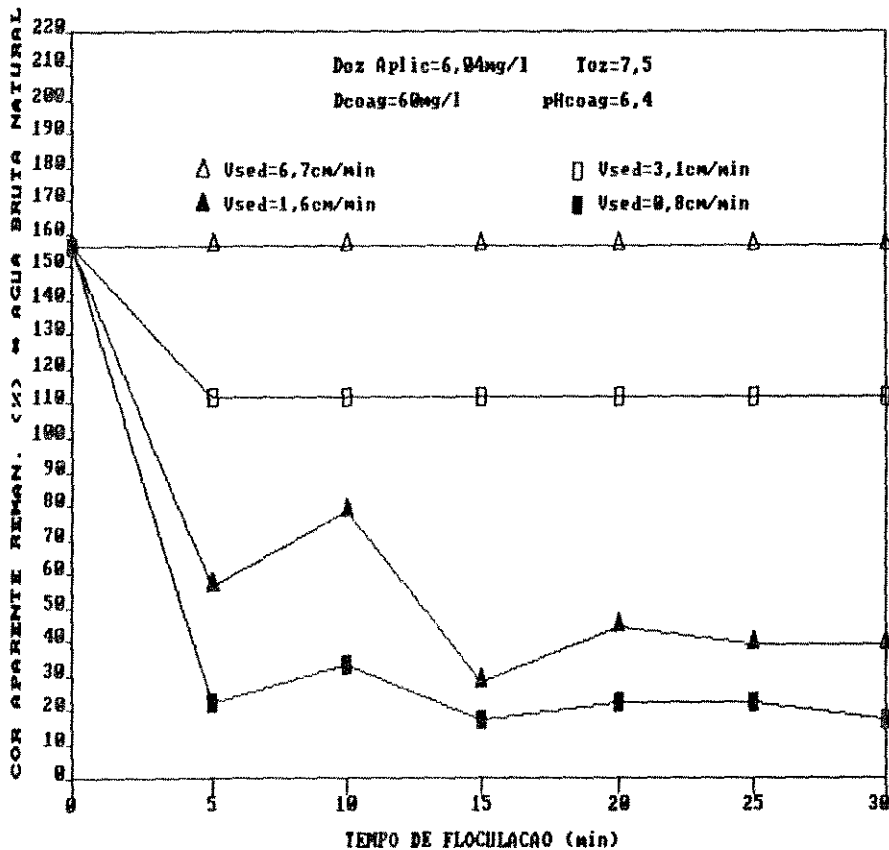


Figura G.19.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

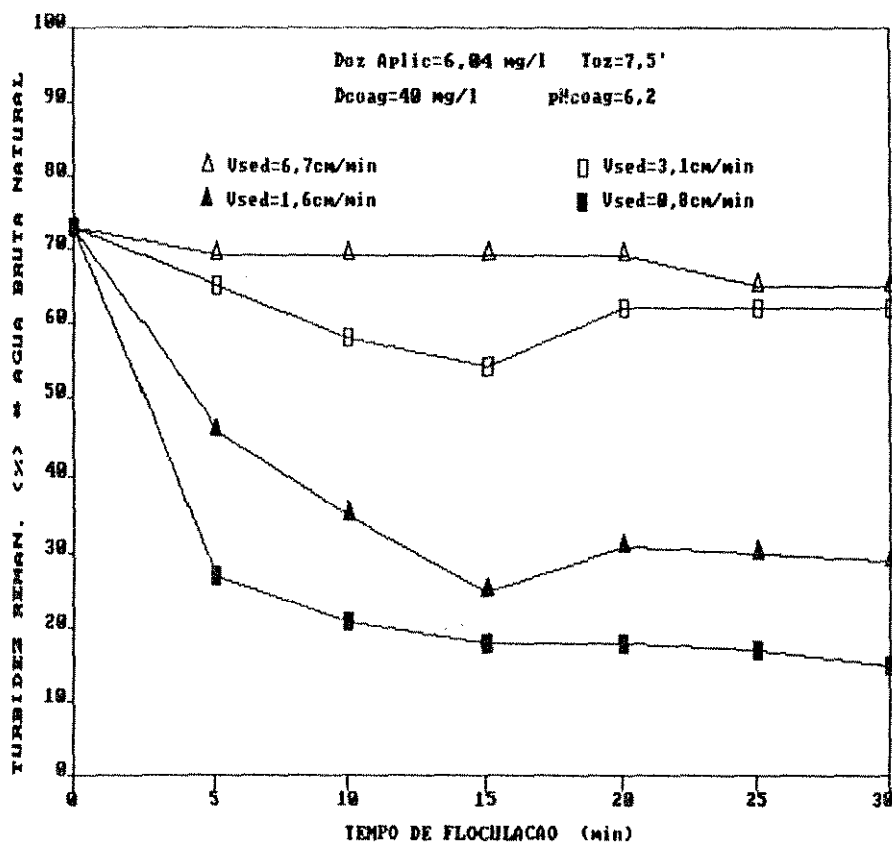


Figura G.20.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

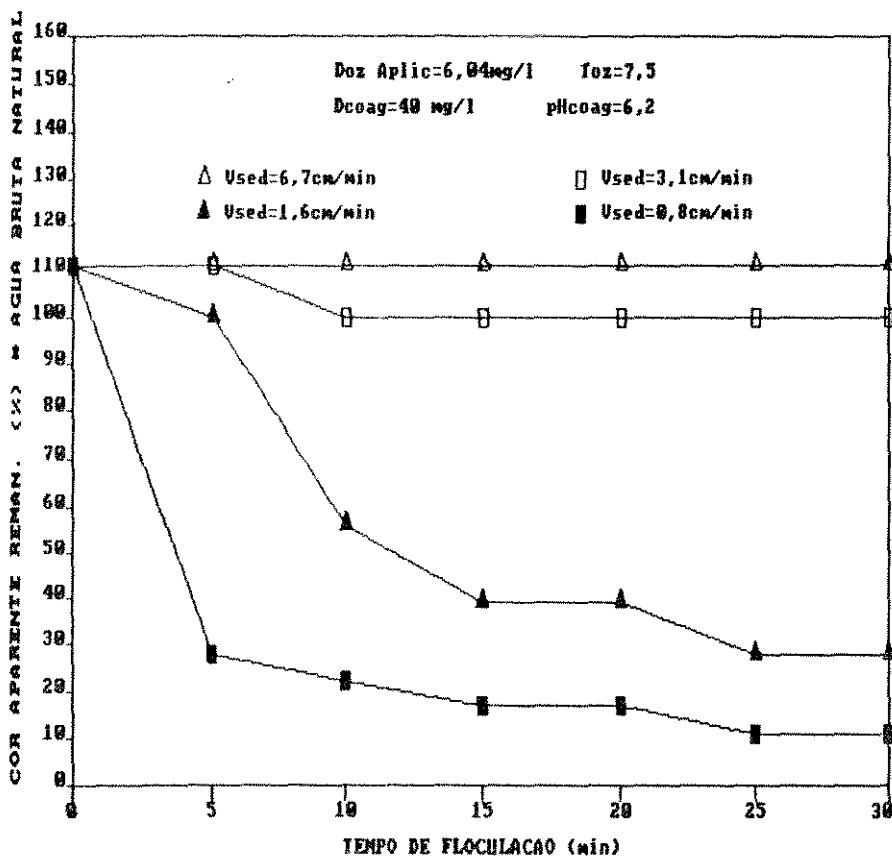


Figura G.20.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

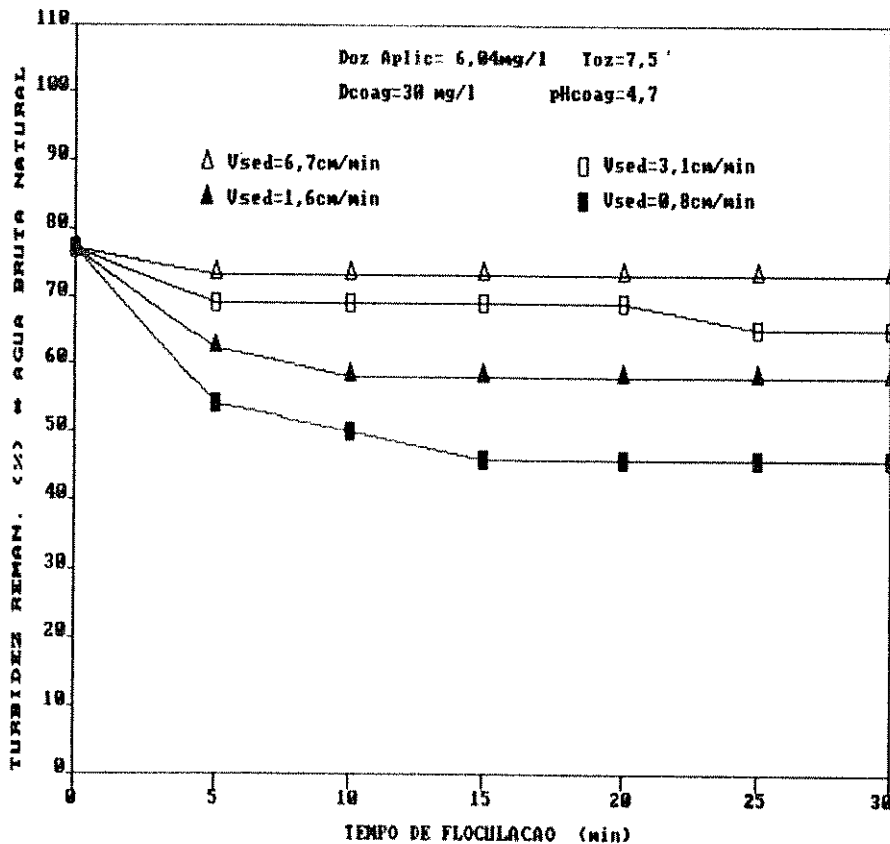


Figura G.21.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

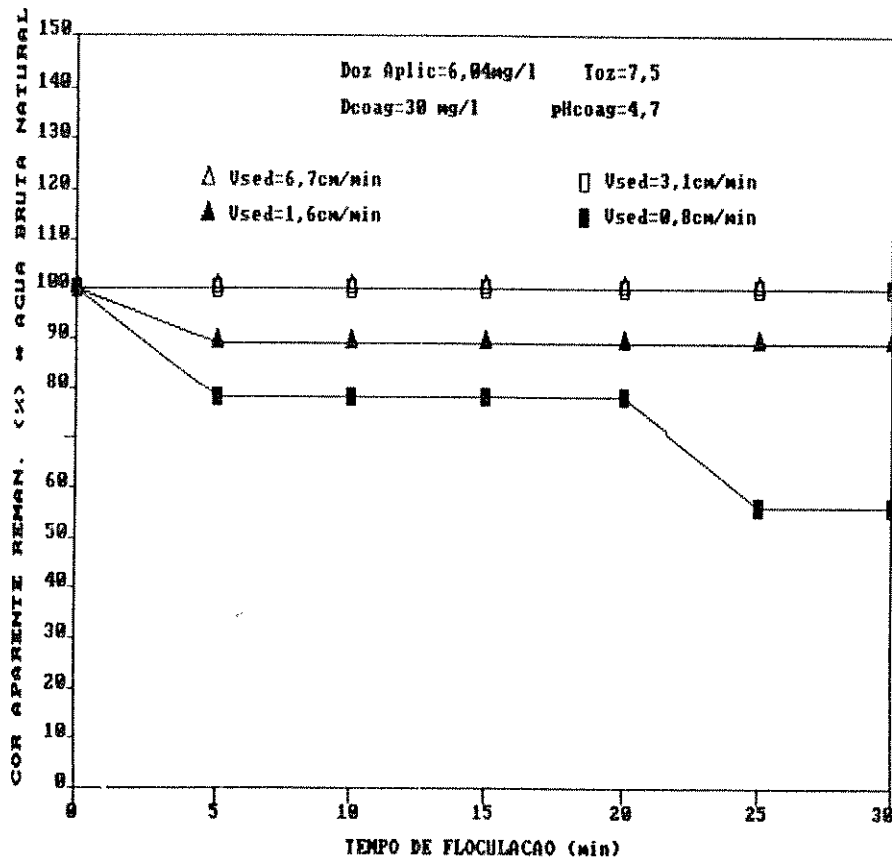


Figura G.21.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

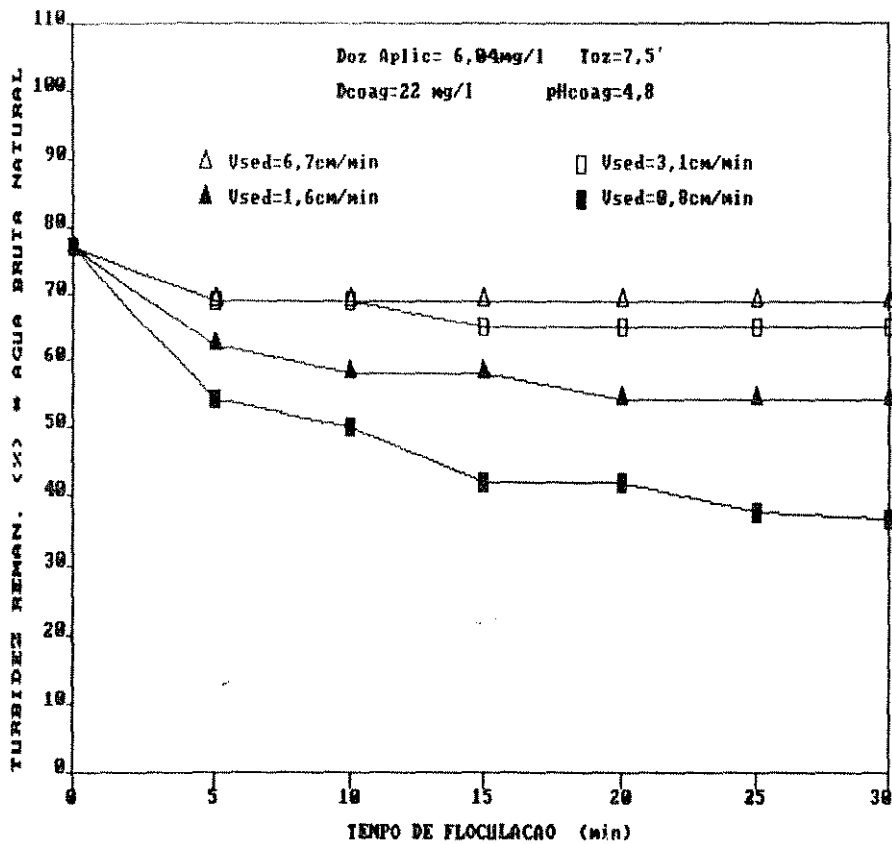


Figura G.22.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

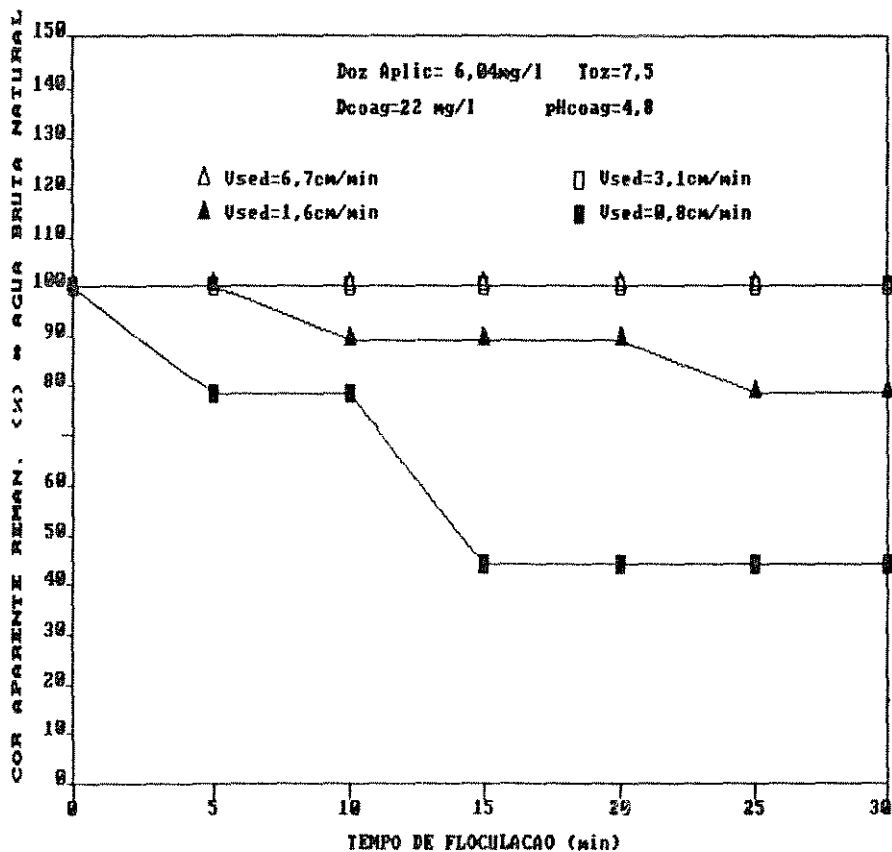


Figura G.22.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

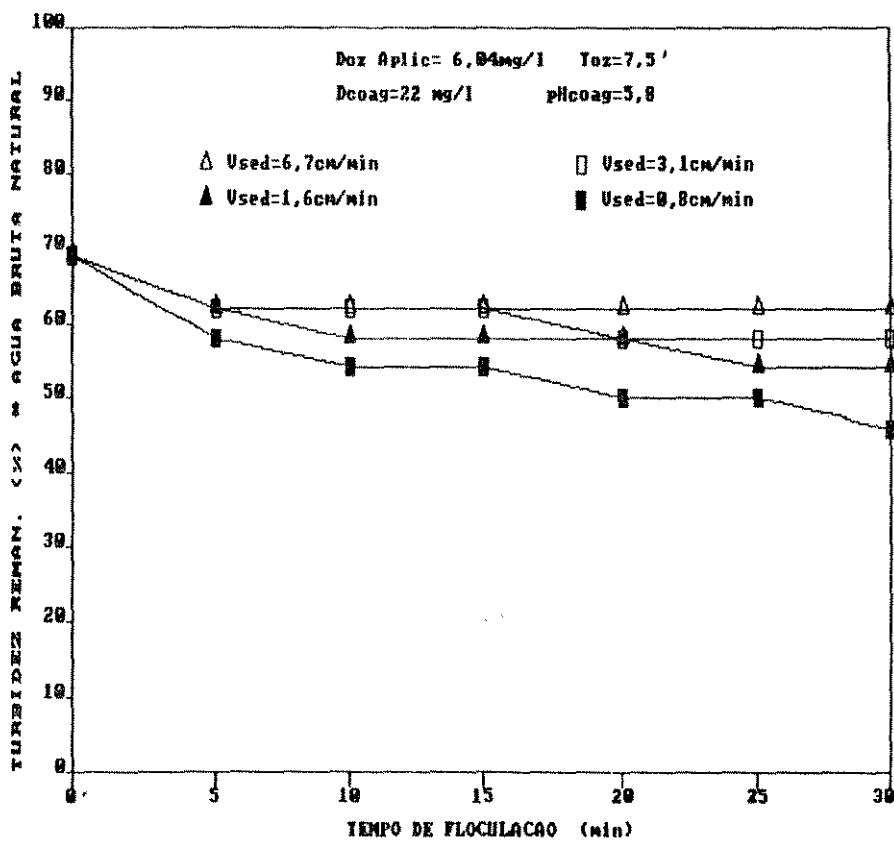


Figura G.23.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

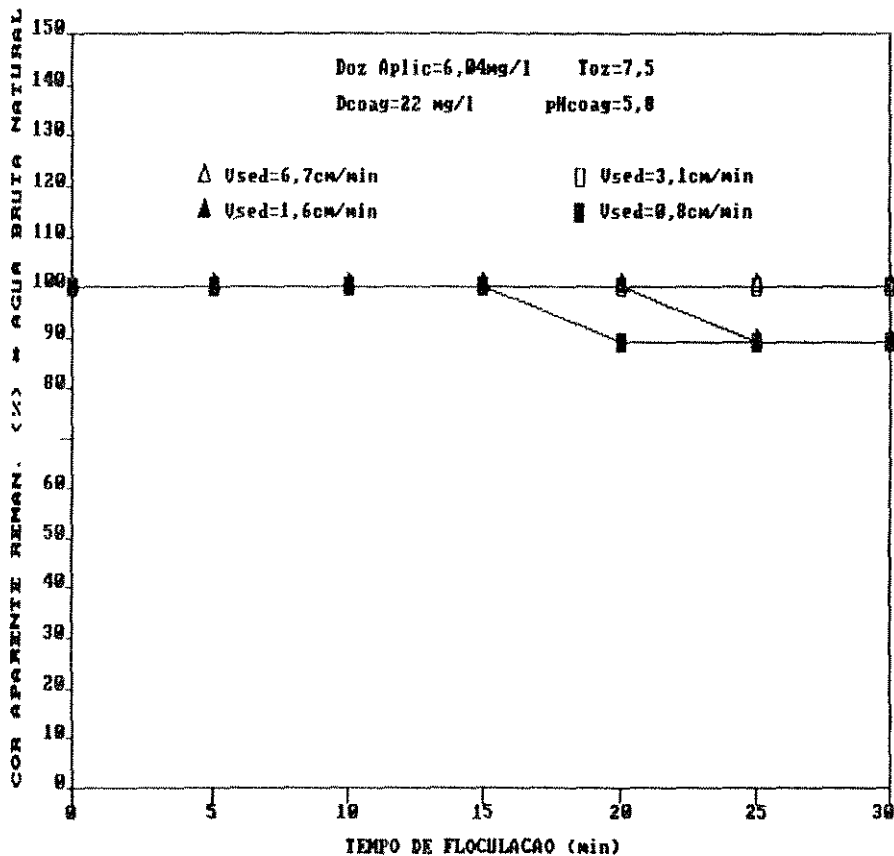


Figura G.23.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

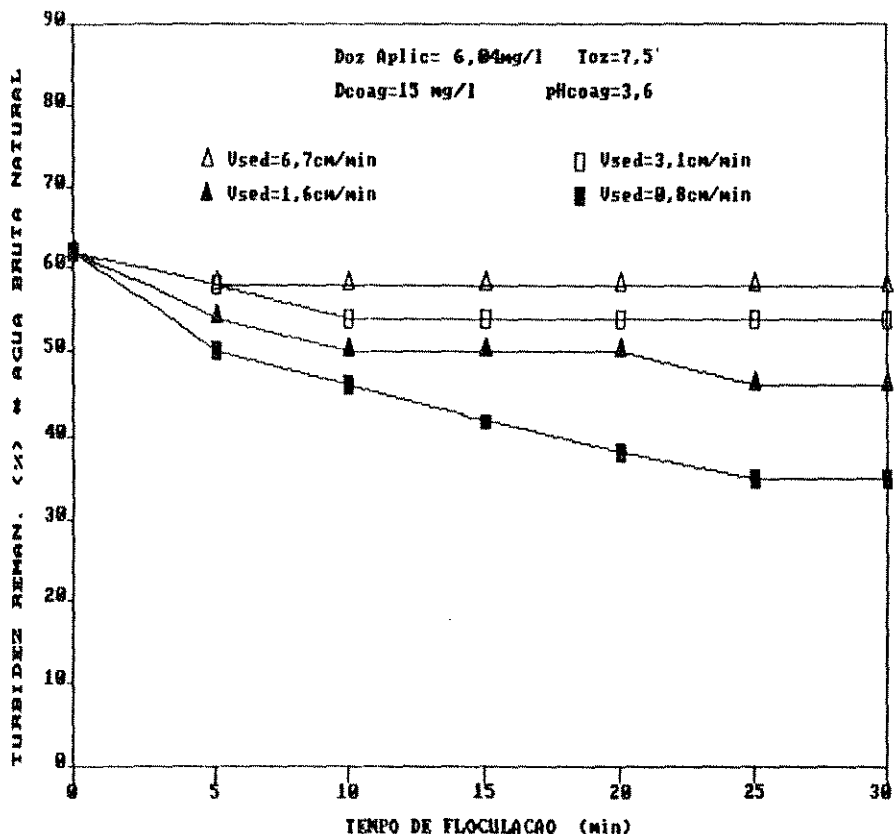


Figura G.24.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

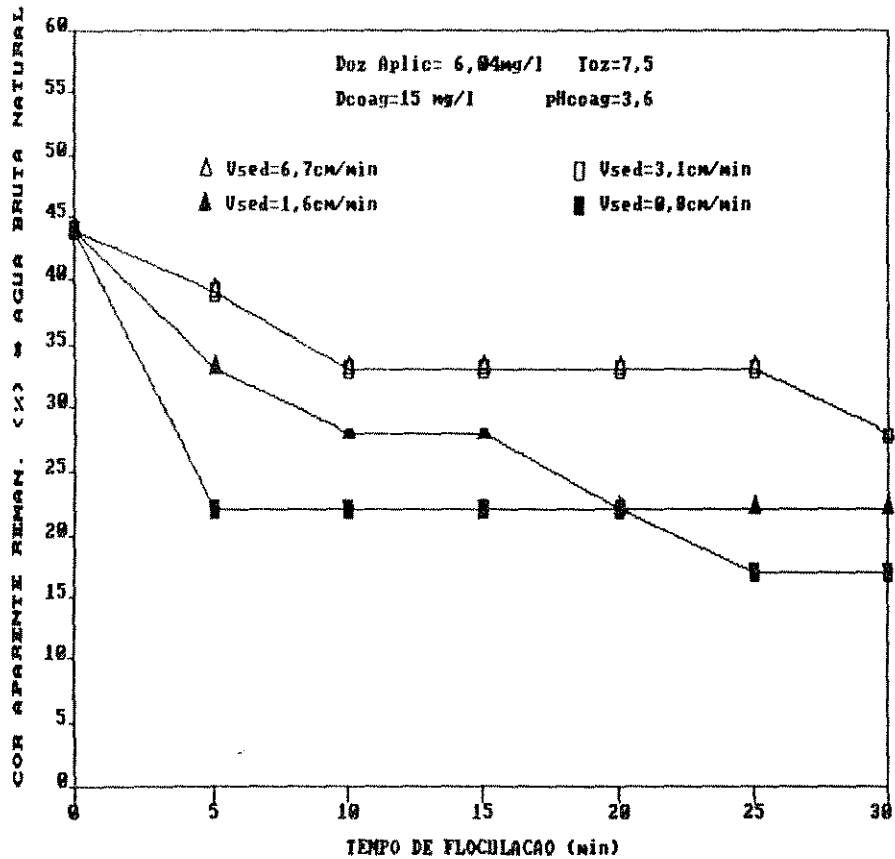


Figura G.24.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

**"Ensaio de Pré - Ozonização:
Condições de Operação do Aparelho Gerador de Ozônio
Ensaio - 4"**

TABELA G.25 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	
Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
211,29	4,52
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO	
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	: 2,0 (Kg/cm ²)
Vazão Máxima de oxigênio no gerador	: 80,0 (%)
Pressão do gás no gerador	: 0,7 (Kg/cm ²)
Vazão média do gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	: 479,8 (l/h)
Voltagem	: 230,0 (V)
PRODUÇÃO DE OZÔNIO	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 2,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 52,9 (ml)
Produção de Ozônio calculada	: 9,55 (g/h)
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA	
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 10,0 (min.)
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	: 7,54 (mg/l)
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	: 19,91 (gO ₃ /10 ₂)
Concentração Média do Residual de Ozônio	: 0,418 (mgO ₃ /l)
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE OFF-GAS	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 10,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 50,53 (ml)
Concentração de Ozônio na coluna de off-gas	: 1,09 (mg/l)

**"Determinação do Residual de Ozônio na Água Através
do Método Colorimétrico à uma Produção Constante
Ensaio - 4"**

TABELA G.26 Concentração do Residual de Ozônio na Água

ENSAIO 4				
Tempo de aplicação de ozônio - 10 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 7,54 mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,188				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,023	0,165	0,437
A-1(*)	90	0,150	0,127	0,336
A-2	90	0,026	0,162	0,431
A-3	90	0,050	0,138	0,365
A-4	90	0,030	0,158	0,418
A-5	90	0,017	0,171	0,453
Concentração Média C _m = 0,419 mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 3,0 cm: Branco - 0,563				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA (célula 3cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,070	0,493	0,435
A-1(*)	90	0,457	0,387	0,341
A-2	90	0,081	0,482	0,425
A-3	90	0,161	0,402	0,354
A-4	90	0,107	0,456	0,402
A-5	90	0,063	0,500	0,441
Concentração Média C _m = 0,409 mg O ₃ /l				

(*) Amostra com glicina (branco)

**"Exames Bacteriológicos
Ensaio - 4"**

TABELA G.27 Resultados de Exames Bacteriológicos

ENSAIO 4	DILUIÇÃO (ml)	T E S T E				E. C. 24h	N. M. P. /100ml
		PRESUNTIVO		CONFIRMATIVO			C. T.
		24h	48h	24h	48h		
ÁGUA BRUTA NATURAL	5×10	+++++	+++++			23.000	
	5×1	+++++	+++++		-----		
	5×10 ⁻¹	+++++	+++++	+++++	+++++		-----
	5×10 ⁻²	+++++	+++++	+++++	+++++		-----
	5×10 ⁻³	-----	-----				
ÁGUA BRUTA OZONIZ.	5×10	+++++	+++++	-----	+++++	-----	
	5×1	+++++	+++++	-----	-----	-----	
	5×10 ⁻¹	-----	-----				
	5×10 ⁻²	-----	-----				
						50	

**"Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
com a Água Bruta Pré - Ozonizada com Tempo de
Aplicação de Ozônio de 10 min. - Ensaio 4"**

TABELA G.28 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90	FIGURA Nº: G.28.1 e G.28.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10'	DOSAGEM : 7,54 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(Cut)	(%)	(mg/l [Pt-Co])	(%)
01	0	—	—	92,0	129	120,0	199
	5	1,0	6,70	24,0	92	120,0	199
		2,0	9,10	17,0	65	90,0	100
		3,5	1,60	8,0	31	40,0	44
		7,0	0,80	4,4	17	15,0	17
02	0	—	—	92,0	129	120,0	199
	10	1,0	6,70	24,0	92	120,0	199
		2,0	9,10	19,0	79	90,0	100
		3,5	1,60	11,0	42	50,0	56
		7,0	0,80	5,5	21	15,0	17
03	0	—	—	92,0	129	120,0	199
	15	1,0	6,70	29,0	85	120,0	199
		2,0	9,10	15,0	58	70,0	78
		3,5	1,60	7,4	28	25,0	28
		7,0	0,80	3,9	15	10,0	11
04	0	—	—	92,0	129	120,0	199
	20	1,0	6,70	29,0	88	120,0	199
		2,0	9,10	17,0	65	80,0	89
		3,5	1,60	11,0	42	50,0	56
		7,0	0,80	5,4	21	15,0	17
05	0	—	—	92,0	129	120,0	199
	25	1,0	6,70	22,0	85	120,0	199
		2,0	9,10	20,0	77	80,0	89
		3,5	1,60	10,0	38	40,0	44
		7,0	0,80	5,2	20	15,0	17
06	0	—	—	92,0	129	120,0	199
	30	1,0	6,70	22,0	85	120,0	199
		2,0	9,10	16,0	62	80,0	89
		3,5	1,60	8,5	33	30,0	33
		7,0	0,80	5,0	19	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor mg/l Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCo3/l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO3/l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	86,24	394,25	90,0
OZON.	7,8	25	25,0	95,0	85,26	398,40	90,0

TABELA G.29 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90	FIGURA Nº: G.29.1 e G.29.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10'	DOSAGEM : 7,54 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	28,0	108	90,0	100
	5	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	11,0	42	40,0	44
		7,0	0,80	7,8	90	90,0	99
02	0	—	—	28,0	108	90,0	100
	10	1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	16,0	62	50,0	56
		3,5	1,60	6,5	25	25,0	28
		7,0	0,80	5,4	21	25,0	28
03	0	—	—	28,0	108	90,0	100
	15	1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	11,0	42	40,0	44
		3,5	1,60	6,4	25	25,0	28
		7,0	0,80	4,2	16	20,0	22
04	0	—	—	28,0	108	90,0	100
	20	1,0	6,70	20,0	77	90,0	100
		2,0	9,10	14,0	54	95,0	99
		3,5	1,60	6,0	29	25,0	28
		7,0	0,80	9,9	15	15,0	17
05	0	—	—	28,0	108	90,0	100
	25	1,0	6,70	19,0	73	90,0	100
		2,0	9,10	14,0	54	95,0	99
		3,5	1,60	6,0	23	25,0	28
		7,0	0,80	4,2	16	15,0	17
06	0	—	—	28,0	108	90,0	100
	30	1,0	6,70	19,0	73	90,0	100
		2,0	9,10	19,0	50	95,0	99
		3,5	1,60	4,5	17	15,0	17
		7,0	0,80	9,8	15	10,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	86,24	994,25	90,0
OZON.	7,8	25	25,0	95,0	85,26	998,40	90,0

TABELA G. 30 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90	FIGURA Nº: G. 30.1 e G. 30.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10'	DOSAGEM : 7,54 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(Cut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	0	—	—	27,0	109	90,0	100
	5	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	21,0	81	90,0	100
		9,5	1,60	16,0	62	70,0	78
		7,0	0,80	14,0	54	60,0	67
02	0	—	—	27,0	109	90,0	100
	10	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	70,0	78
		7,0	0,80	11,0	42	40,0	44
03	0	—	—	27,0	109	90,0	100
	15	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		9,5	1,60	15,0	58	70,0	78
		7,0	0,80	9,5	37	30,0	33
04	0	—	—	27,0	109	90,0	100
	20	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		9,5	1,60	14,0	54	70,0	78
		7,0	0,80	9,5	37	30,0	33
05	0	—	—	27,0	109	90,0	100
	25	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	19,0	73	90,0	100
		9,5	1,60	13,0	50	50,0	56
		7,0	0,80	8,5	33	30,0	33
06	0	—	—	27,0	109	90,0	100
	30	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	18,0	69	70,0	78
		9,5	1,60	13,0	50	50,0	56
		7,0	0,80	8,0	31	30,0	33

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor mg/l Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	86,24	394,25	30,0
OZON.	7,8	25	25,0	35,0	85,26	398,40	30,0

TABELA G. 31 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90	FIGURA Nº: G. 31.1 e G. 31.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10'	DOSAGEM : 7,54 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	25,0	96	70,0	78
	5	1,0	6,70	19,0	79	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	16,0	62	50,0	56
		7,0	0,80	19,0	50	50,0	56
02	0	—	—	25,0	96	70,0	78
	10	1,0	6,70	19,0	79	70,0	78
		2,0	9,10	18,0	69	70,0	78
		9,5	1,60	15,0	58	50,0	56
		7,0	0,80	11,0	42	40,0	44
03	0	—	—	25,0	96	70,0	78
	15	1,0	6,70	18,0	69	70,0	78
		2,0	9,10	18,0	69	70,0	78
		9,5	1,60	19,0	50	40,0	44
		7,0	0,80	10,0	38	35,0	39
04	0	—	—	25,0	96	70,0	78
	20	1,0	6,70	18,0	69	70,0	78
		2,0	9,10	17,0	65	60,0	67
		9,5	1,60	19,0	50	35,0	39
		7,0	0,80	9,9	36	25,0	28
05	0	—	—	25,0	96	70,0	78
	25	1,0	6,70	18,0	69	70,0	78
		2,0	9,10	17,0	65	60,0	67
		9,5	1,60	19,0	50	35,0	39
		7,0	0,80	9,5	37	25,0	28
06	0	—	—	25,0	96	70,0	78
	30	1,0	6,70	18,0	69	70,0	78
		2,0	9,10	17,0	65	50,0	56
		9,5	1,60	19,0	50	35,0	39
		7,0	0,80	9,0	35	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	86,24	994,25	30,0
OZON.	7,8	25	25,0	95,0	85,26	998,40	30,0

TABELA G. 32 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90	FIGURA Nº: G. 32.1 e G. 32.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10'	DOSAGEM : 7,54 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	25,0	96	90,0	100
	5	1,0	6,70	20,0	77	80,0	89
		2,0	9,10	19,0	79	80,0	89
		3,5	1,60	18,0	69	70,0	78
		7,0	0,80	17,0	65	70,0	78
02	0	—	—	25,0	96	90,0	100
	10	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	19,0	79	80,0	89
		3,5	1,60	18,0	69	70,0	78
		7,0	0,80	17,0	65	70,0	78
03	0	—	—	25,0	96	90,0	100
	15	1,0	6,70	18,0	69	80,0	89
		2,0	9,10	18,0	69	80,0	89
		3,5	1,60	17,0	65	70,0	78
		7,0	0,80	16,0	62	70,0	78
04	0	—	—	25,0	96	90,0	100
	20	1,0	6,70	18,0	69	80,0	89
		2,0	9,10	17,0	65	70,0	78
		3,5	1,60	16,0	62	70,0	78
		7,0	0,80	14,0	54	70,0	78
05	0	—	—	25,0	96	90,0	100
	25	1,0	6,70	18,0	69	80,0	89
		2,0	9,10	17,0	65	70,0	78
		3,5	1,60	16,0	62	70,0	78
		7,0	0,80	14,0	54	60,0	67
06	0	—	—	25,0	96	90,0	100
	30	1,0	6,70	17,0	65	80,0	89
		2,0	9,10	16,0	62	70,0	78
		3,5	1,60	15,0	58	60,0	67
		7,0	0,80	13,0	50	50,0	56

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	86,24	994,25	90,0
ÓZON.	7,8	25	25,0	95,0	85,26	998,40	90,0

TABELA G.33 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 4	DATA : 04/09/90	FIGURA Nº: G.33.1 e G.33.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 10'	DOSAGEM : 7,54 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	20,0	77	95,0	99
	5	1,0	6,70	16,0	62	50,0	56
		2,0	3,10	15,0	58	40,0	44
		3,5	1,60	15,0	58	35,0	39
		7,0	0,80	14,0	54	30,0	33
02	0	—	—	20,0	77	95,0	99
	10	1,0	6,70	16,0	62	40,0	44
		2,0	3,10	15,0	58	40,0	44
		3,5	1,60	14,0	54	30,0	33
		7,0	0,80	11,0	42	25,0	28
03	0	—	—	20,0	77	95,0	99
	15	1,0	6,70	16,0	62	40,0	44
		2,0	3,10	15,0	58	35,0	39
		3,5	1,60	13,0	50	30,0	33
		7,0	0,80	10,0	38	20,0	22
04	0	—	—	20,0	77	95,0	99
	20	1,0	6,70	16,0	62	40,0	44
		2,0	3,10	14,0	54	30,0	33
		3,5	1,60	13,0	50	30,0	33
		7,0	0,80	9,0	35	20,0	22
05	0	—	—	20,0	77	95,0	99
	25	1,0	6,70	16,0	62	40,0	44
		2,0	3,10	14,0	54	30,0	33
		3,5	1,60	11,0	42	25,0	28
		7,0	0,80	8,0	31	10,0	11
06	0	—	—	20,0	77	95,0	99
	30	1,0	6,70	15,0	58	35,0	39
		2,0	3,10	13,0	50	30,0	33
		3,5	1,60	11,0	42	25,0	28
		7,0	0,80	7,5	29	10,0	11

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	86,24	394,25	90,0
OZON.	7,8	25	25,0	95,0	85,26	398,40	90,0

"Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação,
Para Diferentes Velocidades de Sedimentação, nas
Condições Especificadas - Ensaio 4"

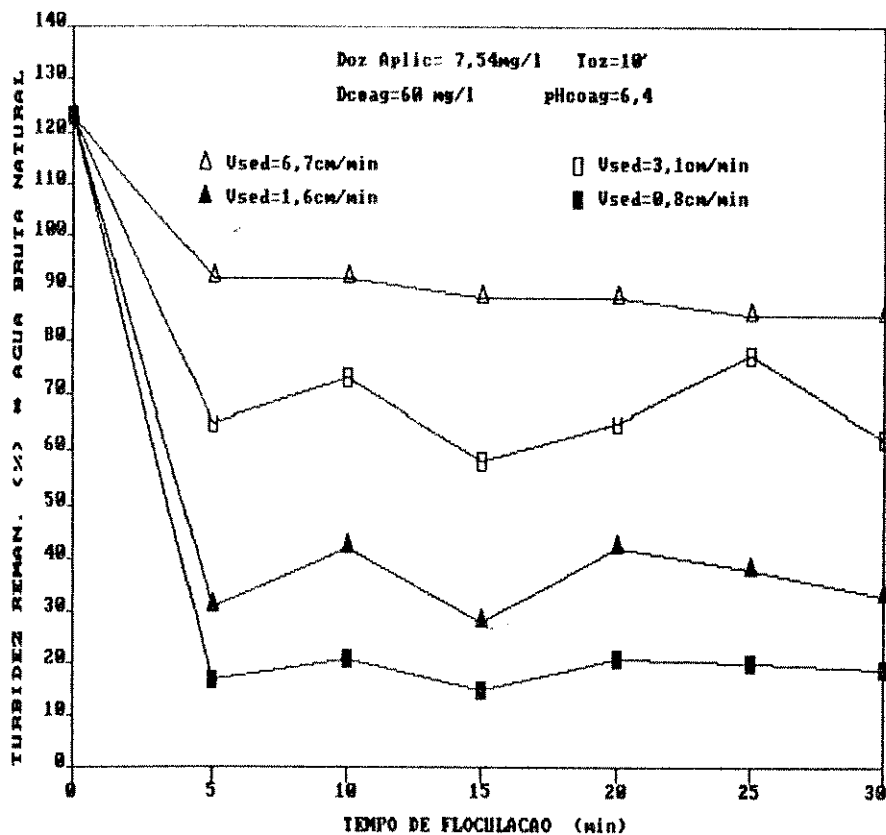


Figura G.28.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

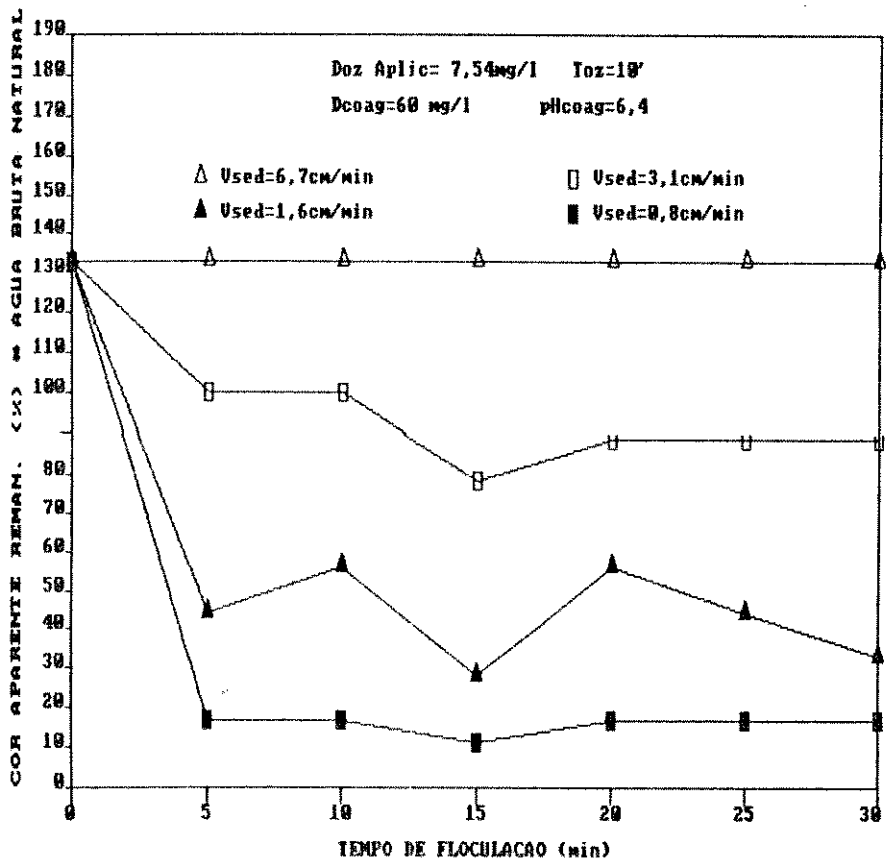


Figura G.28.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

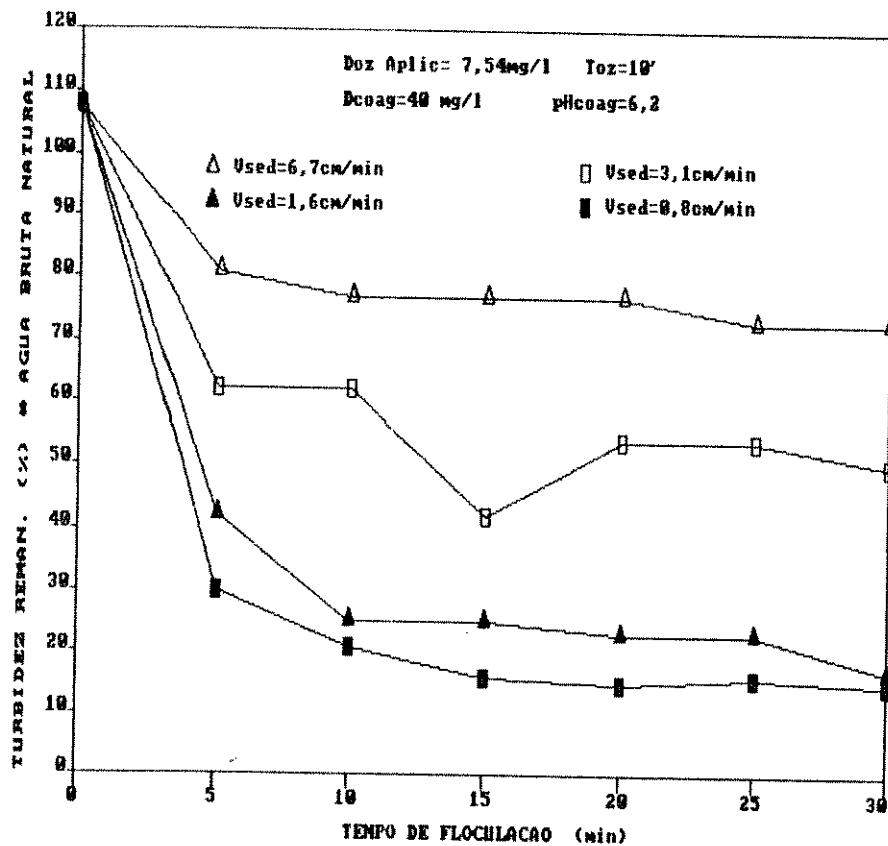


Figura G.29.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

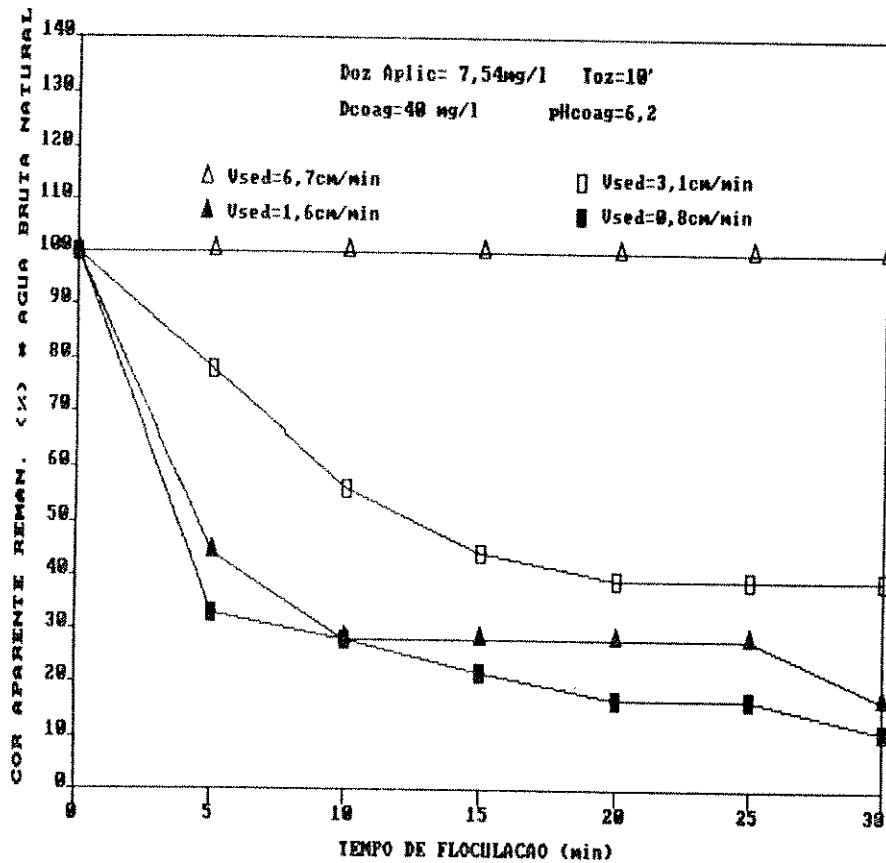


Figura G.29.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

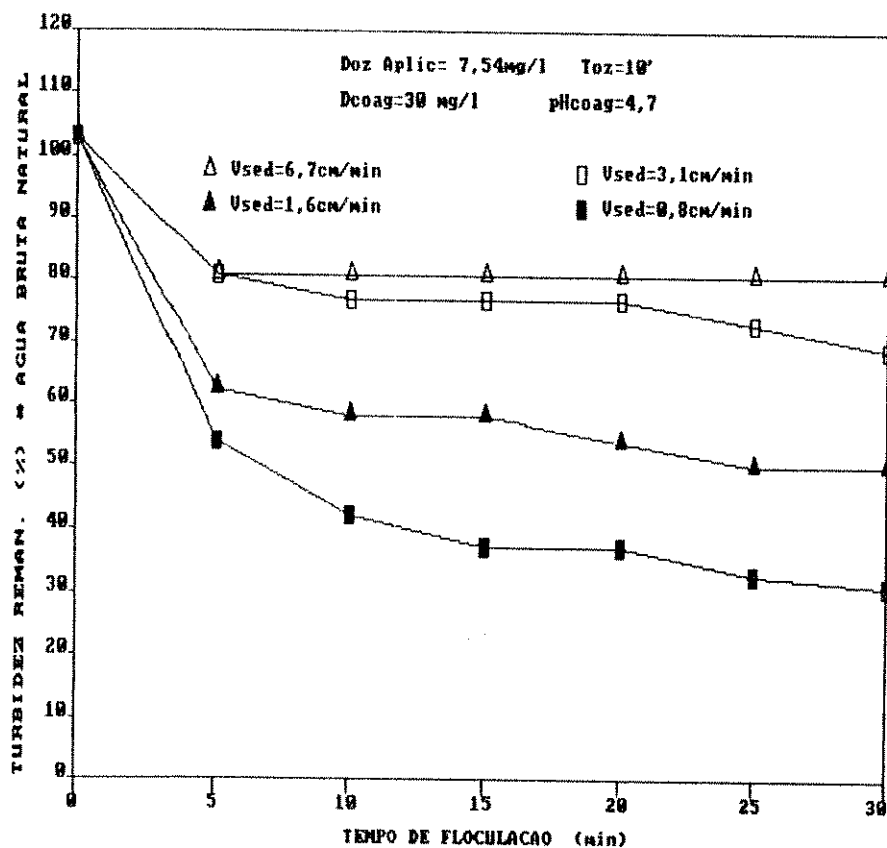


Figura G.30.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

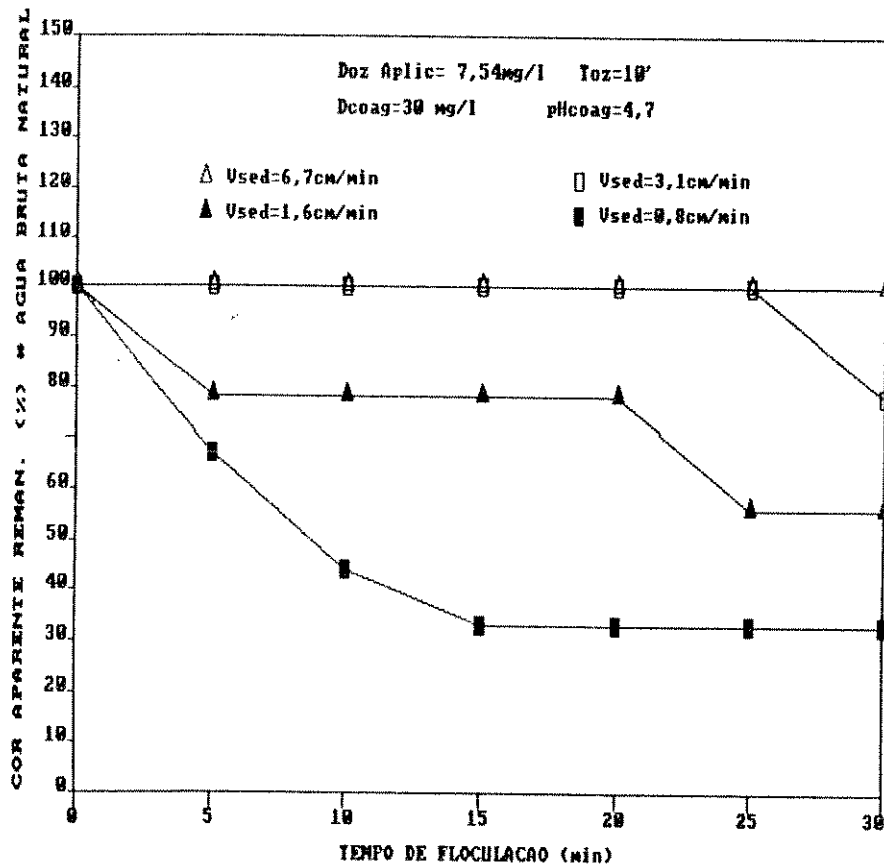


Figura G.30.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

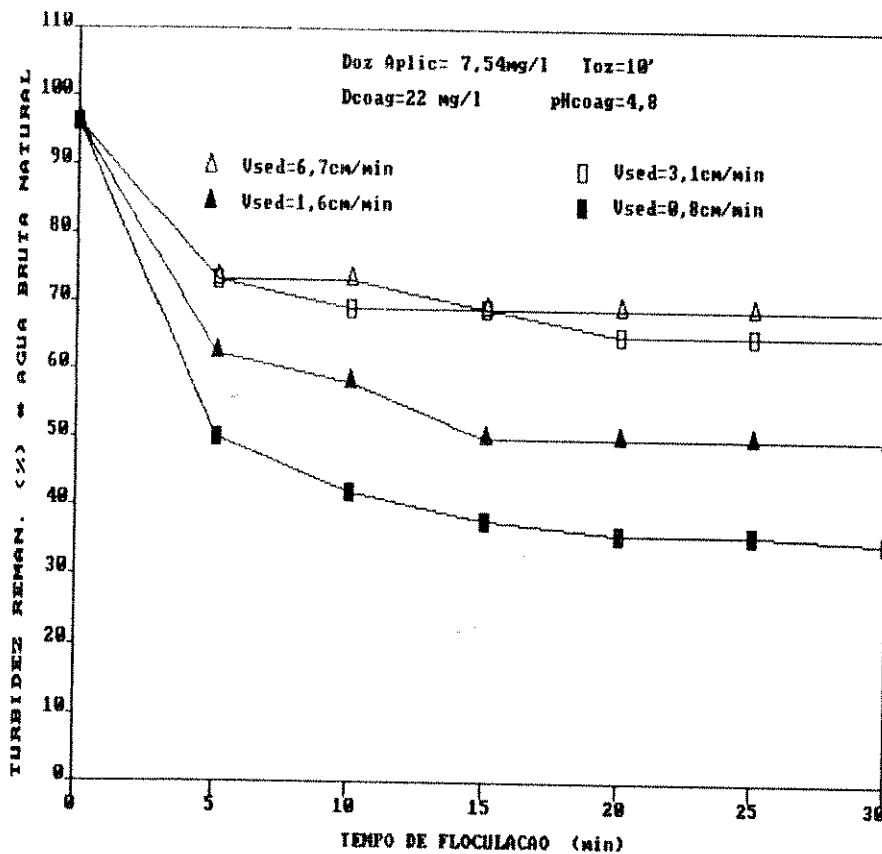


Figura G.31.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

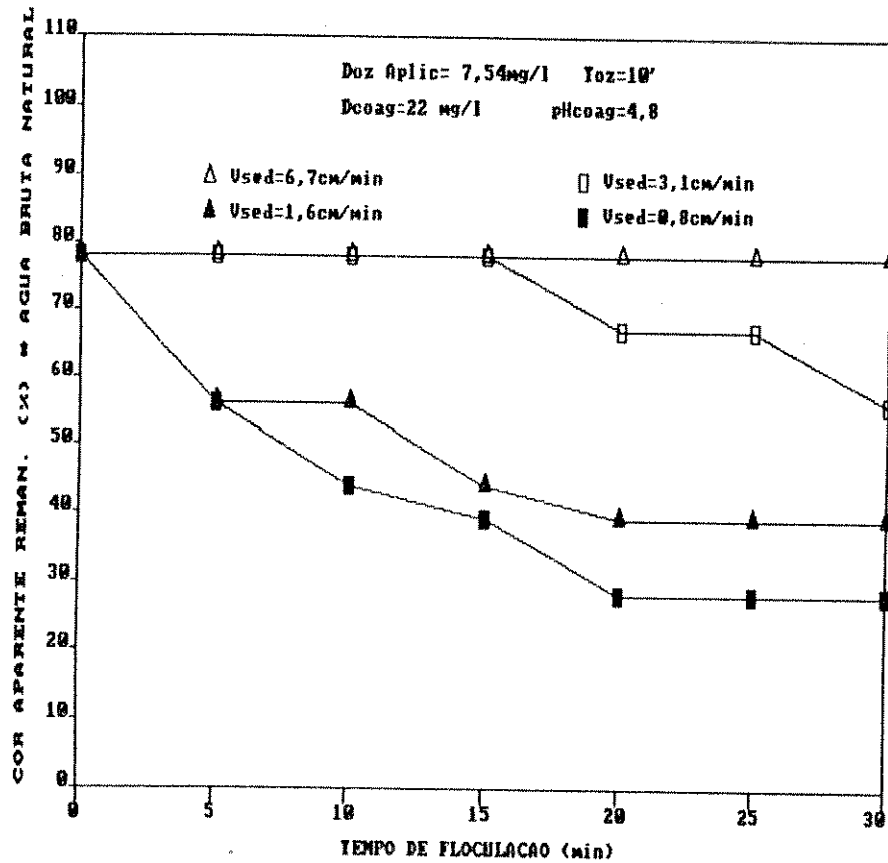


Figura G.31.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

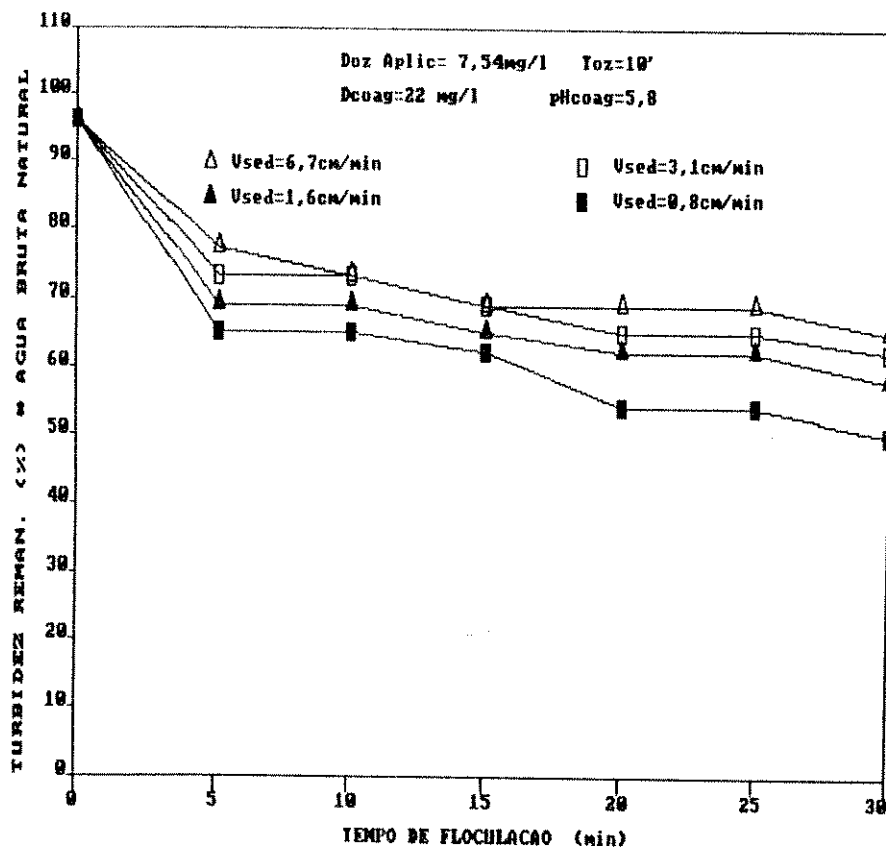


Figura G.32.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

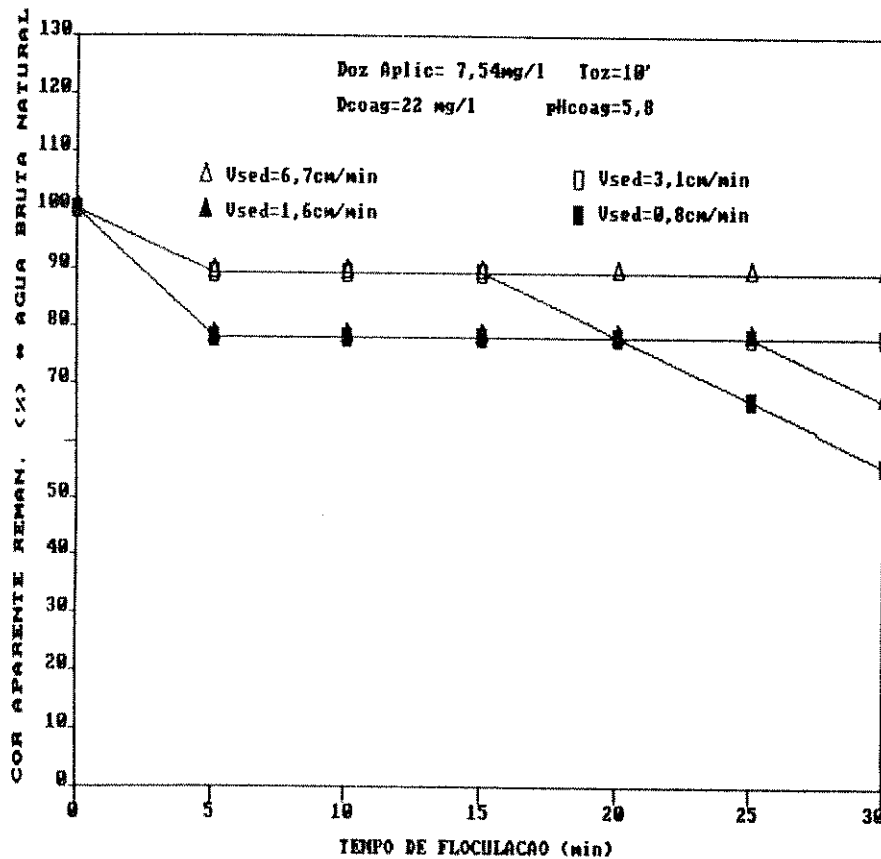


Figura G.32.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

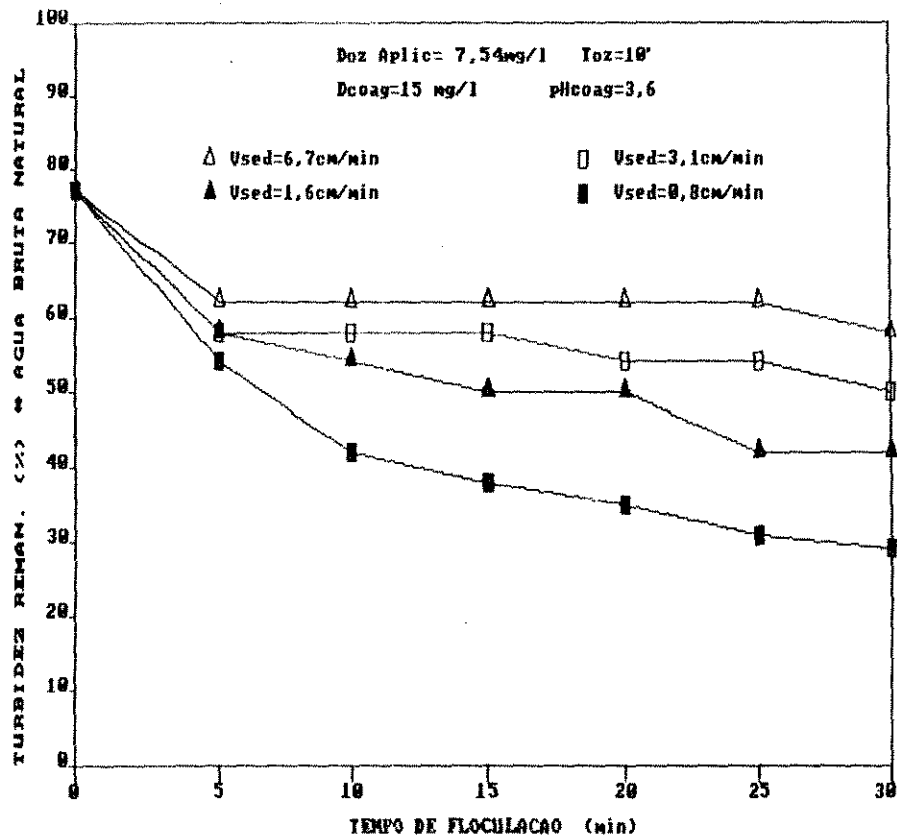


Figura G.33.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

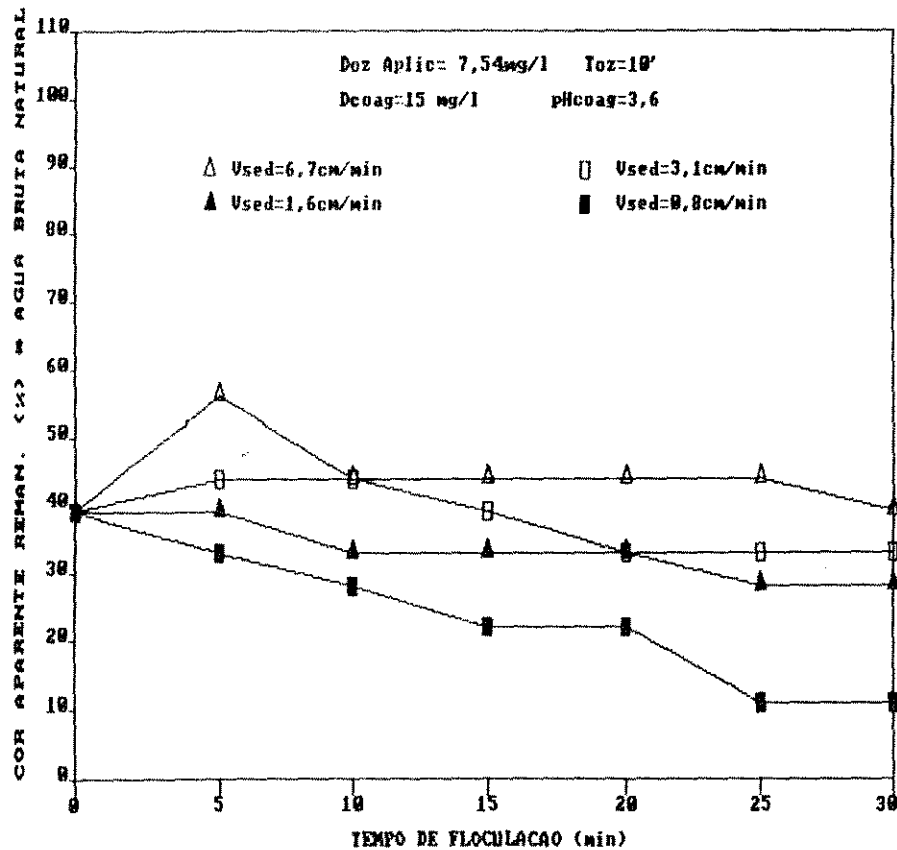


Figura G.33.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

**"Ensaio de Pré - Ozonização:
Condições de Operação do Aparelho Gerador de Ozônio
Ensaio - 5"**

TABELA G.34 Ensaio de Pré-Ozonização

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90
P R É - O Z O N I Z A Ç Ã O	
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DA CÂMARA	
BATELADA (BATCH)	
Volume (l)	Altura Coluna de Água (m)
211,29	4,52
CONDIÇÕES DE OPERAÇÃO DO GERADOR DE OZÔNIO	
Pressão de Oxigênio na saída do cilindro	: 2,0 (Kg/cm ²)
Vazão Máxima de oxigênio no gerador	: 80,0 (%)
Pressão do gás no gerador	: 0,7 (Kg/cm ²)
Vazão média do gás oxigênio (gráfico de Wallace e Tiernan CNTP)	: 479,8 (l/h)
Voltagem	: 230,0 (V)
PRODUÇÃO DE OZÔNIO	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 2,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 50,38 (ml)
Produção de Ozônio calculada	: 9,15 (g/h)
APLICAÇÃO DE OZÔNIO NA CÂMARA	
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 15,0 (min.)
Dosagem de Ozônio aplicada na câmara	: 10,83 (mg/l)
Conc. Ozônio F (gráfico Wallace e Tiernan)	: 19,07 (gO ₃ /10z)
Concentração Média do Residual de Ozônio	: 0,427 (mgO ₃ /10z)
RESIDUAL DE OZÔNIO NA COLUNA DE OFF-GAS	
Volume Solução Iodeto de Potássio - 2%	: 2,0 (l)
Tempo de Aplicação de Ozônio	: 15,0 (min.)
Volume de tiosulfato gasto na titulação	: 105,02 (ml)
Concentração de Ozônio na coluna de off-gas	: 2,28 (mg/l)

**"Determinação do Residual de Ozônio na Água Através
do Método Colorimétrico à uma Produção Constante
Ensaio - 5"**

TABELA G. 35 Concentração do Residual de Ozônio na Água

ENSAIO 5				
Tempo de aplicação de ozônio - 15 min.				
Dosagem de ozônio Aplicada - 10,83 mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 1,0 cm: Branco - 0,191				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA A (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,025	0,166	0,439
A-1(*)	90	0,153	0,128	0,339
A-2	90	0,028	0,163	0,431
A-3	90	0,031	0,160	0,423
A-4	90	0,031	0,160	0,423
A-5	90	0,030	0,161	0,426
Concentração Média C _m = 0,427 mg O ₃ /l				
Leitura da Absorvância com célula de 3,0 cm: Branco - 0,572				
AMOSTRA	VOL. ml	ABSORVÂNCIA A (célula 1cm)	Δ ABSORÇÃO	RESIDUAL mg O ₃ /l
A-1	90	0,074	0,498	0,439
A-1(*)	90	0,464	0,390	0,344
A-2	90	0,083	0,489	0,431
A-3	90	0,093	0,479	0,422
A-4	90	0,093	0,479	0,422
A-5	90	0,089	0,483	0,426
Concentração Média C _m = 0,427 mg O ₃ /l				

(*) Amostra com glicina

**"Exames Bacteriológicos
Ensaio - 5"**

TABELA G. 36 Resultados de Análises Bacteriológicas

ENSAIO 5	DILUIÇÃO (ml)	T E S T E				E. C. 24h	N. M. P. /100ml
		PRESUNTIVO		CONFIRMATIVO			C. T.
		24h	48h	24h	48h		
ÁGUA BRUTA NATURAL	5×10	+++++	+++++				80.000
	5×1	+++++	+++++				
	5×10 ⁻¹	+++++	+++++			-----	
	5×10 ⁻²	+++++	+++++	+++++	+++++	-----	
	5×10 ⁻³	+++++	+++++	-----	-----	-----	
ÁGUA BRUTA OZONIZ.	5×10	-----	+++++	-----	-----	-----	2
	5×1	-----	+++++	-----	-----	-----	
	5×10 ⁻¹	-----	-----				
	5×10 ⁻²	-----	-----				

**"Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
com a Água Bruta Pré - Ozonizada com Tempo de
Aplicação de Ozônio de 15 min. - Ensaio 5 "**

TABELA G. 37 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90	FIGURA Nº: G. 37.1 e G. 37.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 15'	DOSAGEM : 10,83 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)
01	0	—	—	26,0	100	100,0	111
	5	1,0	6,70	24,0	92	100,0	111
		2,0	9,10	19,0	73	90,0	100
		9,5	1,60	6,0	23	25,0	28
		7,0	0,80	5,5	21	25,0	28
02	0	—	—	26,0	100	100,0	111
	10	1,0	6,70	23,0	88	100,0	111
		2,0	9,10	15,0	58	50,0	56
		9,5	1,60	6,0	23	25,0	28
		7,0	0,80	5,0	19	20,0	22
03	0	—	—	26,0	100	100,0	111
	15	1,0	6,70	23,0	88	100,0	111
		2,0	9,10	15,0	58	50,0	56
		9,5	1,60	6,0	23	25,0	28
		7,0	0,80	5,0	19	20,0	22
04	0	—	—	26,0	100	100,0	111
	20	1,0	6,70	22,0	85	100,0	111
		2,0	9,10	14,0	54	50,0	56
		9,5	1,60	5,5	21	25,0	28
		7,0	0,80	4,5	17	15,0	17
05	0	—	—	26,0	100	100,0	111
	25	1,0	6,70	22,0	85	90,0	100
		2,0	9,10	14,0	54	50,0	56
		9,5	1,60	5,5	21	25,0	28
		7,0	0,80	4,3	17	10,0	11
06	0	—	—	26,0	100	100,0	111
	30	1,0	6,70	22,0	85	90,0	100
		2,0	9,10	14,0	54	50,0	56
		9,5	1,60	5,5	21	25,0	28
		7,0	0,80	3,5	19	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co] (mg/l)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	90,16	400,0	99,0
OZON.	7,8	25	22,0	35,0	86,79	402,55	99,0

TABELA G. 38 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90	FIGURA Nº: G. 38.1 e G. 38.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 15'	DOSAGEM : 10,83 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(cut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
01	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	5	1,0	6,70	22,0	85	90,0	100
		2,0	9,10	20,0	77	90,0	100
		9,5	1,60	17,0	65	80,0	89
		7,0	0,80	16,0	62	70,0	78
02	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	10	1,0	6,70	21,0	81	90,0	100
		2,0	9,10	17,0	65	80,0	89
		9,5	1,60	19,0	50	70,0	78
		7,0	0,80	11,0	42	60,0	67
03	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	15	1,0	6,70	20,0	77	80,0	89
		2,0	9,10	16,0	62	80,0	89
		9,5	1,60	19,0	50	60,0	67
		7,0	0,80	10,0	38	50,0	56
04	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	20	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	14,0	54	70,0	78
		9,5	1,60	12,0	46	60,0	67
		7,0	0,80	7,0	27	40,0	44
05	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	25	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	14,0	54	70,0	78
		9,5	1,60	11,0	42	60,0	67
		7,0	0,80	7,0	27	40,0	44
06	0	—	—	24,0	92	90,0	100
	30	1,0	6,70	19,0	79	80,0	89
		2,0	9,10	12,0	46	50,0	56
		9,5	1,60	6,5	25	30,0	33
		7,0	0,80	5,5	21	30,0	33

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Ap. mg/l (Pt-Co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	90,16	400,0	99,0
OZON.	7,8	25	22,0	95,0	86,79	402,55	99,0

TABELA G. 39 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90	FIGURA Nº: G. 39.1 e G. 39.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 15'	DOSAGEM : 10,83 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(cut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
01	0	—	—	20,0	77	70,0	78
	5	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	16,0	62	40,0	44
		7,0	0,80	13,0	50	30,0	33
02	0	—	—	20,0	77	70,0	78
	10	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	15,0	58	40,0	44
		7,0	0,80	12,0	46	30,0	33
03	0	—	—	20,0	77	70,0	78
	15	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	15,0	58	40,0	44
		7,0	0,80	11,0	42	25,0	28
04	0	—	—	20,0	77	70,0	78
	20	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	15,0	58	40,0	44
		7,0	0,80	10,0	38	20,0	22
05	0	—	—	20,0	77	70,0	78
	25	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	15,0	58	40,0	44
		7,0	0,80	9,8	38	20,0	22
06	0	—	—	20,0	77	70,0	78
	30	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
		2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
		9,5	1,60	15,0	58	40,0	44
		7,0	0,80	9,5	37	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (cut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	90,16	400,0	99,0
OZON.	7,8	25	22,0	95,0	86,79	402,55	99,0

TABELA G. 40 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90	FIGURA Nº: G. 40.1 e G. 40.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 15'	DOSAGEM : 10,83 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE		
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE (ut)	(%)	REMANESCENTE (mg/l [Pt-Co])	(%)	
01	0	---	---	20,0	77	70,0	78	
		5	1,0	6,70	20,0	77	50,0	56
			2,0	9,10	19,0	79	50,0	56
			9,5	1,60	14,0	54	40,0	44
			7,0	0,80	19,0	50	40,0	44
02	0	---	---	20,0	77	70,0	78	
		10	1,0	6,70	20,0	77	50,0	56
			2,0	9,10	19,0	79	50,0	56
			9,5	1,60	14,0	54	40,0	44
			7,0	0,80	10,0	98	95,0	99
03	0	---	---	20,0	77	70,0	78	
		15	1,0	6,70	20,0	77	50,0	56
			2,0	9,10	19,0	79	50,0	56
			9,5	1,60	19,0	50	95,0	99
			7,0	0,80	9,0	95	25,0	28
04	0	---	---	20,0	77	70,0	78	
		20	1,0	6,70	20,0	77	50,0	56
			2,0	9,10	19,0	79	50,0	56
			9,5	1,60	19,0	50	95,0	99
			7,0	0,80	8,5	99	25,0	28
05	0	---	---	20,0	77	70,0	78	
		25	1,0	6,70	19,0	79	50,0	56
			2,0	9,10	17,0	65	40,0	44
			9,5	1,60	19,0	50	95,0	99
			7,0	0,80	8,9	92	25,0	28
06	0	---	---	20,0	77	70,0	78	
		30	1,0	6,70	19,0	79	50,0	56
			2,0	9,10	17,0	65	40,0	44
			9,5	1,60	12,0	46	95,0	99
			7,0	0,80	7,8	90	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	90,16	400,0	99,0
ÓZON.	7,8	25	22,0	95,0	86,79	402,55	99,0

TABELA G. 41 Ensaio de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90	FIGURA Nº: G.41.1 e G.41.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 15'	DOSAGEM : 10,83 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE		
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)	
01	0	—	—	19,0	79	80,0	89	
		5	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
			2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
			3,5	1,60	19,0	79	70,0	78
			7,0	0,80	18,0	69	70,0	78
02	0	—	—	19,0	79	80,0	89	
		10	1,0	6,70	20,0	77	70,0	78
			2,0	9,10	19,0	79	70,0	78
			3,5	1,60	19,0	79	70,0	78
			7,0	0,80	18,0	69	70,0	78
03	0	—	—	19,0	79	80,0	89	
		15	1,0	6,70	19,0	79	70,0	78
			2,0	9,10	18,0	69	70,0	78
			3,5	1,60	17,0	65	60,0	67
			7,0	0,80	17,0	65	60,0	67
04	0	—	—	19,0	79	80,0	89	
		20	1,0	6,70	19,0	79	70,0	78
			2,0	9,10	18,0	69	70,0	78
			3,5	1,60	16,0	62	60,0	67
			7,0	0,80	16,0	62	60,0	67
05	0	—	—	19,0	79	80,0	89	
		25	1,0	6,70	18,0	69	70,0	78
			2,0	9,10	17,0	65	60,0	67
			3,5	1,60	16,0	62	60,0	67
			7,0	0,80	15,0	58	60,0	67
06	0	—	—	19,0	79	80,0	89	
		30	1,0	6,70	18,0	69	70,0	78
			2,0	9,10	16,0	62	60,0	67
			3,5	1,60	16,0	62	60,0	67
			7,0	0,80	15,0	58	60,0	67

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. mg/l [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	90,16	400,0	98,0
OZON.	7,8	25	22,0	95,0	86,79	402,55	99,0

TABELA G. 42 Ensaios de Coagulação, Floculação e Sedimentação
Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente

ENSAIO Nº : 5	DATA : 18/09/90	FIGURA Nº: G. 42.1 e G. 42.2
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : 15'	DOSAGEM : 10,83 mg/l
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	VELOCIDADE : VARIÁVEL

FRASCO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE (ut)	(%)	REMANESCENTE (mg/l [Pt-Co])	(%)
01	0	---	---	15,0	58	95,0	99
	5	1,0	6,70	15,0	58	25,0	28
		2,0	9,10	14,0	54	25,0	28
		9,5	1,60	14,0	54	20,0	22
		7,0	0,80	19,0	50	20,0	22
02	0	---	---	15,0	58	95,0	99
	10	1,0	6,70	15,0	58	25,0	28
		2,0	9,10	14,0	54	25,0	28
		9,5	1,60	14,0	54	20,0	22
		7,0	0,80	12,0	46	20,0	22
03	0	---	---	15,0	58	95,0	99
	15	1,0	6,70	14,0	54	25,0	28
		2,0	9,10	19,0	50	25,0	28
		9,5	1,60	19,0	50	20,0	22
		7,0	0,80	11,0	42	20,0	22
04	0	---	---	15,0	58	95,0	99
	20	1,0	6,70	14,0	54	25,0	28
		2,0	9,10	19,0	50	25,0	28
		9,5	1,60	12,0	46	20,0	22
		7,0	0,80	10,0	38	20,0	22
05	0	---	---	15,0	58	95,0	99
	25	1,0	6,70	14,0	54	25,0	28
		2,0	9,10	19,0	50	25,0	28
		9,5	1,60	12,0	46	20,0	22
		7,0	0,80	10,0	38	20,0	22
06	0	---	---	15,0	58	95,0	99
	30	1,0	6,70	14,0	54	25,0	28
		2,0	9,10	19,0	50	25,0	28
		9,5	1,60	12,0	46	20,0	22
		7,0	0,80	8,5	39	15,0	17

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R Í S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (mg/l [Pt-Co])	Alcalin. (mgCaCO3/l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO3/l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	90,16	400,0	99,0
ÓZON.	7,8	25	22,0	95,0	86,79	402,55	99,0

"Porcentagem Remanescente de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação,
Para Diferentes Velocidades de Sedimentação, nas
Condições Especificadas - Ensaio 5"

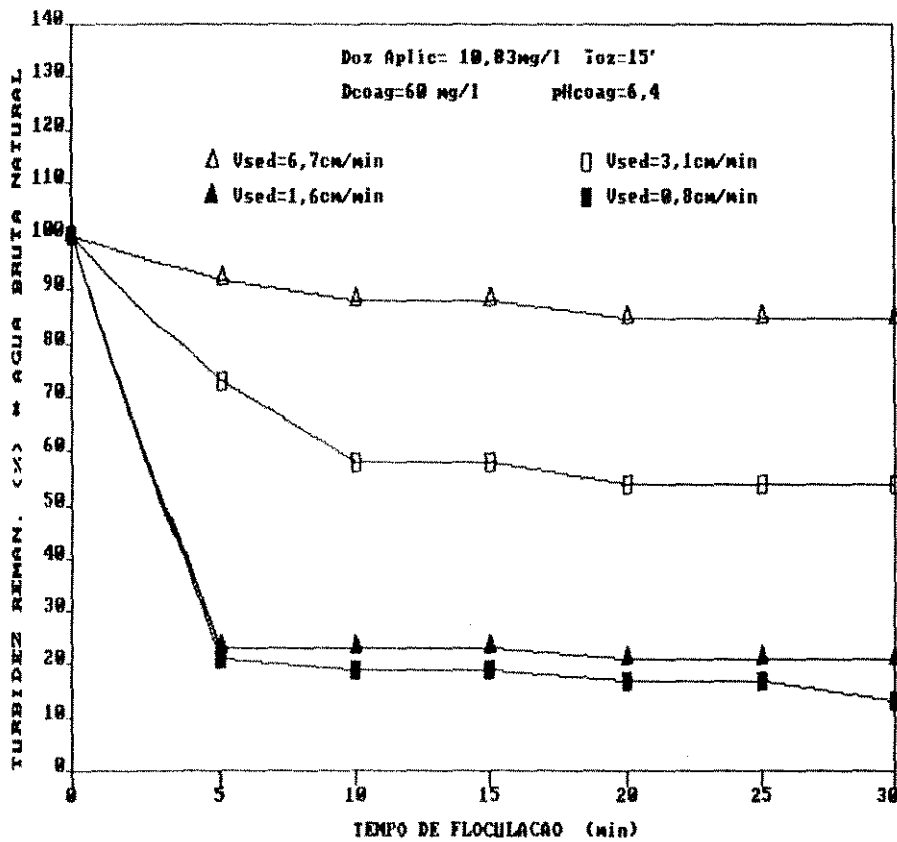


Figura G.37.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

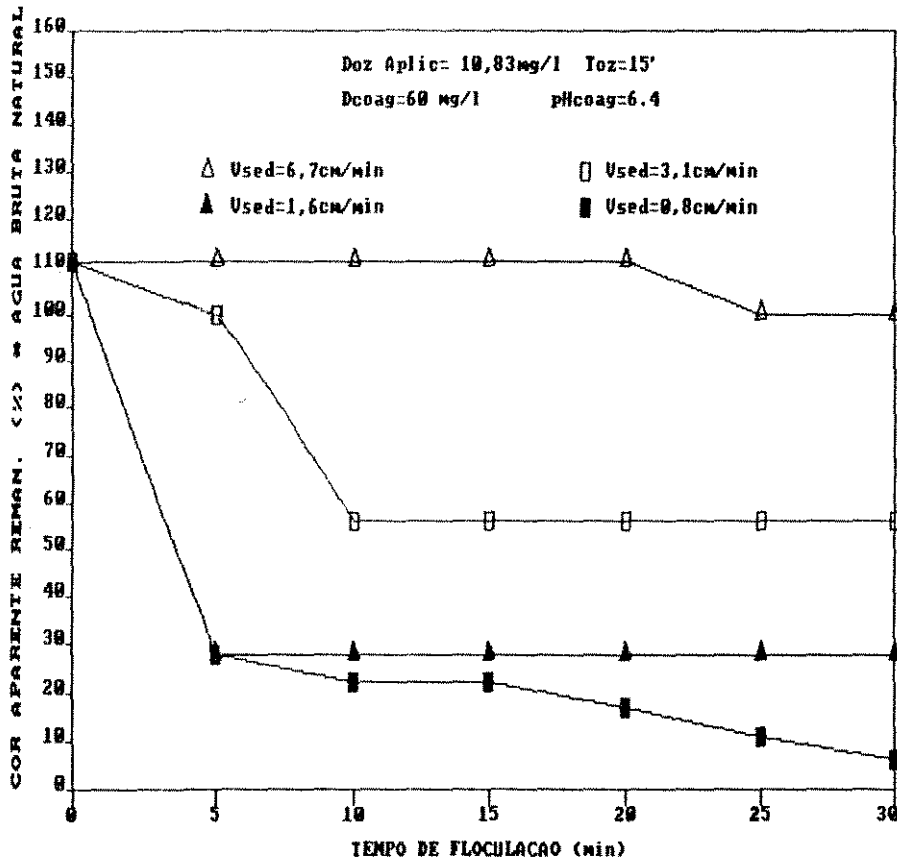


Figura G.37.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

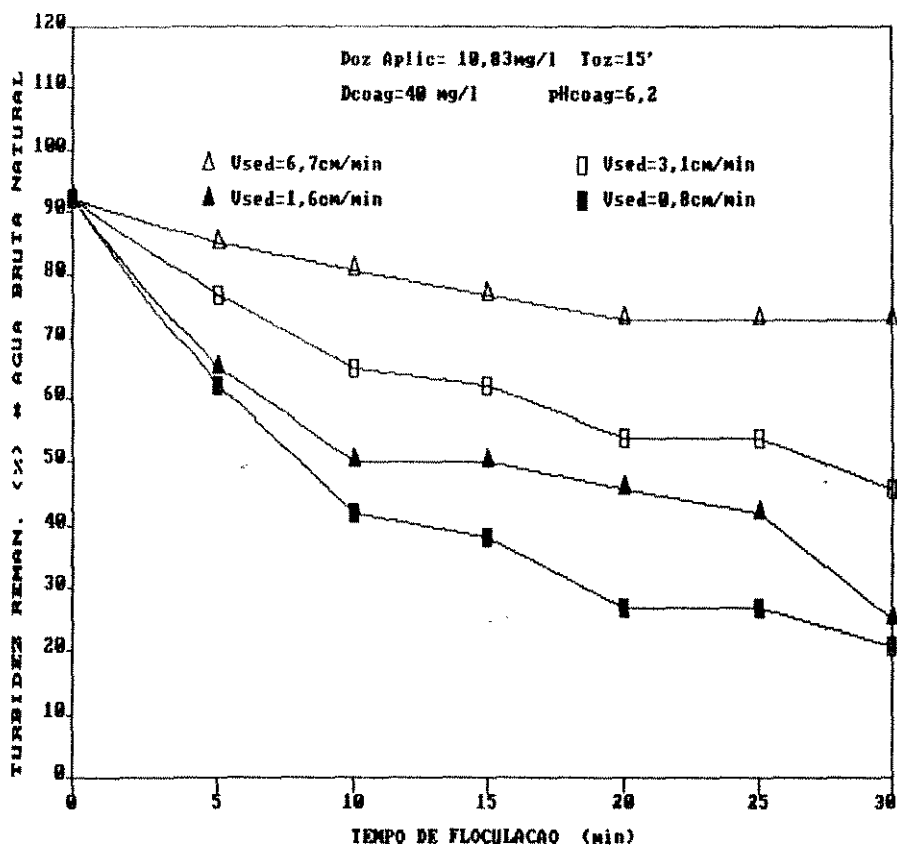


Figura G.38.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

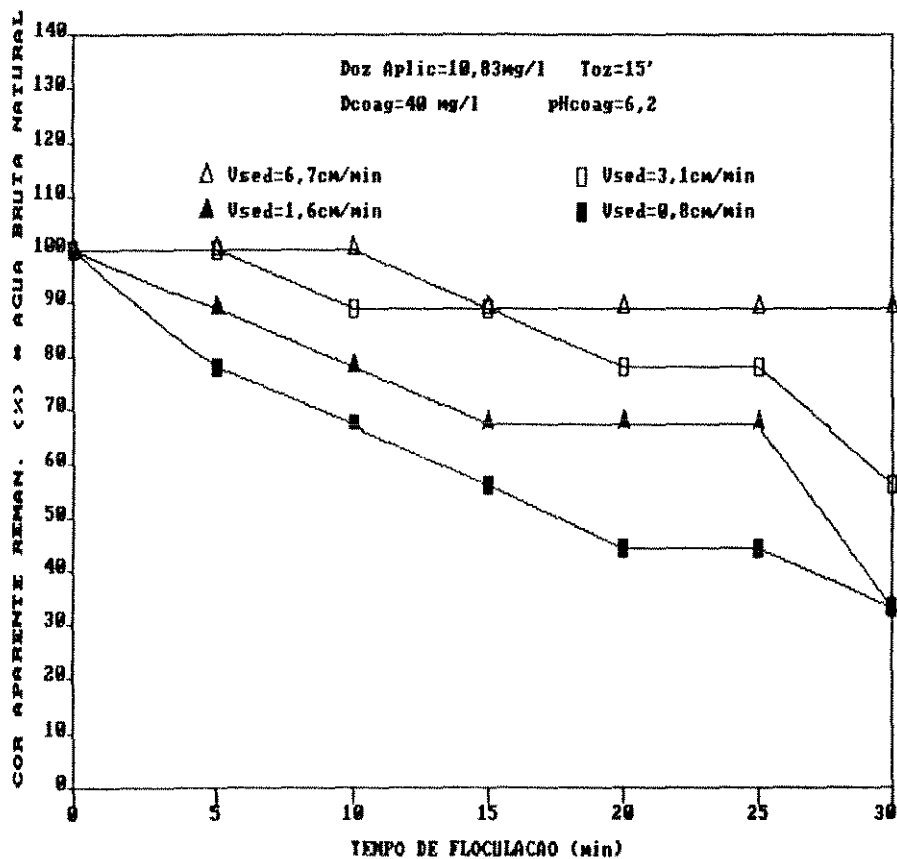


Figura G.38.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

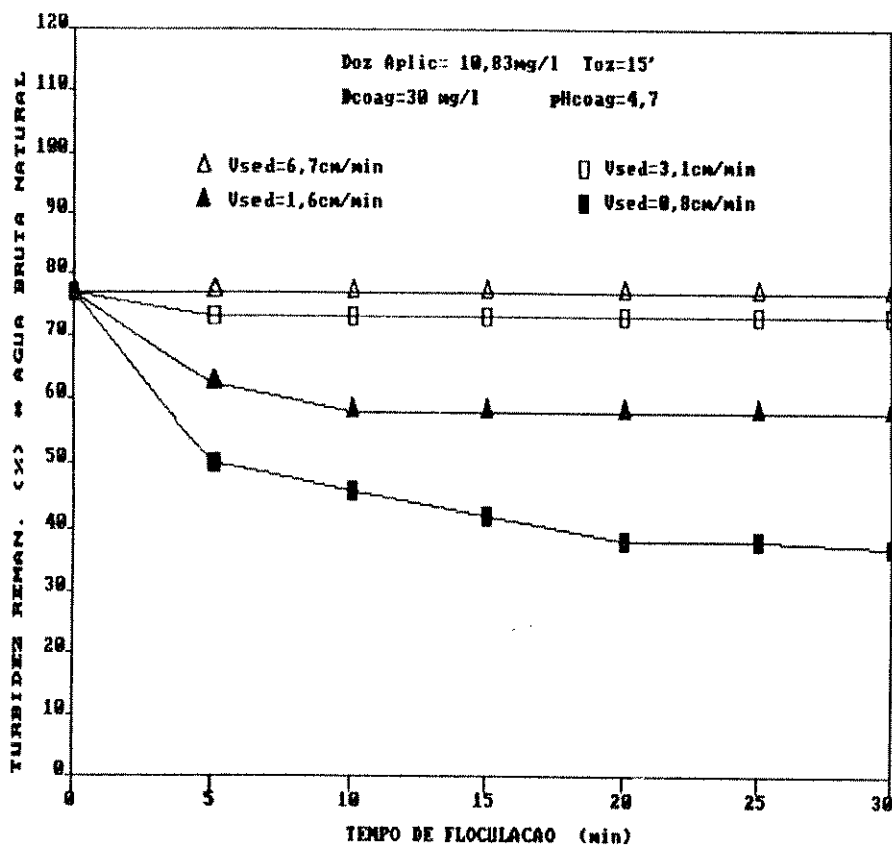


Figura G.39.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

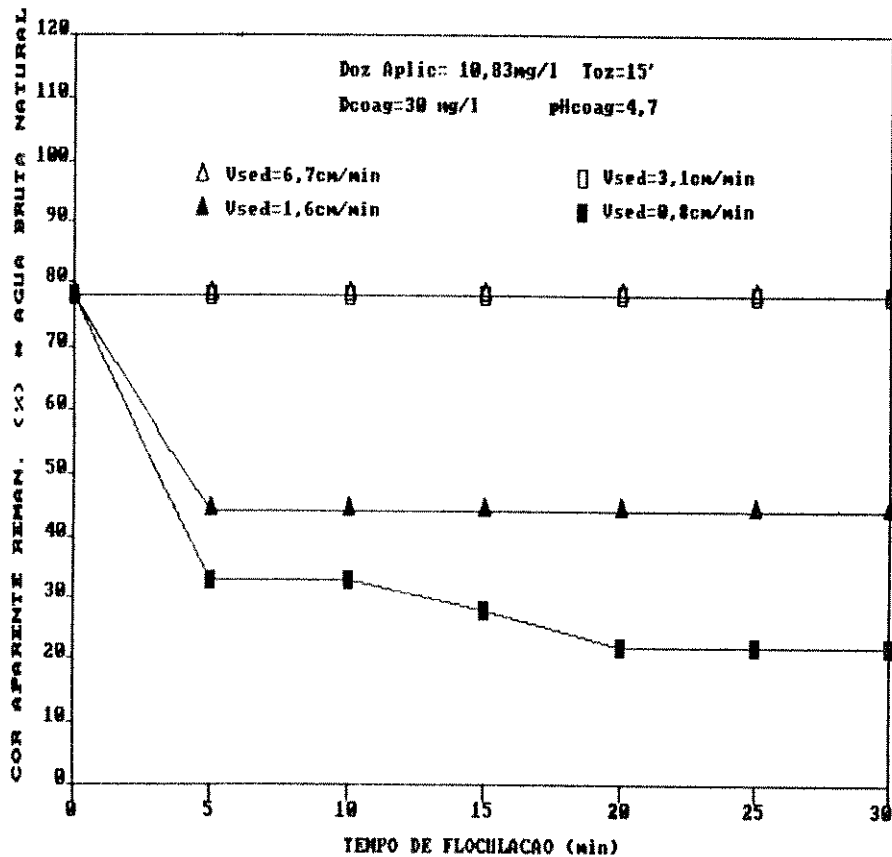


Figura G.39.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

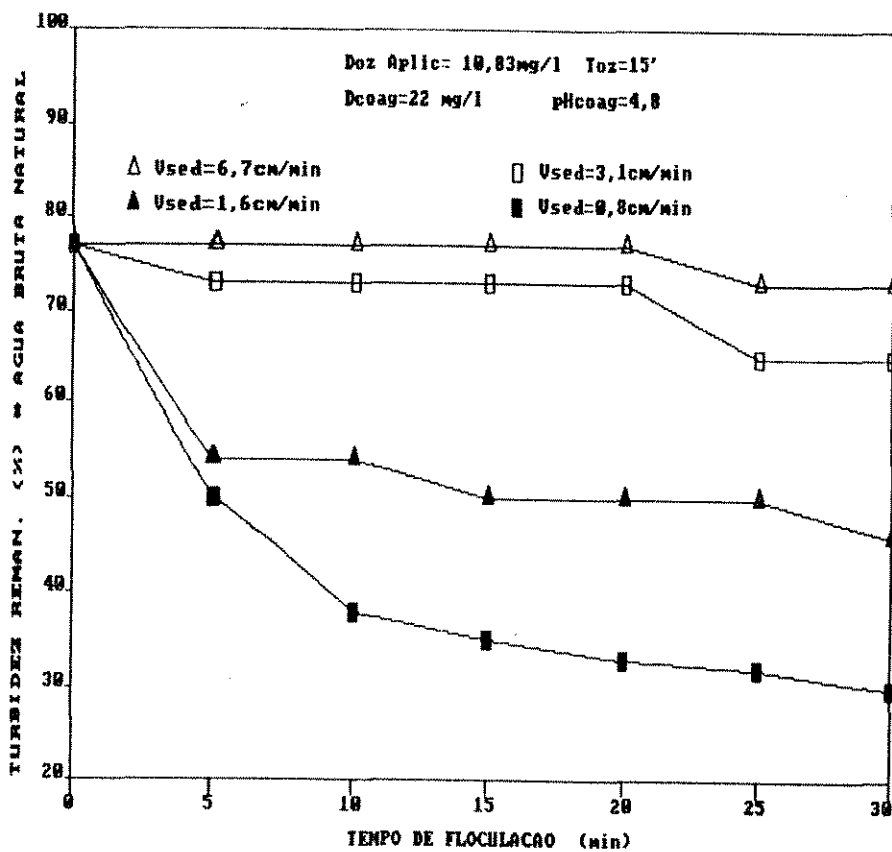


Figura G.40.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

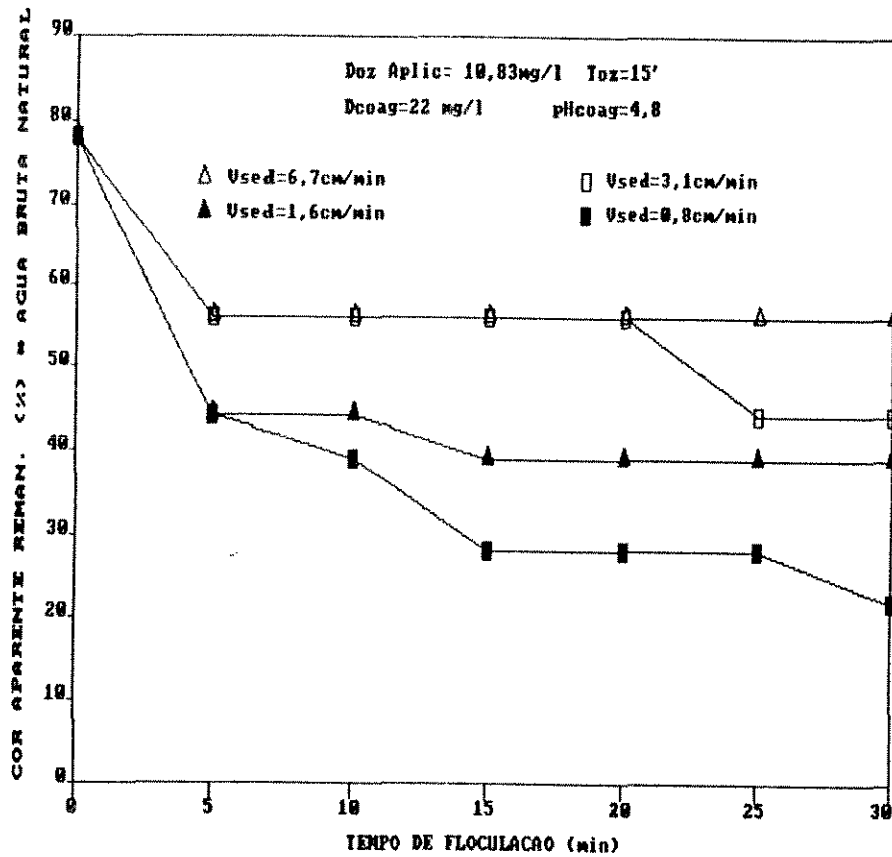


Figura G.40.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

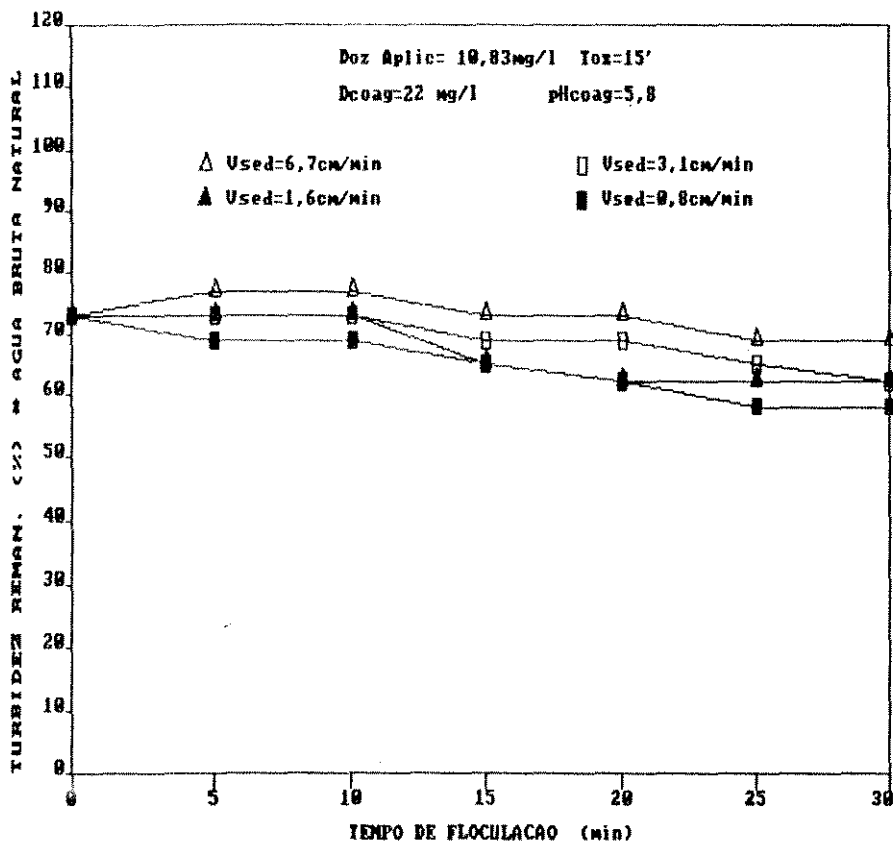


Figura G.41.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

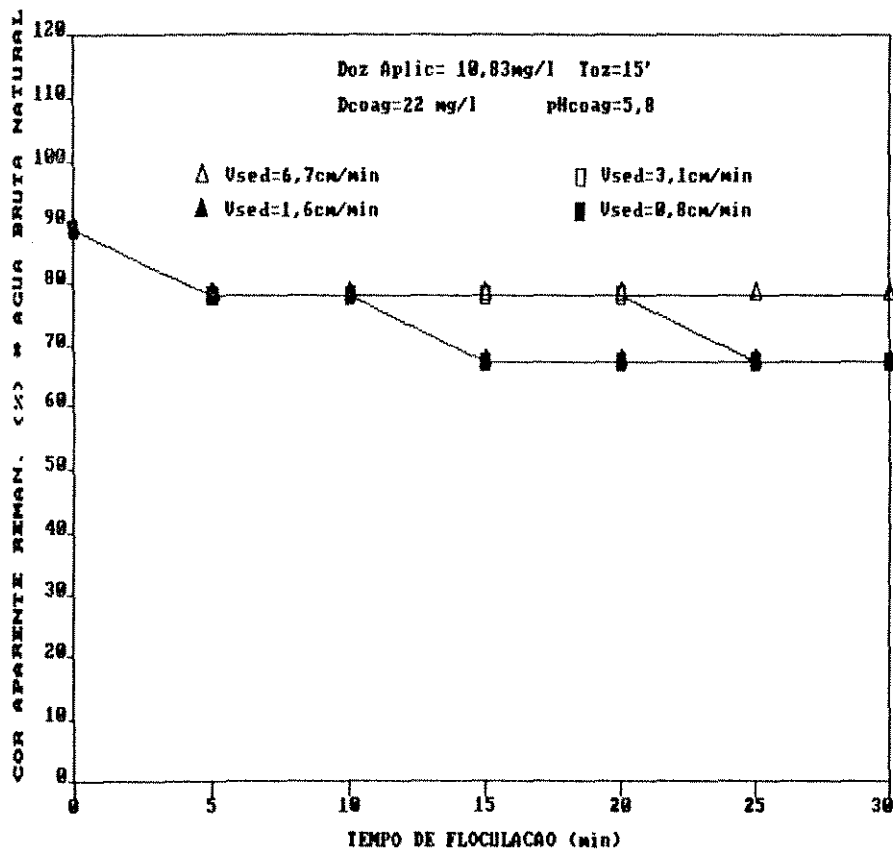


Figura G.41.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

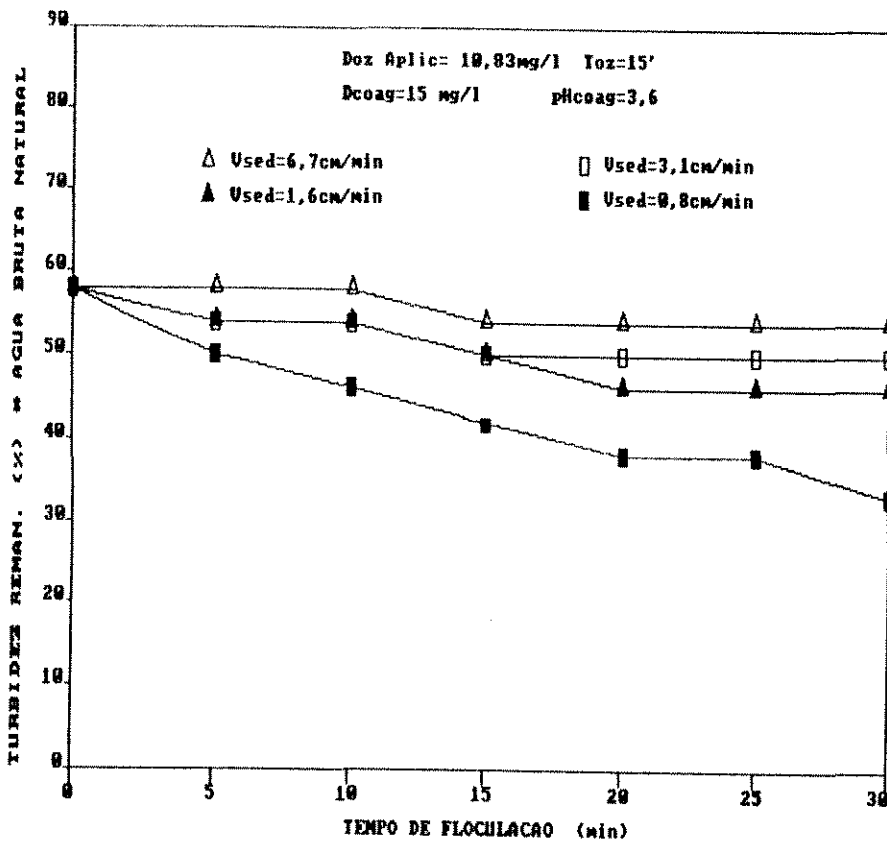


Figura G.42.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

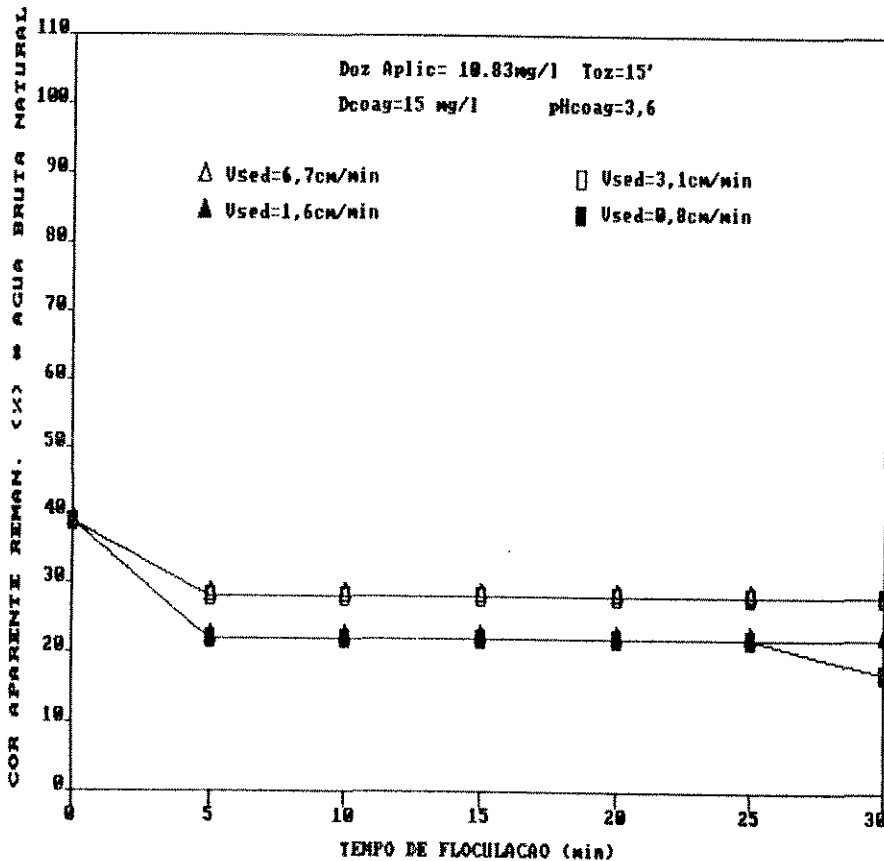


Figura G.42.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para Diferentes Velocidades de Sedimentação nas Condições Especificadas.

A P Ê N D I C E H

**"Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta e do Tempo de Floculação
para Velocidades de Sedimentação Variáveis"**

**"Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
6,7 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensalos 1, 2, 3, 4 e 5"**

TABELA H.1 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 6,7 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.1.1 e H.1.2	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM :	60 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM :	VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 1 min.	VELOCIDADE :	6,70 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	1	6,7	21,0	81	140,0	156
	5			21,0	81	140,0	156
	10			20,0	77	140,0	156
	15			20,0	77	140,0	156
	20			20,0	77	140,0	156
	25			20,0	77	140,0	156
	30			19,0	79	140,0	156
2	0	1	6,7	22,0	85	140,0	156
	5			22,0	85	140,0	156
	10			20,0	77	140,0	156
	15			20,0	77	140,0	156
	20			20,0	77	140,0	156
	25			20,0	77	140,0	156
	30			20,0	77	140,0	156
3	0	1	6,7	19,0	79	140,0	156
	5			18,0	69	140,0	156
	10			18,0	69	140,0	156
	15			18,0	69	140,0	156
	20			18,0	69	140,0	156
	25			18,0	69	140,0	156
	30			17,0	65	140,0	156
4	0	1	6,7	92,0	129	120,0	199
	5			24,0	92	120,0	199
	10			24,0	92	120,0	199
	15			29,0	88	120,0	199
	20			29,0	88	120,0	199
	25			22,0	85	120,0	188
	30			22,0	85	120,0	199
5	0	1	6,7	26,0	100	100,0	111
	5			24,0	92	100,0	111
	10			29,0	88	100,0	111
	15			29,0	88	100,0	111
	20			22,0	85	100,0	111
	25			22,0	85	90,0	100
	30			22,0	85	90,0	100

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H.2 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 6,7 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.2.1 e H.2.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 1 min.	VELOCIDADE : 6,7 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)
1	0	1	6,7	21,0	81	140,0	156
	5			20,0	77	140,0	156
	10			20,0	77	120,0	199
	15			19,0	79	120,0	199
	20			19,0	79	120,0	199
	25			18,0	69	100,0	111
	30			17,0	65	100,0	111
2	0	1	6,7	20,0	77	90,0	100
	5			20,0	77	90,0	100
	10			20,0	77	90,0	100
	15			19,0	79	90,0	100
	20			19,0	79	90,0	100
	25			19,0	79	90,0	100
	30			19,0	79	90,0	100
3	0	1	6,7	19,0	79	100,0	111
	5			18,0	69	100,0	111
	10			18,0	69	100,0	111
	15			18,0	69	100,0	111
	20			18,0	69	100,0	111
	25			17,0	65	100,0	111
	30			17,0	65	100,0	111
4	0	1	6,7	28,0	108	90,0	100
	5			21,0	81	90,0	100
	10			20,0	77	90,0	100
	15			20,0	77	90,0	100
	20			20,0	77	90,0	100
	25			19,0	79	90,0	100
	30			19,0	79	90,0	100
5	0	1	6,7	24,0	92	90,0	100
	5			22,0	85	90,0	100
	10			21,0	81	90,0	100
	15			20,0	77	80,0	89
	20			19,0	79	80,0	89
	25			19,0	79	80,0	89
	30			19,0	79	80,0	89

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	6,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H. 3 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 6,7 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H. 3.1 e H. 3.2	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM :	30 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM :	VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 1 min.	VELOCIDADE :	6,7 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	(mg/l Pt-Co)	(%)
1	0	1	6,7	22,0	85	140,0	156
	5			22,0	85	140,0	156
	10			22,0	85	140,0	156
	15			21,0	81	120,0	139
	20			21,0	81	120,0	139
	25			20,0	77	120,0	139
	30			20,0	77	110,0	122
2	0	1	6,7	21,0	81	90,0	100
	5			21,0	81	90,0	100
	10			21,0	81	90,0	100
	15			21,0	81	90,0	100
	20			21,0	81	90,0	100
	25			20,0	77	90,0	100
	30			20,0	77	90,0	100
3	0	1	6,7	20,0	77	90,0	100
	5			19,0	79	90,0	100
	10			19,0	79	90,0	100
	15			19,0	79	90,0	100
	20			19,0	79	90,0	100
	25			19,0	79	90,0	100
	30			19,0	79	90,0	100
4	0	1	6,7	27,0	109	90,0	100
	5			21,0	81	90,0	100
	10			21,0	81	90,0	100
	15			21,0	81	90,0	100
	20			21,0	81	90,0	100
	25			21,0	81	90,0	100
	30			21,0	81	90,0	100
5	0	1	6,7	20,0	77	70,0	78
	5			20,0	77	70,0	78
	10			20,0	77	70,0	78
	15			20,0	77	70,0	78
	20			20,0	77	70,0	78
	25			20,0	77	70,0	78
	30			20,0	77	70,0	78

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 4 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 6,7 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.4.1 e H.4.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 1 min.	VELOCIDADE : 6,7 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	1	6,7	24,0	92	90,0	100
	5			21,0	81	90,0	100
	10			21,0	81	90,0	100
	15			21,0	81	90,0	100
	20			21,0	81	90,0	100
	25			20,0	77	80,0	89
	30			20,0	77	80,0	89
2	0	1	6,7	20,0	77	80,0	89
	5			19,0	79	80,0	89
	10			19,0	79	80,0	89
	15			19,0	79	80,0	89
	20			18,0	69	80,0	89
	25			18,0	69	80,0	89
	30			18,0	69	80,0	89
3	0	1	6,7	20,0	77	90,0	100
	5			18,0	69	90,0	100
	10			18,0	69	90,0	100
	15			18,0	69	90,0	100
	20			18,0	69	90,0	100
	25			18,0	69	90,0	100
	30			18,0	69	90,0	100
4	0	1	6,7	25,0	96	70,0	78
	5			19,0	79	70,0	78
	10			19,0	79	70,0	78
	15			18,0	69	70,0	78
	20			18,0	69	70,0	78
	25			18,0	69	70,0	78
	30			18,0	69	70,0	78
5	0	1	6,7	20,0	77	70,0	78
	5			20,0	77	50,0	56
	10			20,0	77	50,0	56
	15			20,0	77	50,0	56
	20			20,0	77	50,0	56
	25			19,0	79	50,0	56
	30			19,0	79	50,0	56

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H.5 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 6,7 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.5.1 e H.5.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 1 min.	VELOCIDADE : 6,7 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	(Pt-Co) (mg/l)	(%)
1	0	1	6,7	22,0	85	90,0	100
	5			22,0	85	90,0	100
	10			22,0	85	90,0	100
	15			21,0	81	90,0	100
	20			21,0	81	90,0	100
	25			20,0	77	90,0	100
	30			20,0	77	80,0	89
2	0	1	6,7	17,0	65	70,0	78
	5			17,0	65	70,0	78
	10			17,0	65	70,0	78
	15			17,0	65	70,0	78
	20			17,0	65	70,0	78
	25			16,0	62	70,0	78
	30			16,0	62	70,0	78
3	0	1	6,7	18,0	69	90,0	100
	5			16,0	62	90,0	100
	10			16,0	62	90,0	100
	15			16,0	62	90,0	100
	20			16,0	62	90,0	100
	25			16,0	62	90,0	100
	30			16,0	62	90,0	100
4	0	1	6,7	25,0	96	90,0	100
	5			20,0	77	80,0	89
	10			19,0	73	80,0	89
	15			18,0	69	80,0	89
	20			18,0	69	80,0	89
	25			18,0	69	80,0	89
	30			17,0	65	80,0	89
5	0	1	6,7	19,0	73	80,0	89
	5			20,0	77	70,0	78
	10			20,0	77	70,0	78
	15			19,0	73	70,0	78
	20			19,0	73	70,0	78
	25			18,0	69	70,0	78
	30			18,0	69	70,0	78

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H.6 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 6,7 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.6.1 e H.6.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 1 min.	VELOCIDADE : 6,7 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	1	6,7	22,0	85	80,0	80
	5			19,0	79	50,0	56
	10			16,0	62	50,0	56
	15			16,0	62	50,0	56
	20			16,0	62	50,0	56
	25			19,0	50	40,0	44
	30			19,0	50	35,0	39
2	0	1	6,7	17,0	65	50,0	56
	5			15,0	58	40,0	44
	10			15,0	58	40,0	44
	15			15,0	58	40,0	44
	20			15,0	58	40,0	44
	25			15,0	58	35,0	39
	30			15,0	58	35,0	39
3	0	1	6,7	16,0	62	40,0	44
	5			15,0	58	35,0	39
	10			15,0	58	30,0	33
	15			15,0	58	30,0	33
	20			15,0	58	30,0	33
	25			15,0	58	30,0	33
	30			15,0	58	25,0	28
4	0	1	6,7	20,0	77	35,0	39
	5			16,0	62	50,0	56
	10			16,0	62	40,0	44
	15			16,0	62	40,0	44
	20			16,0	62	40,0	44
	25			16,0	62	40,0	44
	30			15,0	58	35,0	39
5	0	1	6,7	15,0	58	35,0	39
	5			15,0	58	25,0	28
	10			15,0	58	25,0	28
	15			14,0	54	25,0	28
	20			14,0	54	25,0	28
	25			14,0	54	25,0	28
	30			14,0	54	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

**"Porcentagens Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
6,7 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

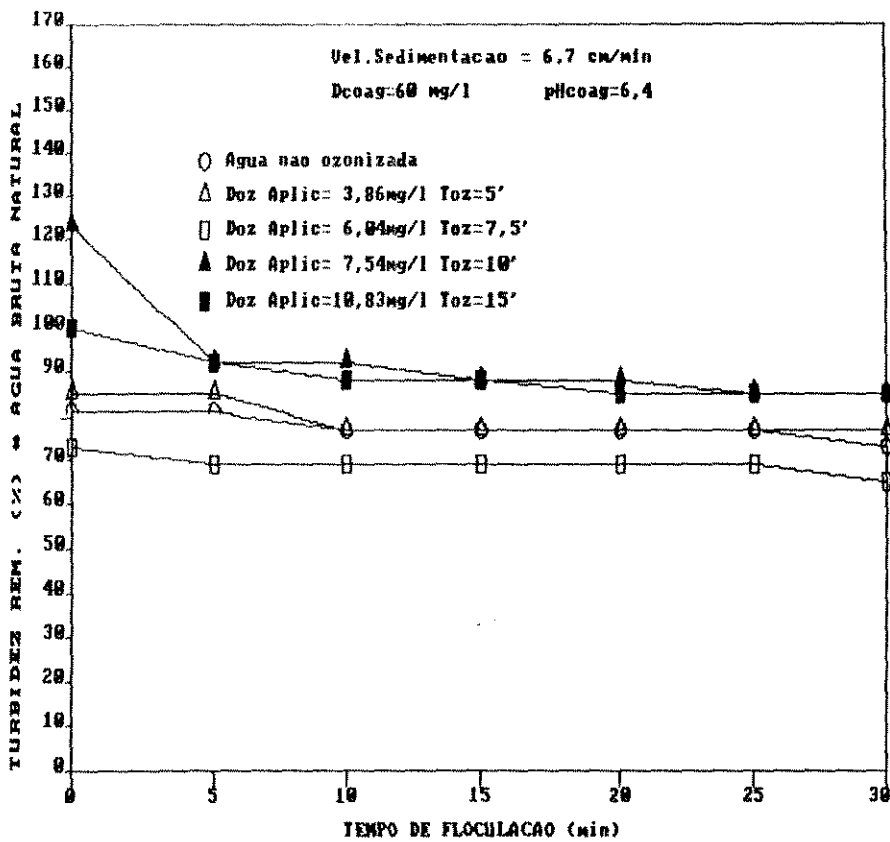


Figura H.1.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

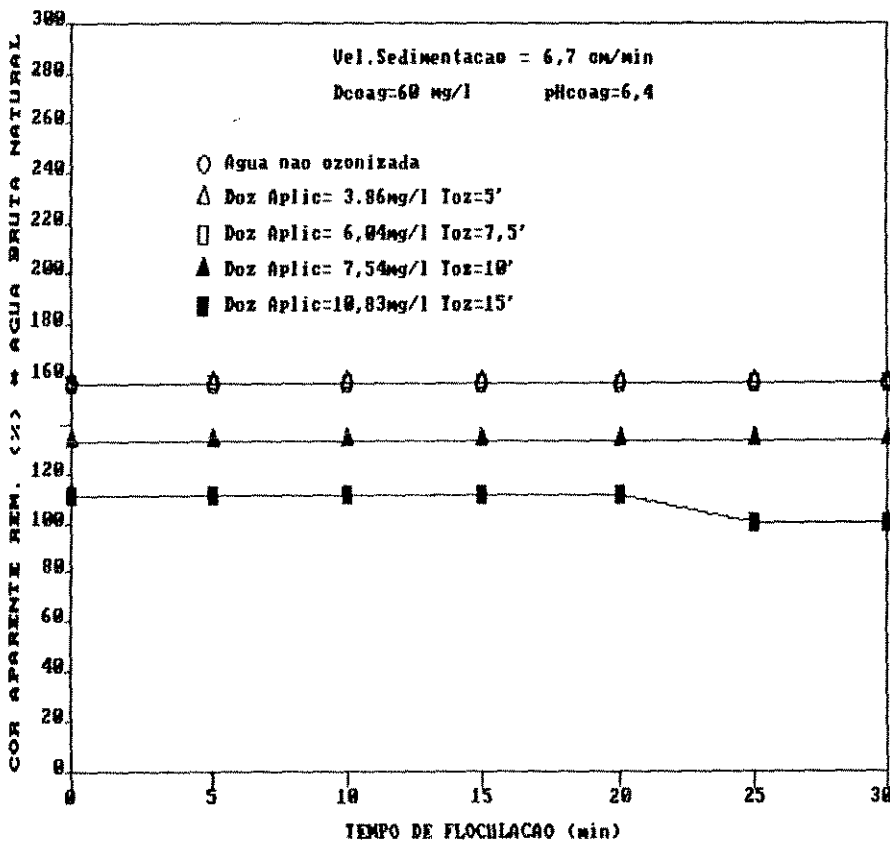


Figura H.1.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

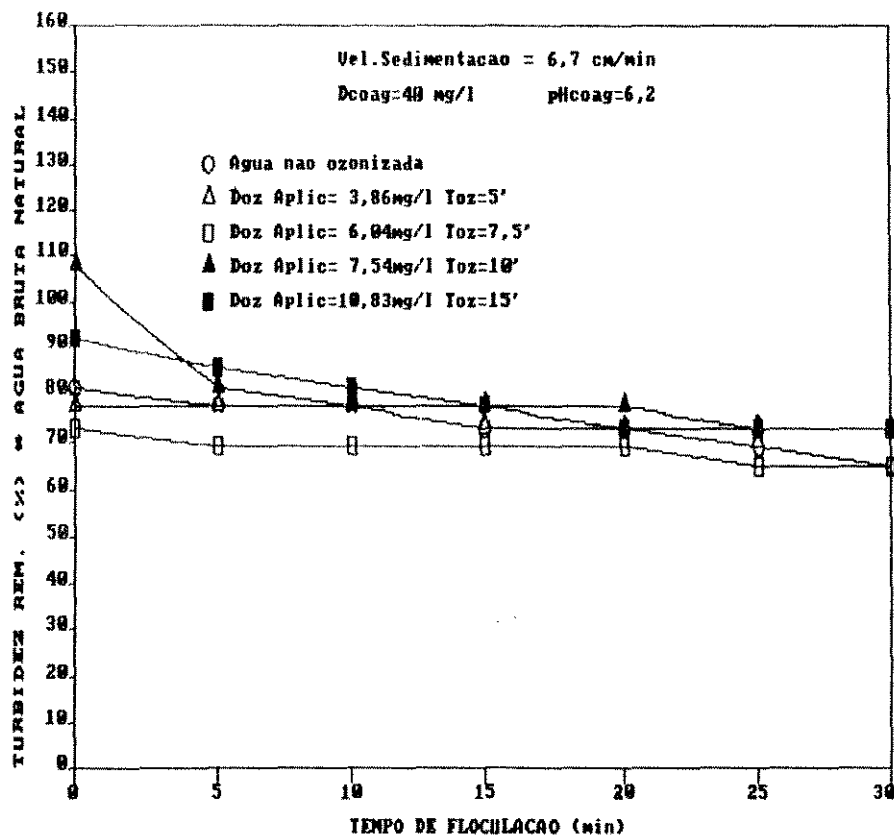


Figura H.2.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

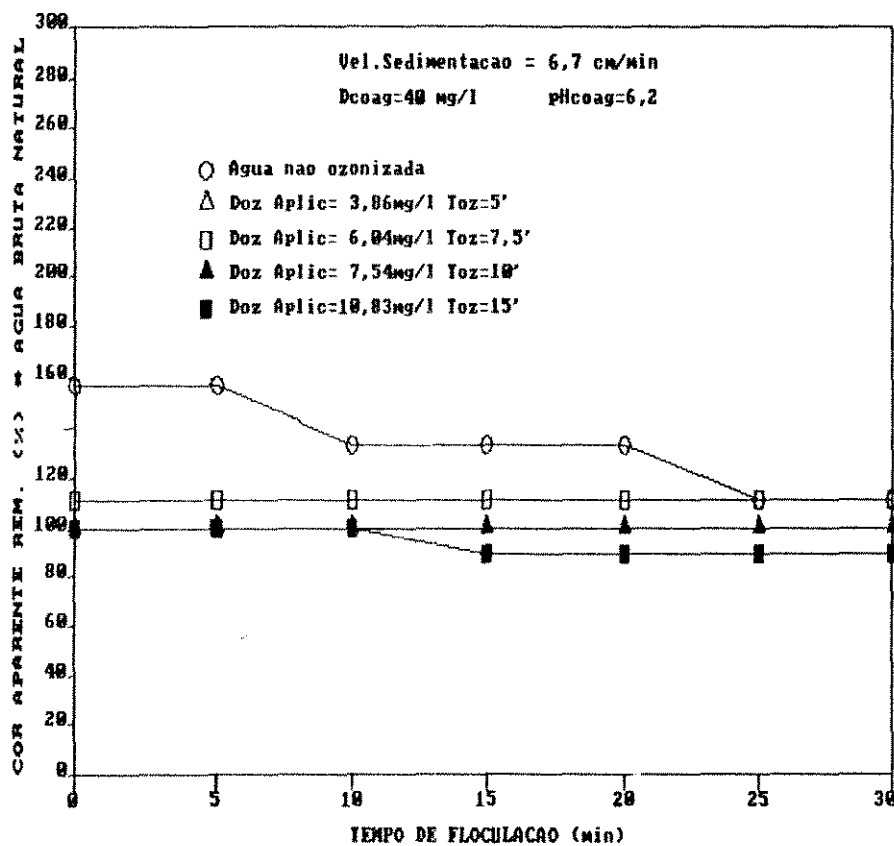


Figura H.2.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

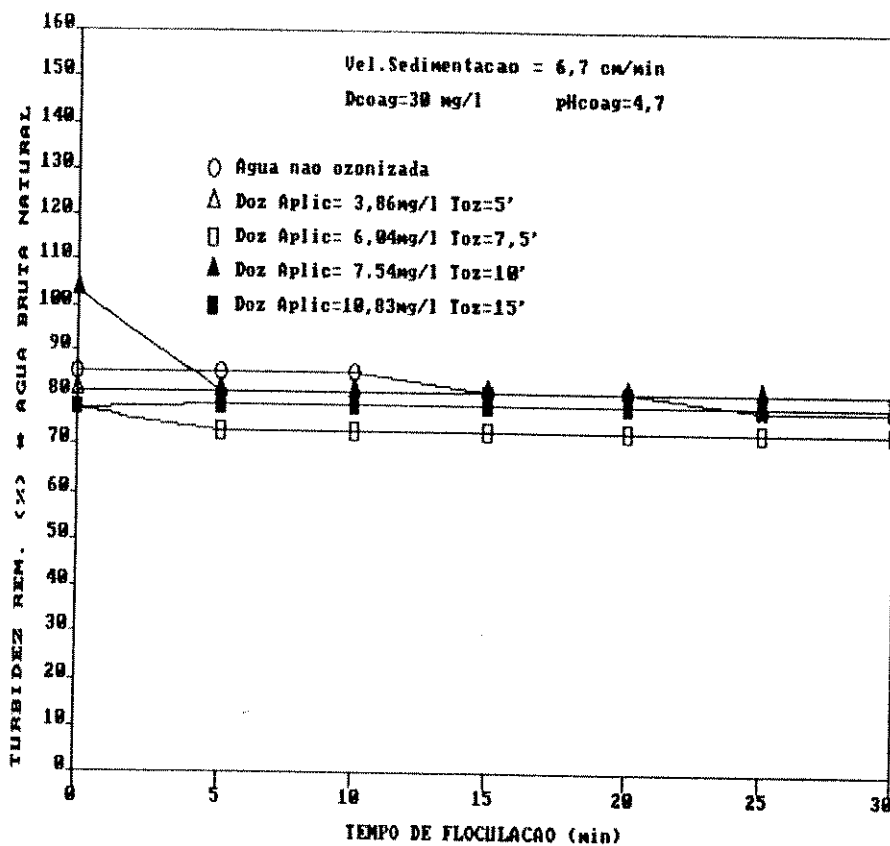


Figura H.3.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

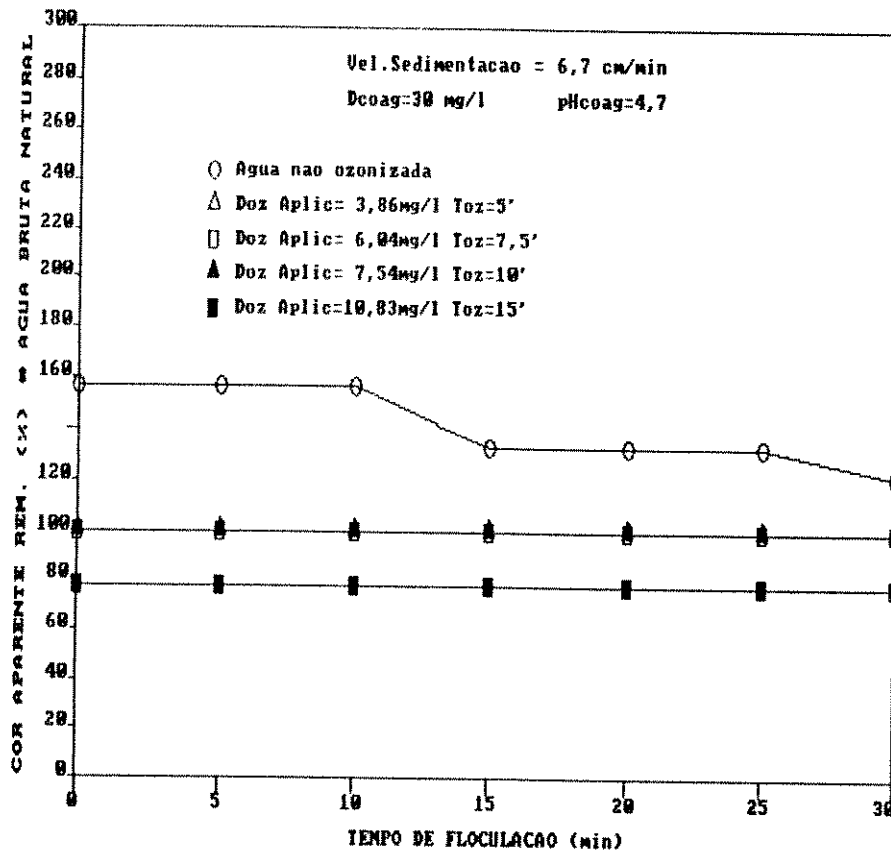


Figura H.3.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

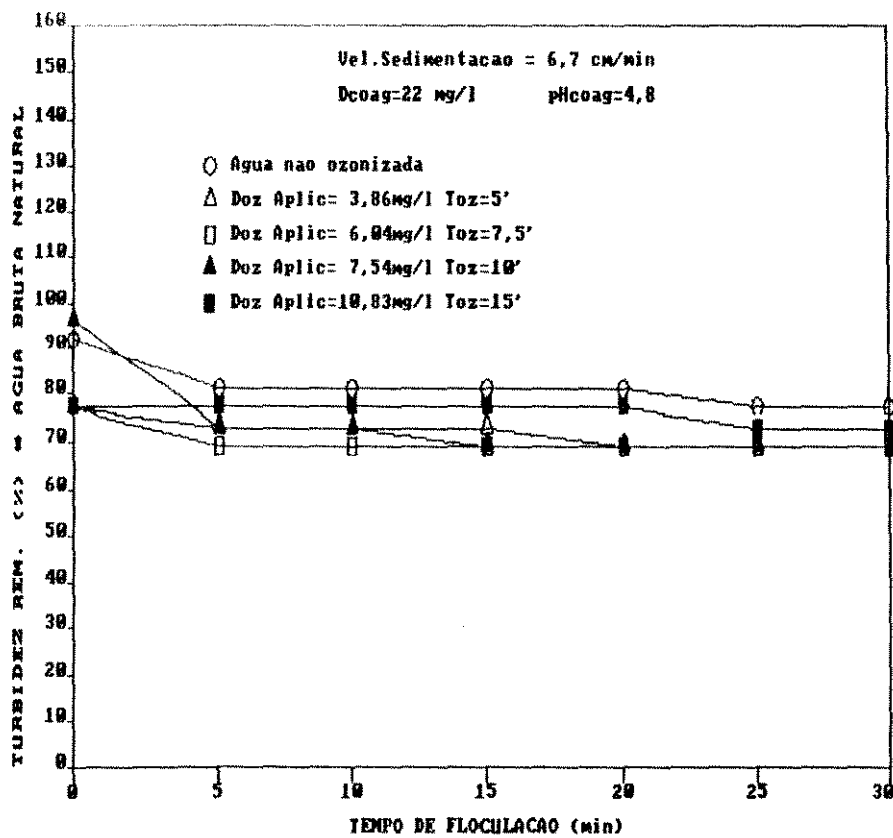


Figura H.4.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

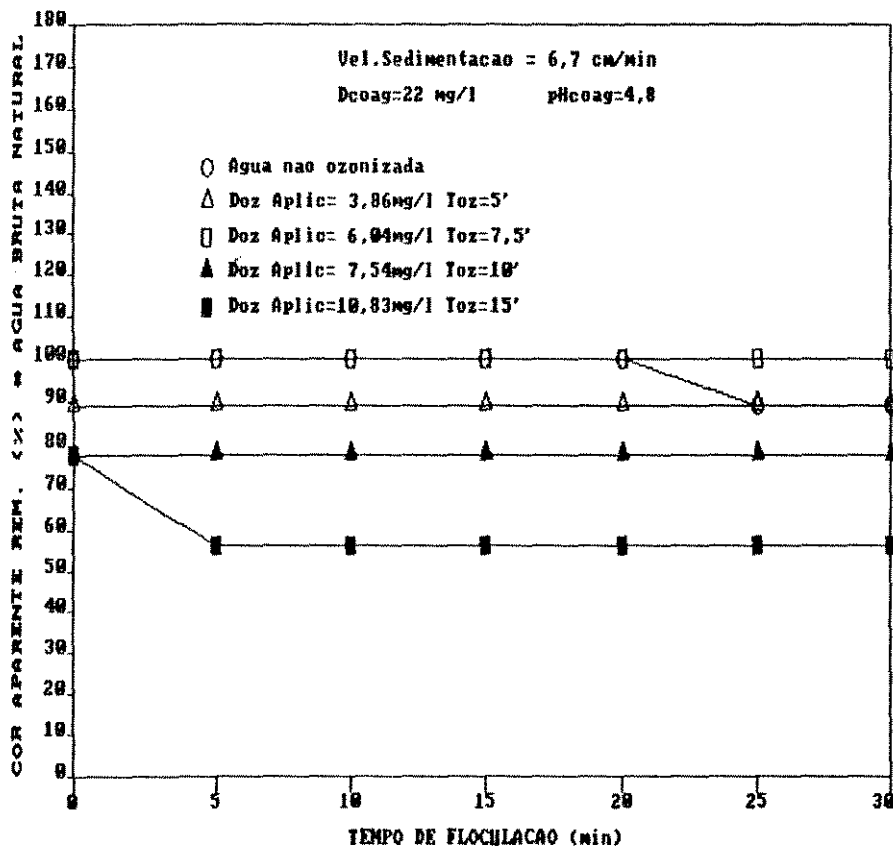


Figura H.4.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

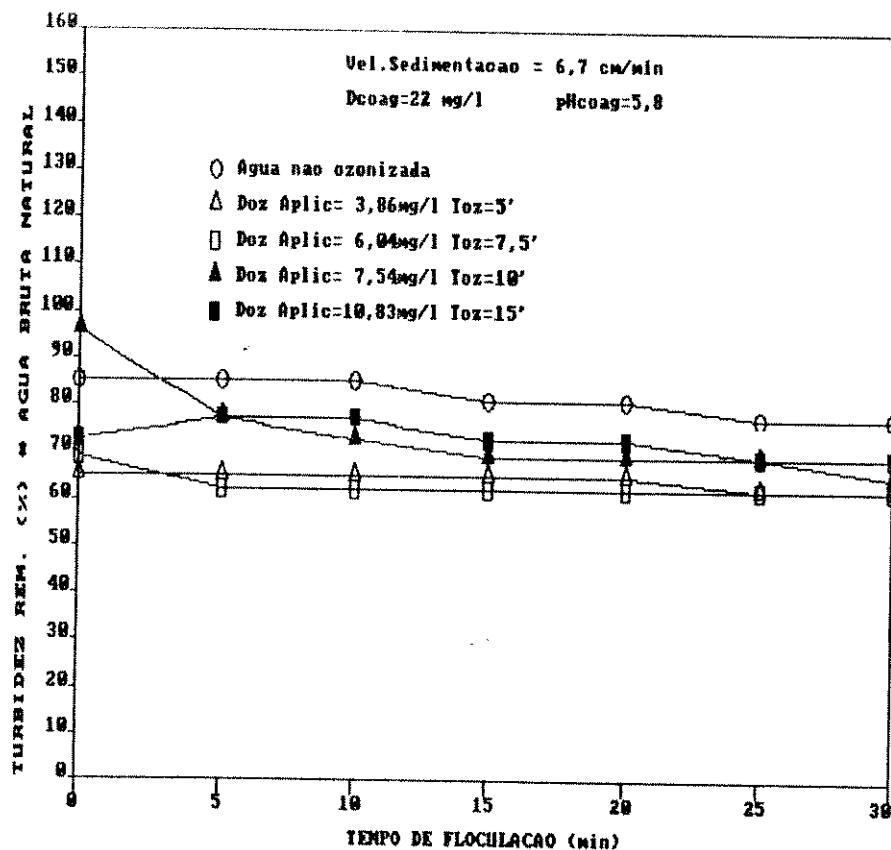


Figura H.5.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

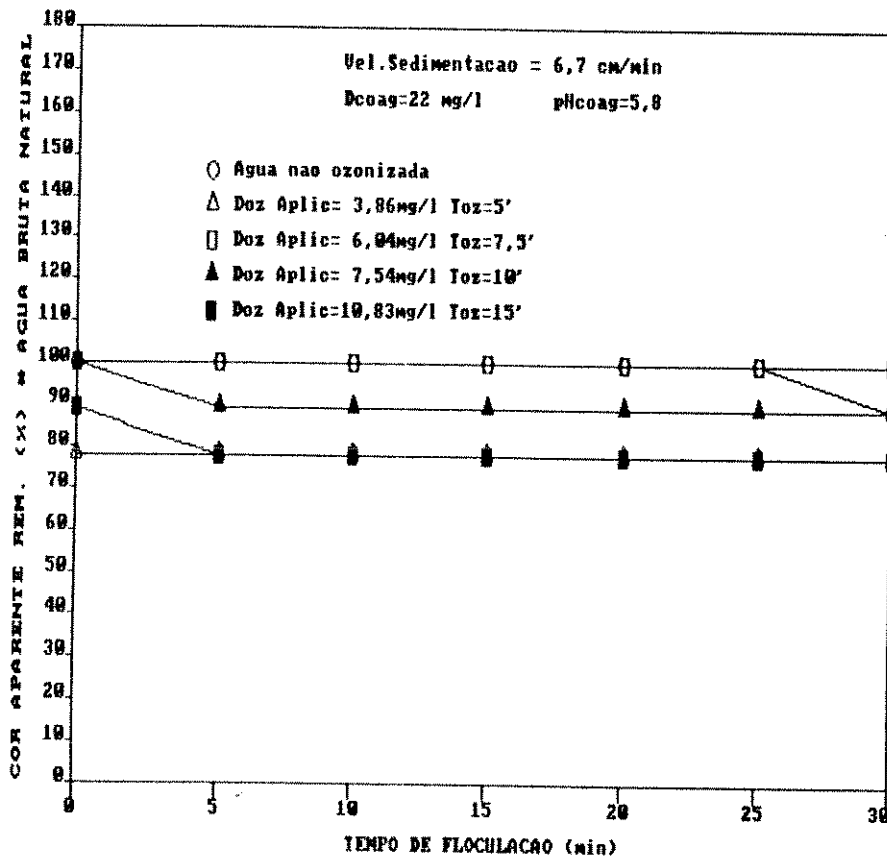


Figura H.5.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

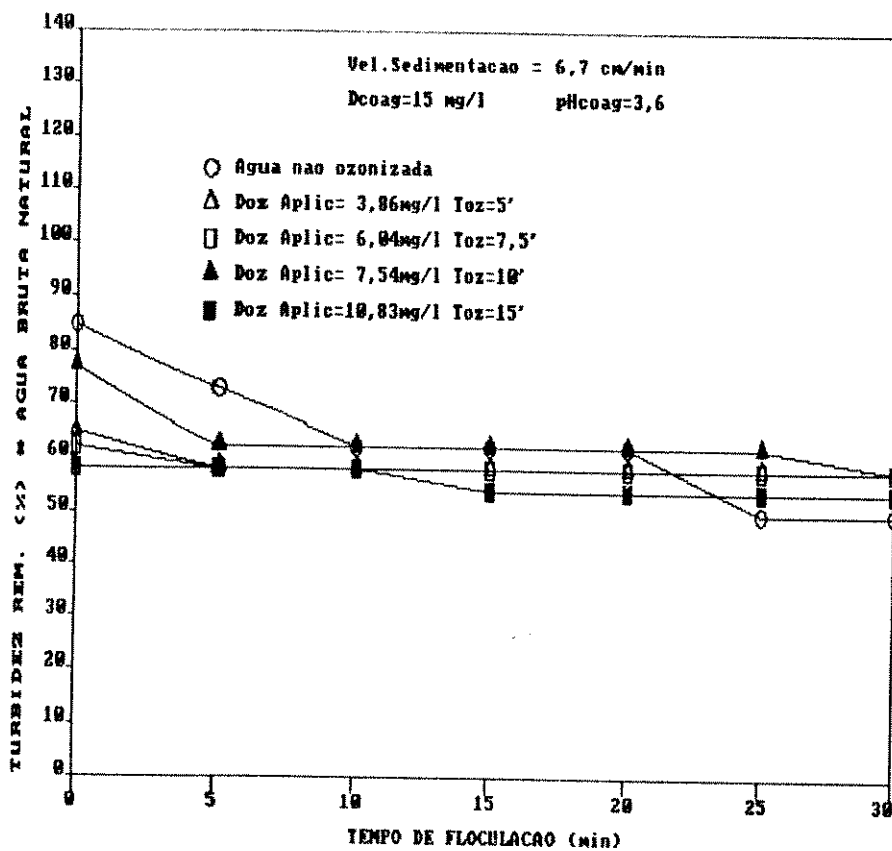


Figura H.6.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

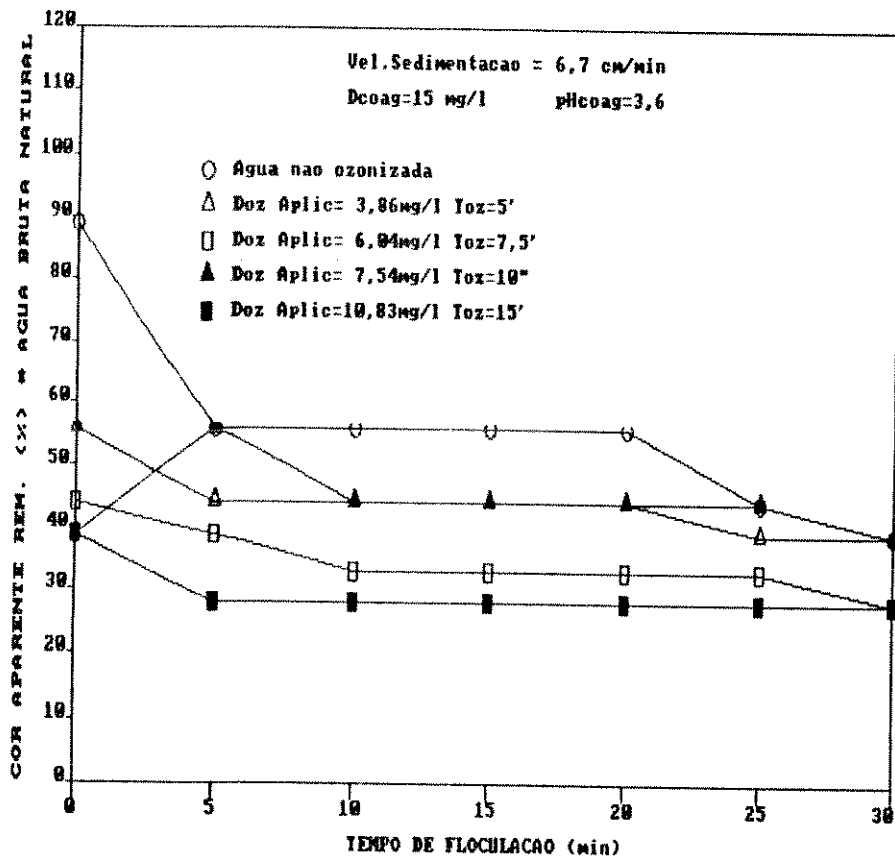


Figura H.6.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 6,7 cm/min, nas Condições Especificadas.

**"Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
3,1 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

TABELA H.7 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 3,1 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.7.1 e H.7.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 2 min.	VELOCIDADE : 3,1 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	(Pt-Co) (mg/l)	(%)
1	0	2	3,1	21,0	81	140,0	156
	5			19,0	50	90,0	100
	10			12,0	46	90,0	100
	15			16,0	62	90,0	100
	20			16,0	62	90,0	100
	25			16,0	62	90,0	100
	30			14,0	54	90,0	100
2	0	2	3,1	22,0	85	140,0	156
	5			16,0	62	90,0	100
	10			16,0	62	90,0	100
	15			16,0	62	90,0	100
	20			16,0	62	90,0	100
	25			16,0	62	90,0	100
	30			16,0	62	90,0	100
3	0	2	3,1	19,0	79	140,0	156
	5			15,0	58	100,0	111
	10			15,0	58	100,0	111
	15			15,0	58	100,0	111
	20			16,0	62	100,0	111
	25			16,0	62	100,0	111
	30			15,0	58	100,0	111
4	0	2	3,1	92,0	129	120,0	199
	5			17,0	65	90,0	100
	10			19,0	79	90,0	100
	15			15,0	58	70,0	78
	20			17,0	65	80,0	89
	25			20,0	77	80,0	89
	30			16,0	62	80,0	89
5	0	2	3,1	26,0	100	100,0	111
	5			19,0	79	90,0	100
	10			15,0	58	50,0	56
	15			15,0	58	50,0	56
	20			14,0	54	50,0	56
	25			14,0	54	50,0	56
	30			14,0	54	50,0	56

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H.8 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 3,1 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.8.1 e H.8.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 6,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 2 min.	VELOCIDADE : 3,1 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	[Pt-Co] (mg/l)	(%)
1	0	2	3,1	21,0	81	140,0	156
	5			15,0	58	90,0	100
	10			14,0	54	90,0	100
	15			14,0	54	80,0	89
	20			14,0	54	70,0	78
	25			14,0	54	70,0	78
	30			14,0	54	70,0	78
2	0	2	3,1	20,0	77	90,0	100
	5			16,0	62	70,0	78
	10			14,0	54	60,0	67
	15			14,0	54	60,0	67
	20			13,0	50	50,0	56
	25			13,0	50	35,0	39
	30			13,0	50	35,0	39
3	0	2	3,1	19,0	73	100,0	111
	5			17,0	65	100,0	111
	10			15,0	58	90,0	100
	15			14,0	54	90,0	100
	20			16,0	62	90,0	100
	25			16,0	62	90,0	100
	30			16,0	62	90,0	100
4	0	2	3,1	28,0	108	90,0	100
	5			16,0	62	70,0	78
	10			16,0	62	50,0	56
	15			11,0	42	40,0	44
	20			14,0	54	35,0	39
	25			14,0	54	35,0	39
	30			13,0	50	35,0	39
5	0	2	3,1	24,0	92	90,0	100
	5			20,0	77	90,0	100
	10			17,0	65	80,0	89
	15			16,0	62	80,0	89
	20			14,0	54	70,0	78
	25			14,0	54	70,0	78
	30			12,0	46	50,0	56

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (°C)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 9 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 3,1 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº : H.9.1 e H.9.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 2 min.	VELOCIDADE : 3,1 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI MENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE (ut)	(%)	REMANESCENTE (mg/l [Pt-Co])	(%)
1	0	2	3,1	22,0	85	140,0	156
	5			19,0	79	100,0	111
	10			19,0	79	100,0	111
	15			19,0	79	90,0	100
	20			19,0	79	90,0	100
	25			19,0	79	90,0	100
	30			17,0	65	90,0	100
2	0	2	3,1	21,0	81	90,0	100
	5			20,0	77	90,0	100
	10			20,0	77	90,0	100
	15			20,0	77	90,0	100
	20			20,0	77	80,0	89
	25			19,0	79	70,0	78
	30			19,0	79	70,0	78
3	0	2	3,1	20,0	77	90,0	100
	5			18,0	69	90,0	100
	10			18,0	69	90,0	100
	15			18,0	69	90,0	100
	20			18,0	69	90,0	100
	25			17,0	65	90,0	100
	30			17,0	65	90,0	100
4	0	2	3,1	27,0	109	90,0	100
	5			21,0	81	90,0	100
	10			20,0	77	90,0	100
	15			20,0	77	90,0	100
	20			20,0	77	90,0	100
	25			19,0	79	90,0	100
	30			18,0	69	90,0	100
5	0	2	3,1	20,0	77	70,0	78
	5			19,0	79	70,0	78
	10			19,0	79	70,0	78
	15			19,0	79	70,0	78
	20			19,0	79	70,0	78
	25			19,0	79	70,0	78
	30			19,0	79	70,0	78

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-Co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 10 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 3,1 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.10.1 e H.10.2	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM :	22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM :	VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 2 min.	VELOCIDADE :	3,1 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDI-MENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(Cut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
1	0	2	3,1	24,0	92	90,0	100
	5			20,0	77	80,0	89
	10			19,0	73	80,0	89
	15			20,0	77	80,0	89
	20			20,0	77	80,0	89
	25			19,0	73	60,0	67
	30			19,0	73	90,0	67
2	0	2	3,1	20,0	77	80,0	89
	5			17,0	65	60,0	67
	10			17,0	65	60,0	67
	15			17,0	65	50,0	56
	20			16,0	62	50,0	56
	25			16,0	62	50,0	56
	30			16,0	62	50,0	56
3	0	2	3,1	20,0	77	90,0	100
	5			18,0	69	90,0	100
	10			18,0	69	90,0	100
	15			17,0	65	90,0	100
	20			17,0	65	90,0	100
	25			17,0	65	90,0	100
	30			17,0	65	90,0	100
4	0	2	3,1	25,0	96	70,0	78
	5			19,0	73	70,0	78
	10			18,0	69	70,0	78
	15			18,0	69	70,0	78
	20			17,0	65	60,0	67
	25			17,0	65	60,0	67
	30			17,0	65	50,0	56
5	0	2	3,1	20,0	77	70,0	78
	5			19,0	73	50,0	56
	10			19,0	73	50,0	56
	15			19,0	73	50,0	56
	20			19,0	73	50,0	56
	25			17,0	65	40,0	44
	30			17,0	65	40,0	44

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H.11 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 3,1 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.11.1 e H.11.2	
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM :	22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM :	VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO :	100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO :	20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 2 min.	VELOCIDADE :	3,1 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	2	3,1	22,0	85	90,0	100
	5			16,0	62	70,0	78
	10			16,0	62	60,0	67
	15			16,0	62	60,0	67
	20			16,0	62	60,0	67
	25			14,0	54	50,0	56
	30			19,0	50	50,0	56
2	0	2	3,1	17,0	65	70,0	78
	5			16,0	62	70,0	78
	10			16,0	62	70,0	78
	15			16,0	62	70,0	78
	20			16,0	62	70,0	78
	25			15,0	58	70,0	78
	30			15,0	58	70,0	78
3	0	2	3,1	18,0	69	90,0	100
	5			16,0	62	90,0	100
	10			16,0	62	90,0	100
	15			16,0	62	90,0	100
	20			15,0	58	90,0	100
	25			15,0	58	90,0	100
	30			15,0	58	90,0	100
4	0	2	3,1	25,0	93	90,0	100
	5			19,0	79	80,0	89
	10			19,0	79	80,0	89
	15			18,0	69	80,0	89
	20			17,0	65	70,0	78
	25			17,0	65	70,0	78
	30			16,0	62	70,0	78
5	0	2	3,1	19,0	79	80,0	89
	5			19,0	79	70,0	78
	10			19,0	79	70,0	78
	15			18,0	69	70,0	78
	20			18,0	69	70,0	78
	25			17,0	65	60,0	67
	30			16,0	62	60,0	67

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conductiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H.12 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 3,1 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.12.1 e H.12.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 2 min.	VELOCIDADE : 3,1 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
1	0	2	3,1	22,0	85	80,0	89
	5			14,0	54	95,0	39
	10			12,0	46	95,0	39
	15			9,0	95	25,0	28
	20			9,0	95	25,0	28
	25			8,0	91	20,0	22
	30			5,0	19	10,0	11
2	0	2	3,1	17,0	65	50,0	56
	5			15,0	58	40,0	44
	10			15,0	58	40,0	44
	15			15,0	58	40,0	44
	20			14,0	54	95,0	39
	25			14,0	54	95,0	39
	30			14,0	54	95,0	39
3	0	2	3,1	16,0	62	40,0	44
	5			15,0	58	95,0	39
	10			14,0	54	90,0	39
	15			14,0	54	90,0	39
	20			14,0	54	90,0	39
	25			14,0	54	90,0	39
	30			14,0	54	25,0	28
4	0	2	3,1	20,0	77	95,0	39
	5			15,0	58	40,0	44
	10			15,0	58	40,0	44
	15			15,0	58	95,0	39
	20			14,0	54	90,0	39
	25			14,0	54	90,0	39
	30			19,0	54	90,0	39
5	0	2	3,1	15,0	58	95,0	39
	5			14,0	54	25,0	28
	10			14,0	54	25,0	28
	15			19,0	50	25,0	28
	20			19,0	50	25,0	28
	25			19,0	50	25,0	28
	30			19,0	50	25,0	28

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

**"Porcentagens Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
3,1 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

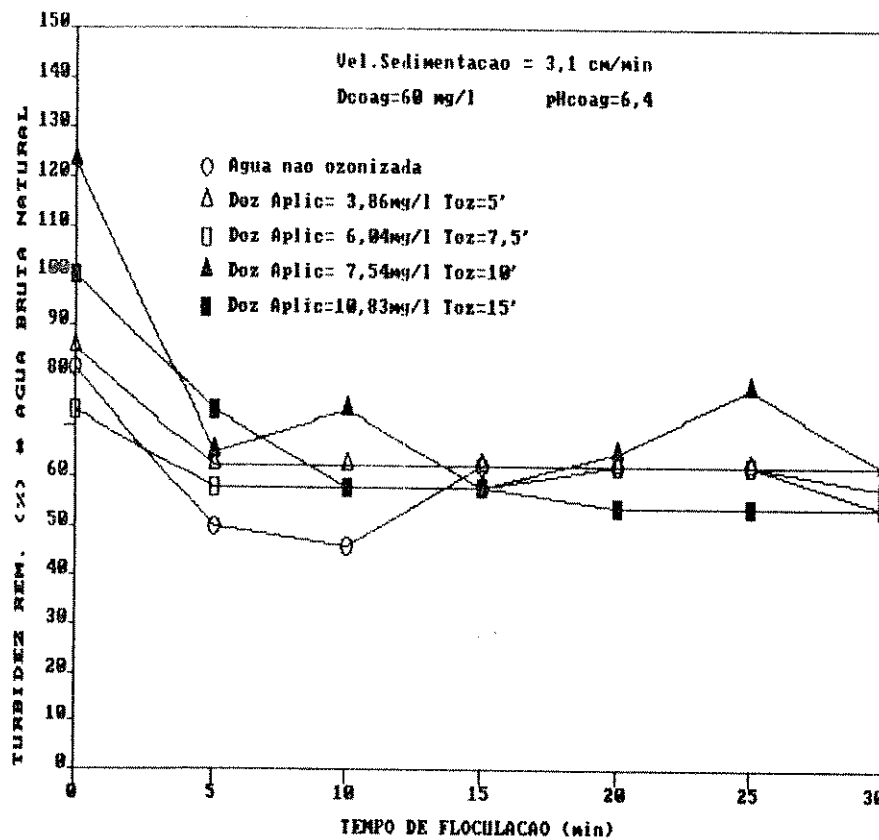


Figura H.7.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

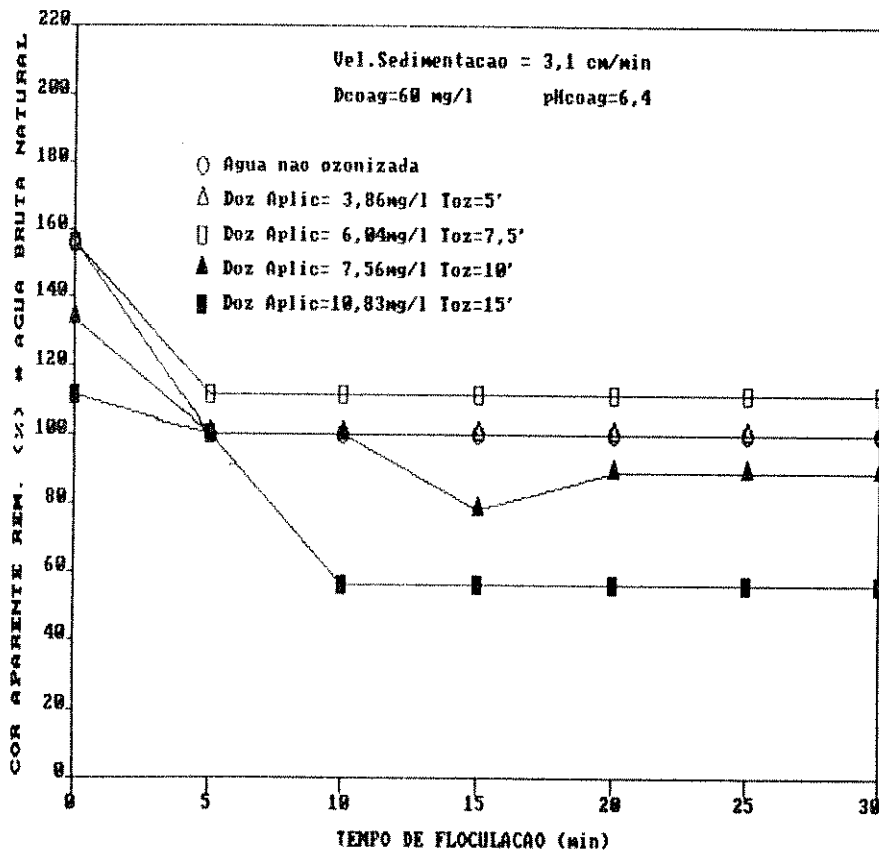


Figura H.7.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

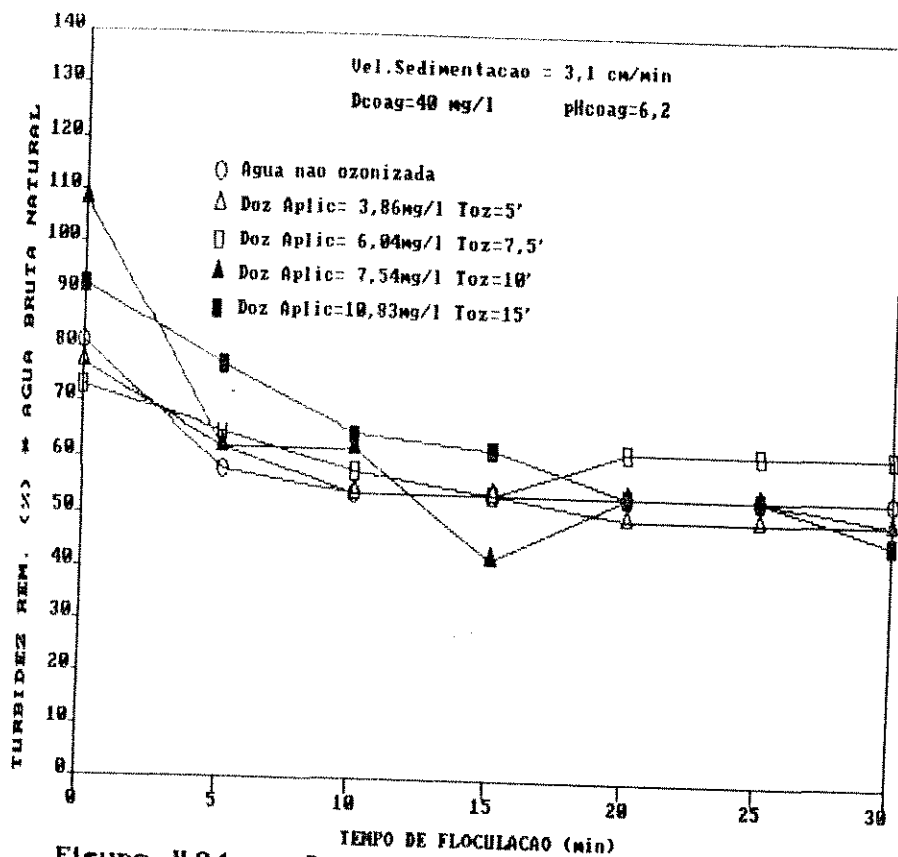


Figura H.8.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

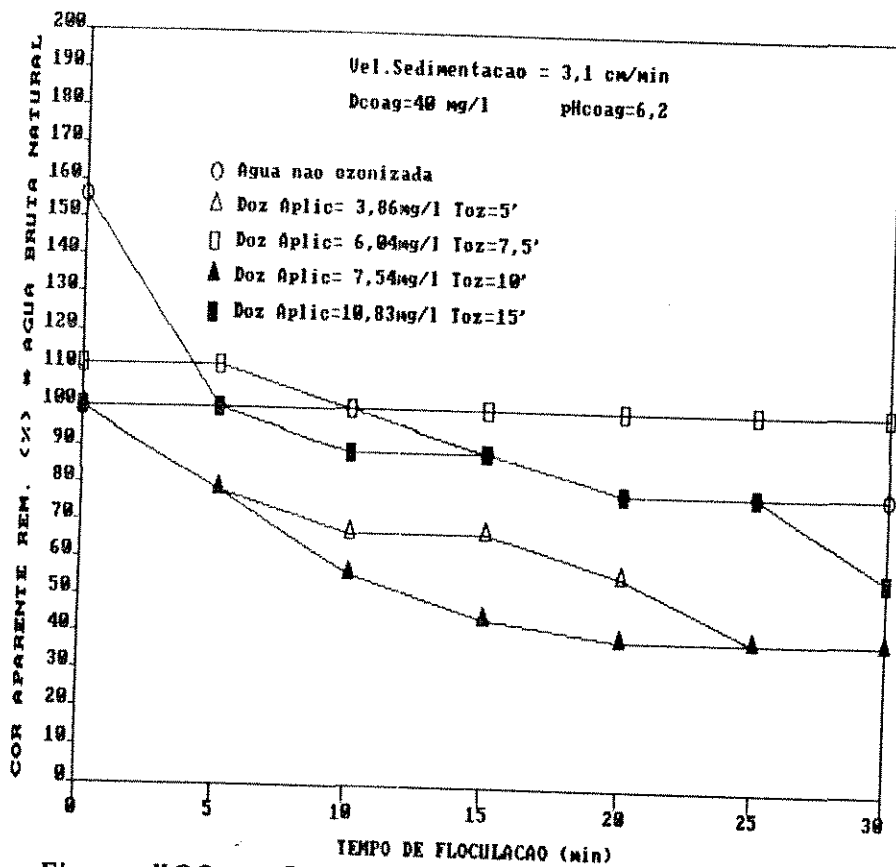


Figura H.8.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

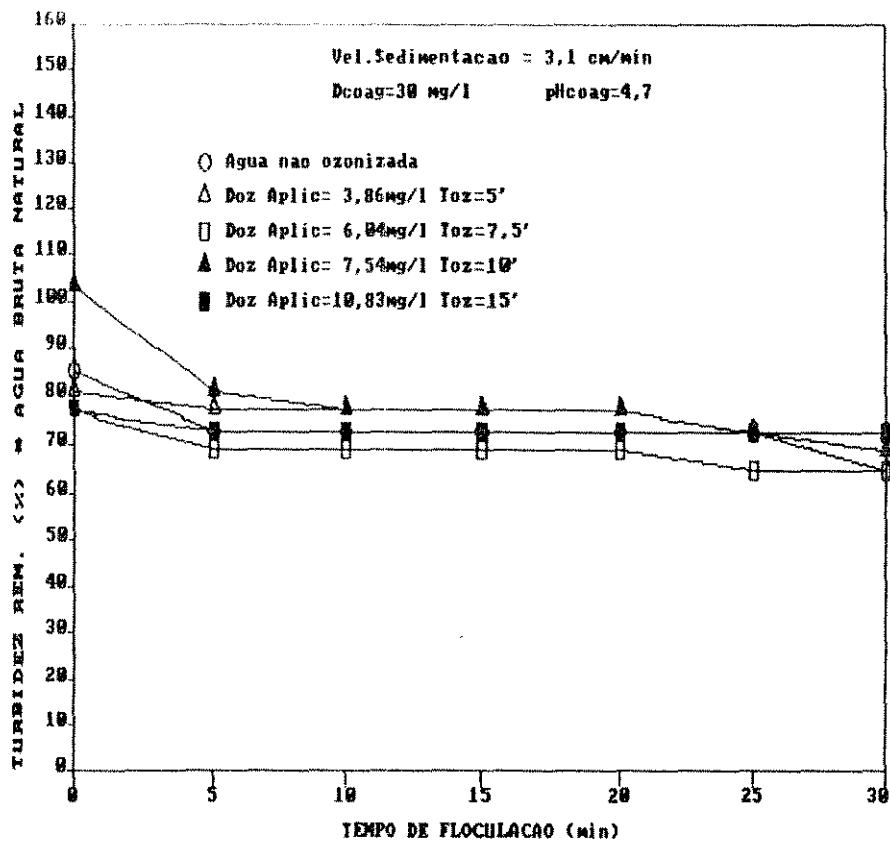


Figura H.9.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

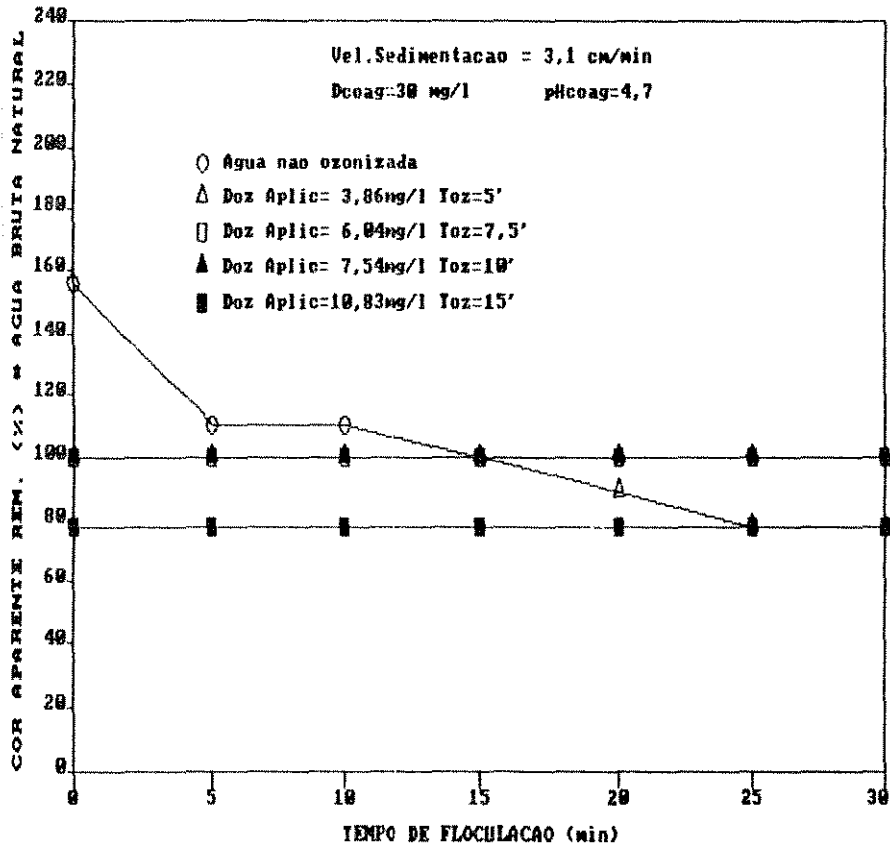


Figura H.9.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

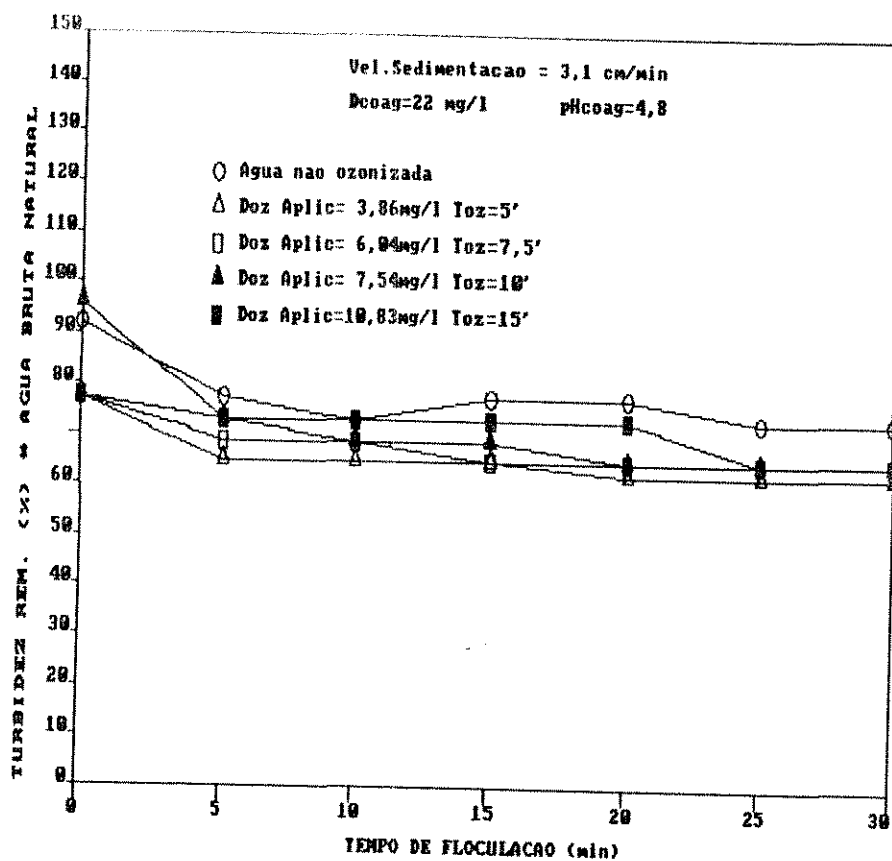


Figura H.10.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

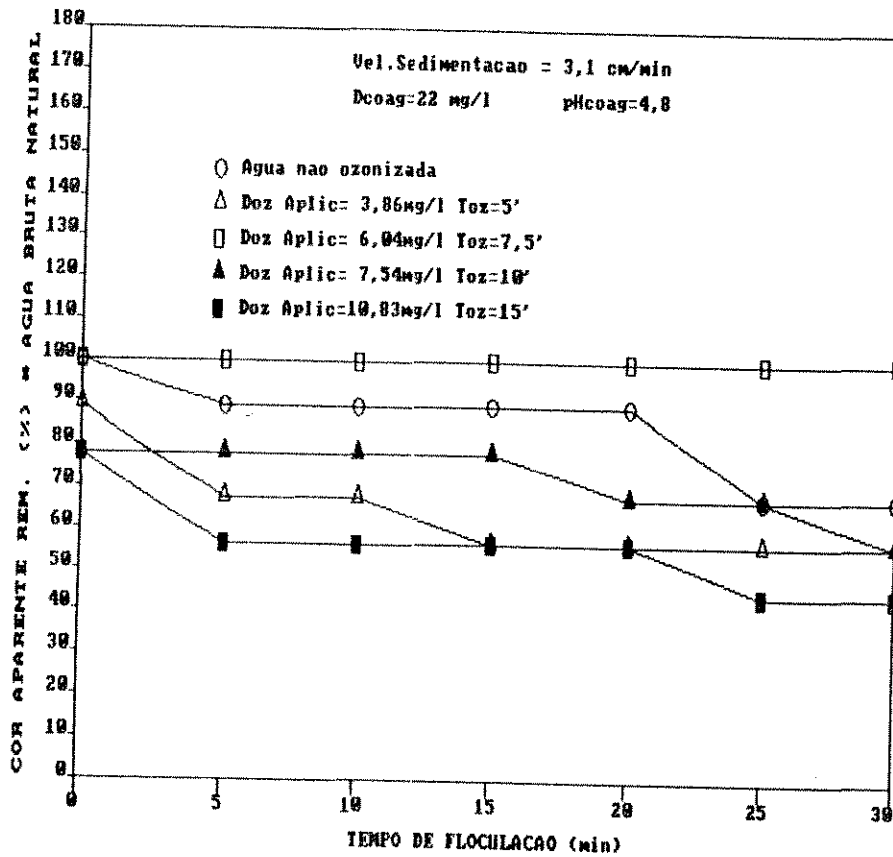


Figura H.10.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

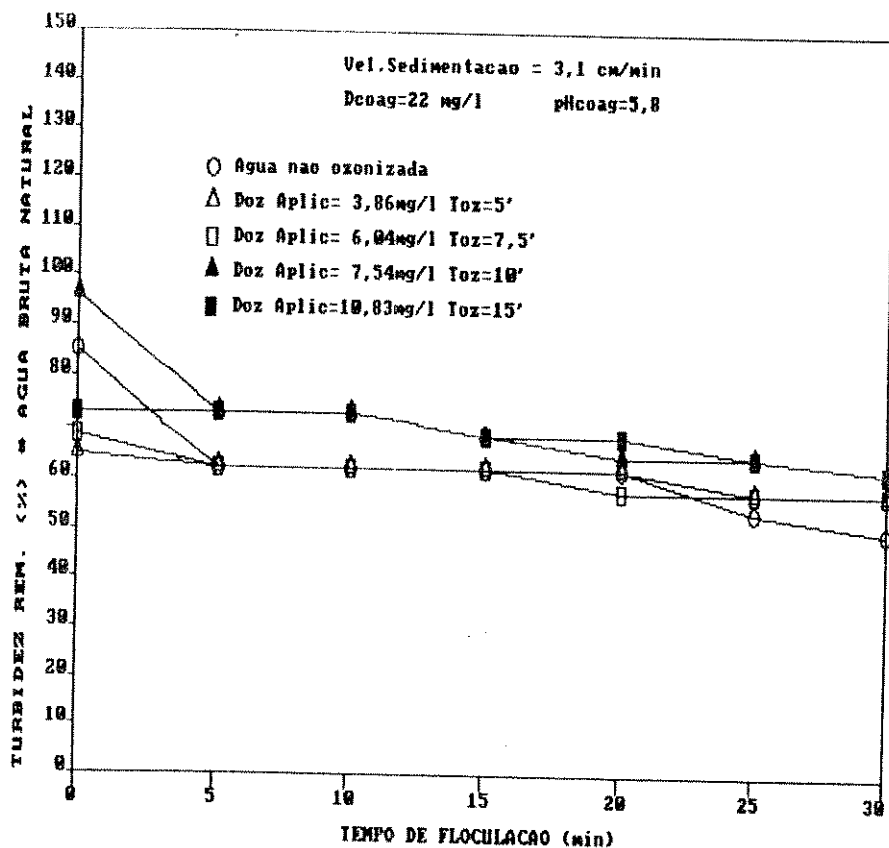


Figura H.11.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

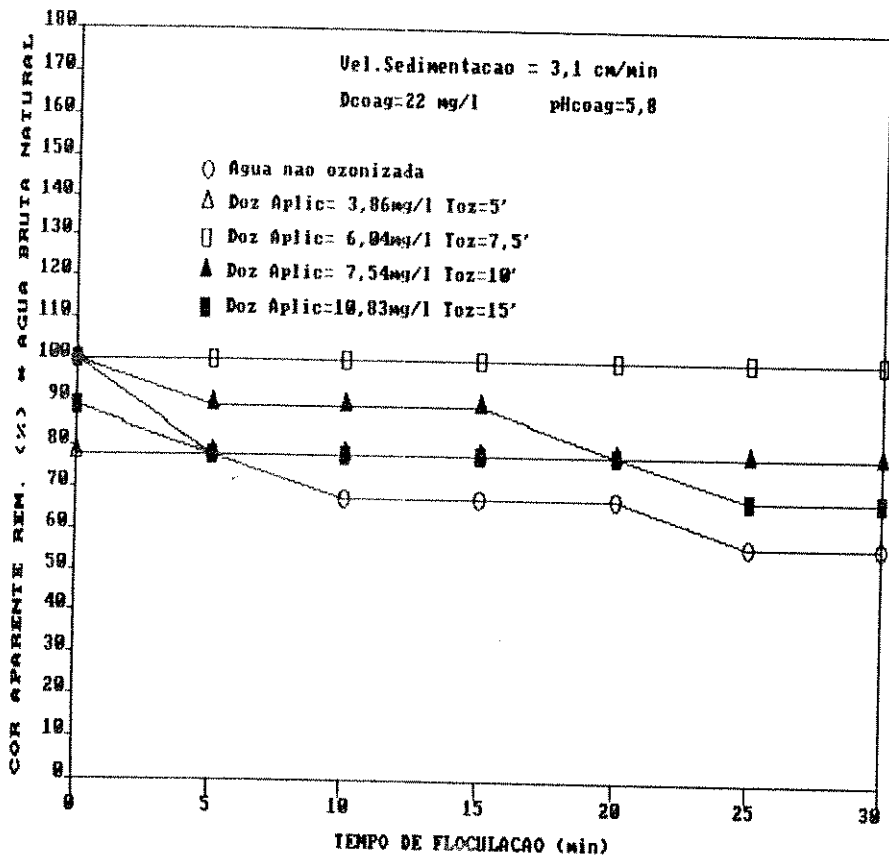


Figura H.11.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

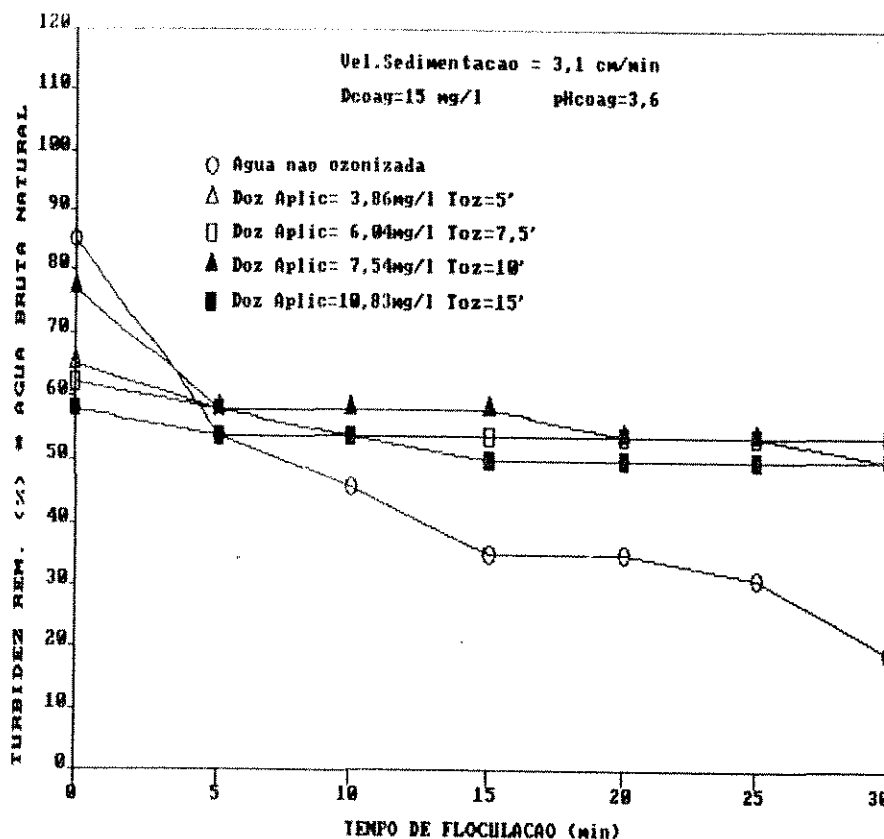


Figura H.12.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

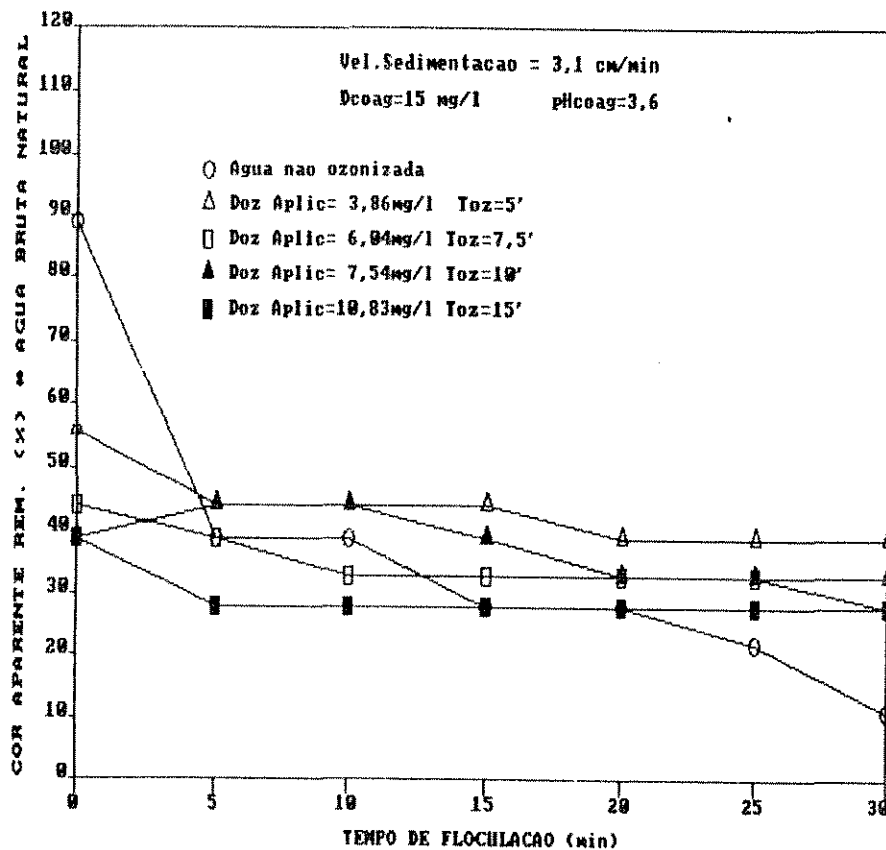


Figura H.12.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 3,1 cm/min, nas Condições Especificadas.

**"Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
1,6 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

TABELA H.13 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 1,6 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.13.1 e H.13.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 1,6 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
1	0	3,5	1,6	21,0	81	140,0	156
	5			7,5	29	35,0	39
	10			5,2	20	30,0	33
	15			7,2	28	30,0	33
	20			6,9	27	25,0	28
	25			6,2	24	25,0	28
	30			8,0	31	25,0	28
2	0	3,5	1,6	22,0	85	140,0	156
	5			7,0	27	40,0	44
	10			5,9	20	30,0	33
	15			8,0	31	20,0	22
	20			9,5	37	20,0	22
	25			5,8	22	20,0	22
	30			5,5	21	15,0	17
3	0	3,5	1,6	19,0	79	140,0	156
	5			8,5	33	50,0	56
	10			12,0	46	70,0	78
	15			6,2	29	25,0	28
	20			9,5	37	40,0	44
	25			7,6	29	35,0	39
	30			7,0	27	35,0	39
4	0	3,5	1,6	32,0	129	120,0	133
	5			8,0	31	40,0	44
	10			11,0	42	50,0	56
	15			7,4	28	25,0	28
	20			11,0	42	50,0	56
	25			10,0	39	40,0	44
	30			8,5	33	30,0	33
5	0	3,5	1,6	26,0	100	100,0	111
	5			6,0	23	25,0	28
	10			6,0	23	25,0	28
	15			6,0	23	25,0	28
	20			5,5	21	25,0	28
	25			5,5	21	25,0	28
	30			5,5	21	25,0	28

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-Co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	30,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 14 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 1,6 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.14.1 e H.14.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 8,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 1,6 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	3,5	1,6	21,0	81	140,0	156
	5			8,0	31	25,0	28
	10			8,0	31	25,0	28
	15			5,5	21	20,0	22
	20			6,5	25	20,0	22
	25			6,5	25	20,0	22
	30			5,0	19	15,0	17
2	0	3,5	1,6	20,0	77	90,0	100
	5			10,0	38	30,0	33
	10			8,5	33	25,0	28
	15			6,0	23	25,0	28
	20			7,5	29	25,0	28
	25			7,5	29	20,0	22
3	0	3,5	1,6	19,0	73	100,0	111
	5			12,0	46	90,0	100
	10			9,0	35	50,0	56
	15			6,6	25	35,0	39
	20			8,0	31	35,0	39
	25			7,7	30	25,0	28
4	0	3,5	1,6	28,0	108	90,0	100
	5			11,0	42	40,0	44
	10			6,5	25	25,0	28
	15			6,4	25	25,0	28
	20			6,0	23	25,0	28
	25			6,0	23	25,0	28
5	0	3,5	1,6	24,0	92	90,0	100
	5			17,0	65	80,0	89
	10			13,0	50	70,0	78
	15			13,0	50	60,0	67
	20			12,0	46	60,0	67
	25			11,0	42	60,0	67
30	6,5	25	30,0	33			

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H.15 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 1,6 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5				FIGURA Nº: H.15.1 e H.15.2			
COAGULANTE :		CLORETO FÉRRICO		DOSAGEM : 30 mg/l			
OZONIZAÇÃO :		TEMPO : VARIÁVEL		DOSAGEM : VARIÁVEL			
COAGULAÇÃO :		pH : 4,7 TEMPO : 3 min.		ROTAÇÃO : 100 rpm			
FLOCULAÇÃO :		TEMPO : VARIÁVEL		ROTAÇÃO : 20 rpm			
SEDIMENTAÇÃO :		TEMPO : 3,5 min.		VELOCIDADE : 1,6 cm/min.			
ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	3,5	1,6	22,0	85	140,0	156
	5			18,0	69	90,0	100
	10			16,0	62	70,0	114
	15			15,0	58	70,0	78
	20			15,0	58	70,0	78
	25			14,0	54	70,0	78
	30			14,0	54	70,0	78
2	0	3,5	1,6	21,0	81	90,0	100
	5			18,0	69	70,0	78
	10			15,0	58	50,0	56
	15			15,0	58	50,0	56
	20			13,0	50	50,0	56
	25			12,0	46	50,0	56
	30			12,0	46	50,0	56
3	0	3,5	1,6	20,0	77	90,0	100
	5			16,0	62	80,0	89
	10			15,0	58	80,0	89
	15			15,0	58	80,0	89
	20			15,0	58	80,0	89
	25			15,0	58	80,0	89
	30			15,0	58	80,0	89
4	0	3,5	1,6	27,0	109	90,0	100
	5			16,0	62	70,0	78
	10			15,0	58	70,0	78
	15			15,0	58	70,0	78
	20			14,0	54	70,0	78
	25			13,0	50	50,0	56
	30			13,0	50	50,0	56
5	0	3,5	1,6	20,0	77	70,0	78
	5			16,0	62	40,0	44
	10			15,0	58	40,0	44
	15			15,0	58	40,0	44
	20			15,0	58	40,0	44
	25			15,0	58	40,0	44
	30			15,0	58	40,0	44

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H.16 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 1,6 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.16.1 e H.16.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 1,6 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	3,5	1,6	24,0	92	90,0	100
	5			17,0	65	40,0	44
	10			14,0	54	40,0	44
	15			17,0	65	40,0	44
	20			17,0	65	40,0	44
	25			17,0	65	40,0	44
	30			16,0	62	70,0	44
2	0	3,5	1,6	20,0	77	80,0	89
	5			14,0	54	50,0	56
	10			14,0	54	50,0	56
	15			14,0	54	50,0	56
	20			14,0	54	50,0	56
	25			19,0	50	40,0	44
	30			12,0	46	95,0	99
3	0	3,5	1,6	20,0	77	90,0	100
	5			16,0	62	90,0	100
	10			15,0	58	80,0	89
	15			15,0	58	80,0	89
	20			14,0	54	80,0	89
	25			14,0	54	70,0	78
	30			14,0	54	70,0	78
4	0	3,5	1,6	25,0	96	70,0	78
	5			16,0	62	50,0	56
	10			15,0	58	50,0	56
	15			19,0	50	40,0	44
	20			19,0	50	95,0	99
	25			19,0	50	95,0	99
	30			19,0	50	95,0	99
5	0	3,5	1,6	20,0	77	70,0	78
	5			14,0	54	40,0	44
	10			14,0	54	40,0	44
	15			19,0	50	95,0	99
	20			19,0	50	95,0	99
	25			19,0	50	95,0	99
	30			12,0	46	95,0	99

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-Co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H. 17 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 1,6 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.17.1 e H.17.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
OZÔNIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 1,6 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	3,5	1,6	22,0	85	90,0	100
	5			12,0	46	95,0	99
	10			12,0	46	95,0	99
	15			7,9	28	25,0	28
	20			19,0	50	95,0	99
	25			19,0	50	95,0	99
	30			11,0	42	90,0	93
2	0	3,5	1,6	17,0	65	70,0	78
	5			15,0	58	70,0	78
	10			15,0	58	70,0	78
	15			15,0	58	60,0	78
	20			15,0	58	60,0	78
	25			19,0	50	60,0	67
	30			19,0	50	60,0	67
3	0	3,5	1,6	18,0	69	90,0	100
	5			16,0	62	90,0	100
	10			15,0	58	90,0	100
	15			15,0	58	90,0	100
	20			15,0	58	90,0	100
	25			14,0	54	80,0	89
	30			14,0	54	80,0	89
4	0	3,5	1,6	25,0	96	90,0	100
	5			18,0	69	70,0	78
	10			18,0	69	70,0	78
	15			17,0	65	70,0	78
	20			16,0	62	70,0	78
	25			16,0	62	70,0	78
	30			15,0	58	60,0	67
5	0	3,5	1,6	19,0	79	80,0	89
	5			19,0	79	70,0	78
	10			19,0	79	70,0	78
	15			17,0	65	60,0	67
	20			16,0	62	60,0	67
	25			16,0	62	60,0	67
	30			16,0	62	60,0	67

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H.18 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 1,6 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.18.1 e H.18.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 3,5 min.	VELOCIDADE : 1,6 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(Cut)	(%)	mg/l (Pt-Co)	(%)
1	0	3,5	1,6	22,0	85	80,0	89
	5			12,0	46	30,0	39
	10			6,0	29	20,0	22
	15			6,0	29	20,0	22
	20			4,5	17	10,0	11
	25			4,0	15	10,0	11
	30			3,5	13	10,0	11
2	0	3,5	1,6	17,0	65	50,0	56
	5			14,0	54	40,0	44
	10			12,0	46	25,0	28
	15			12,0	46	25,0	28
	20			12,0	46	25,0	28
	25			11,0	42	25,0	28
	30			10,0	38	20,0	22
3	0	3,5	1,6	16,0	62	40,0	44
	5			14,0	54	30,0	39
	10			13,0	50	25,0	28
	15			13,0	50	25,0	28
	20			13,0	50	20,0	22
	25			12,0	46	20,0	22
	30			12,0	46	20,0	22
4	0	3,5	1,6	20,0	77	35,0	39
	5			15,0	58	35,0	39
	10			14,0	54	30,0	39
	15			13,0	50	30,0	39
	20			13,0	50	30,0	39
	25			11,0	42	25,0	28
	30			11,0	42	25,0	28
5	0	3,5	1,6	15,0	58	35,0	39
	5			14,0	54	20,0	22
	10			14,0	54	20,0	22
	15			13,0	50	20,0	22
	20			12,0	46	20,0	22
	25			12,0	46	20,0	22
	30			12,0	46	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

**"Porcentagens Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
1,6 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

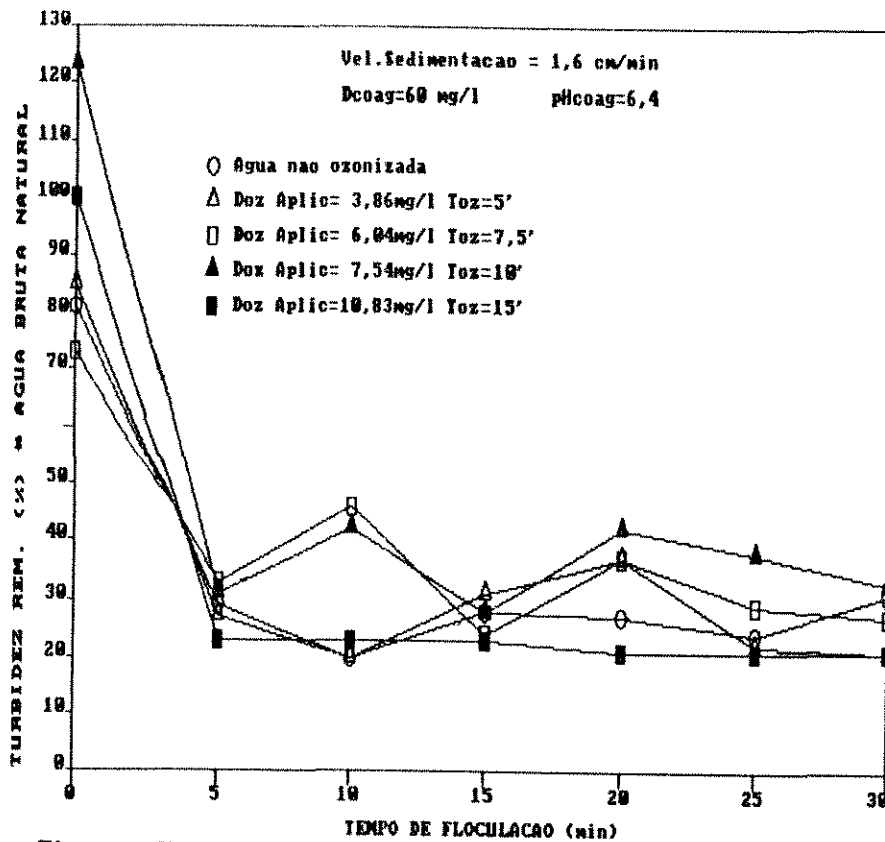


Figura H.13.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

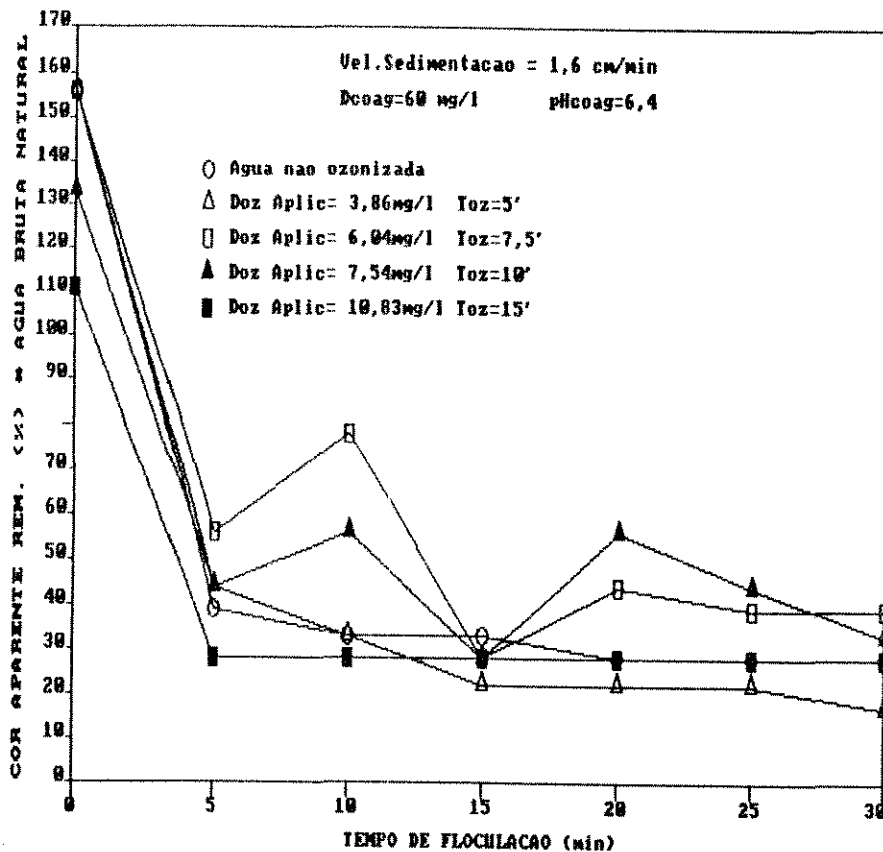


Figura H.13.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Flocculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

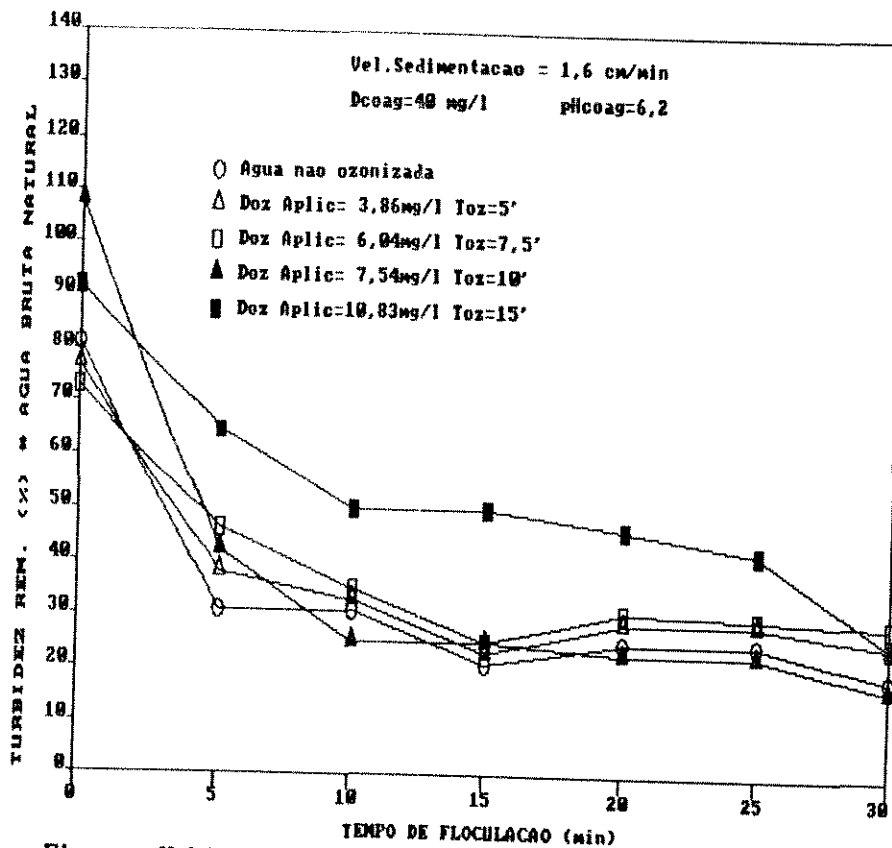


Figura H.14.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

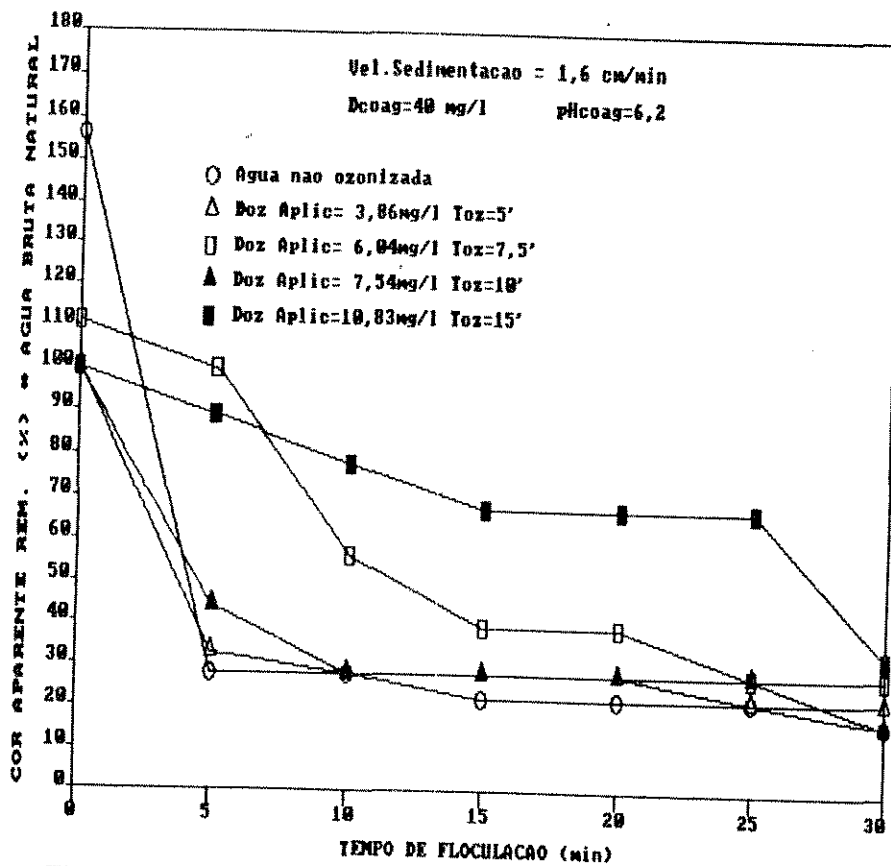


Figura H.14.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

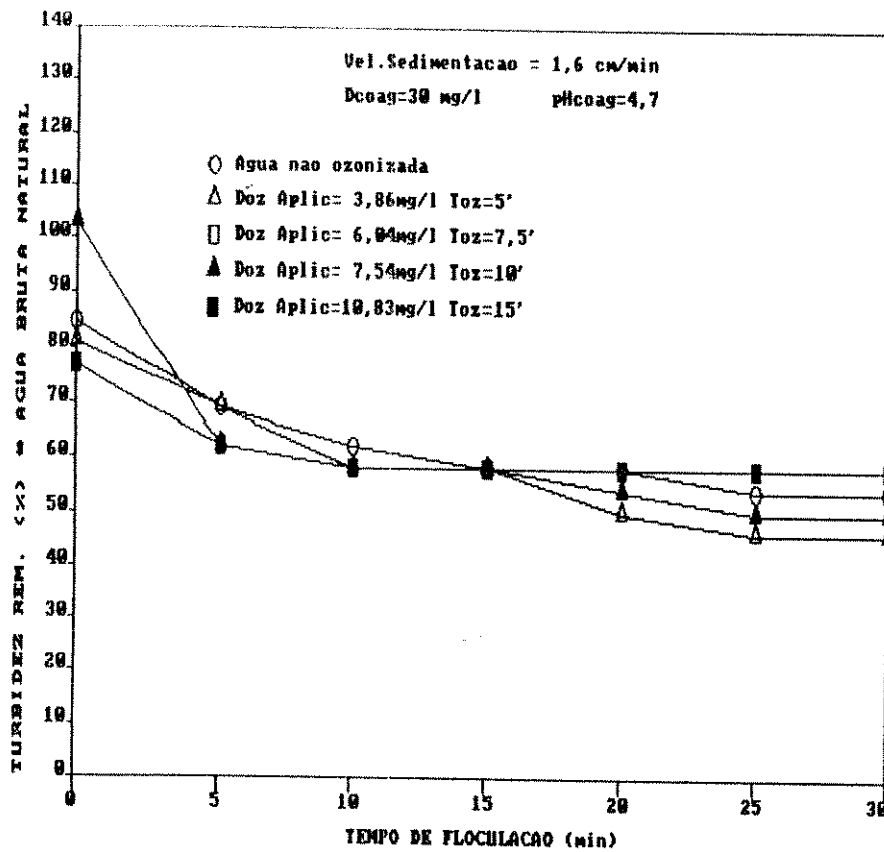


Figura H.15.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

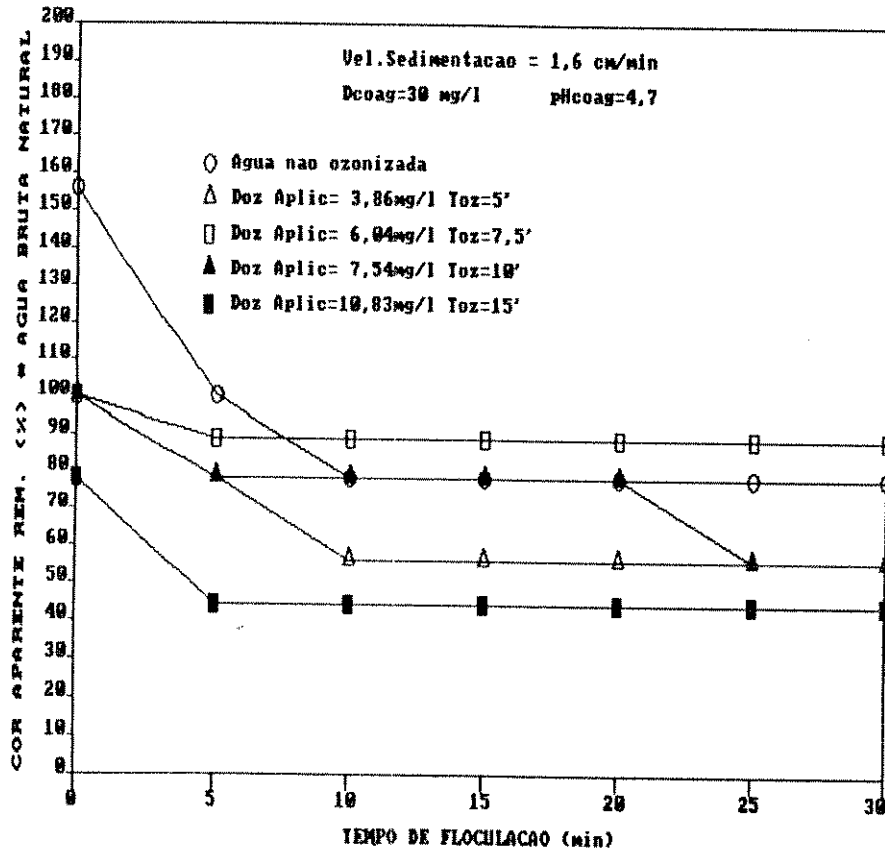


Figura H.15.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

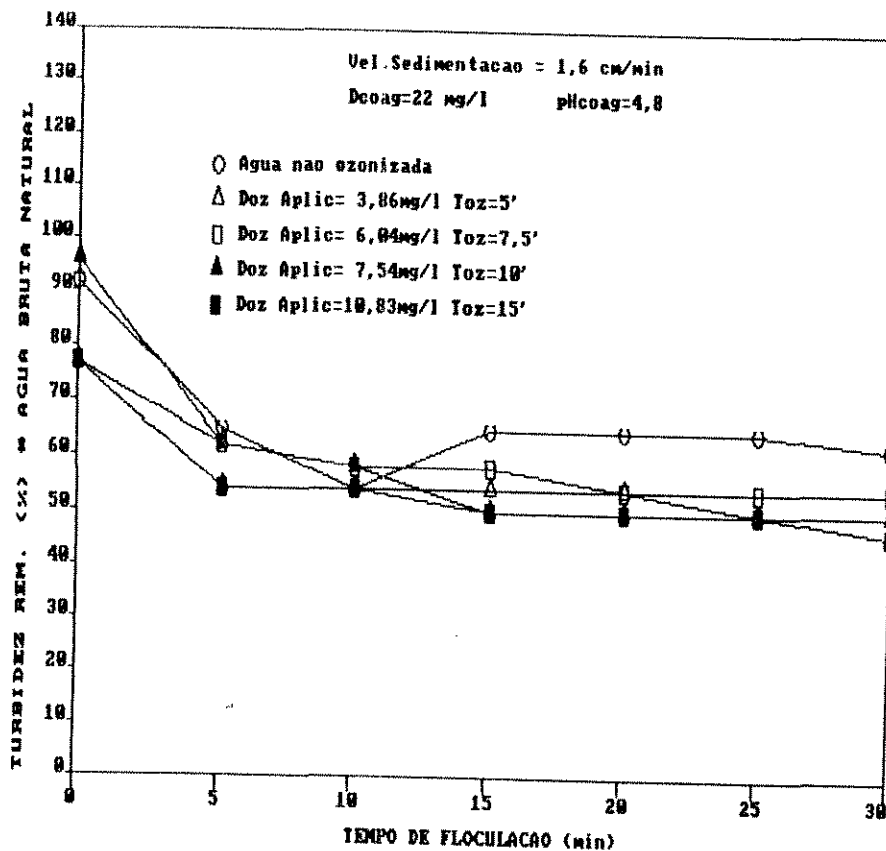


Figura H.16.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

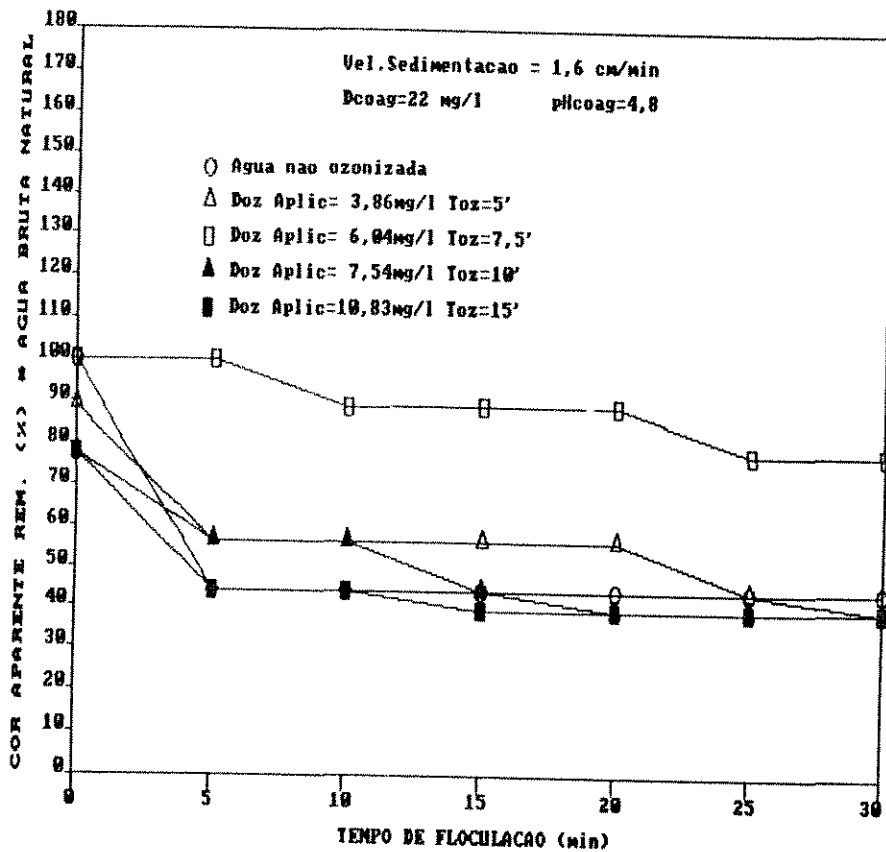


Figura H.16.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

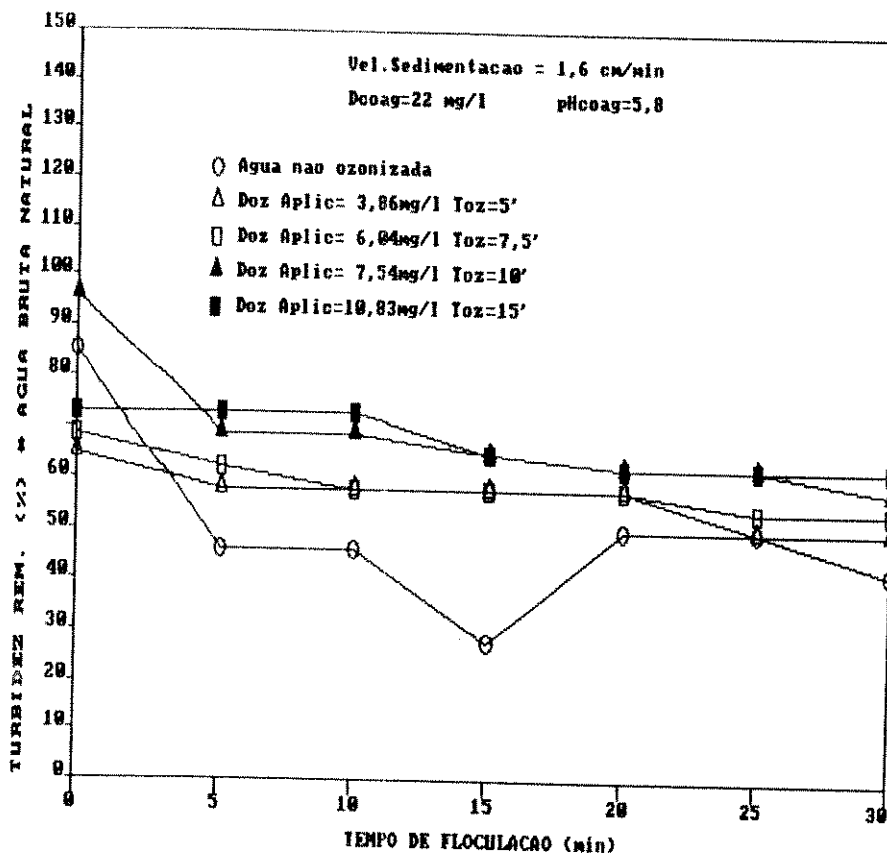


Figura H.17.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

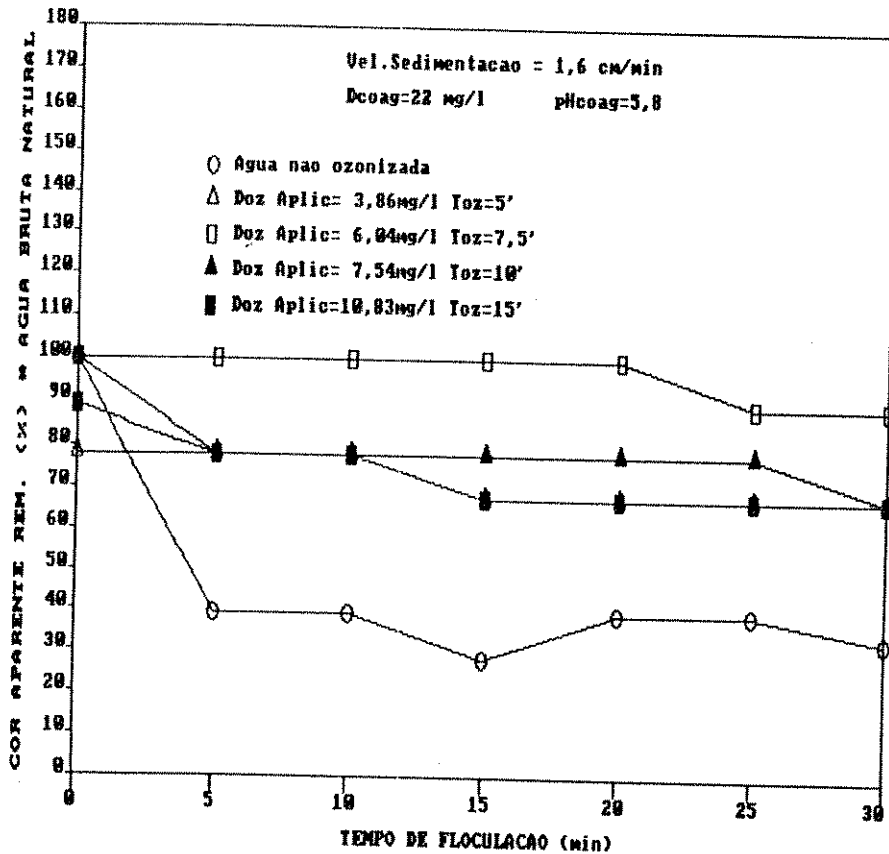


Figura H.17.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

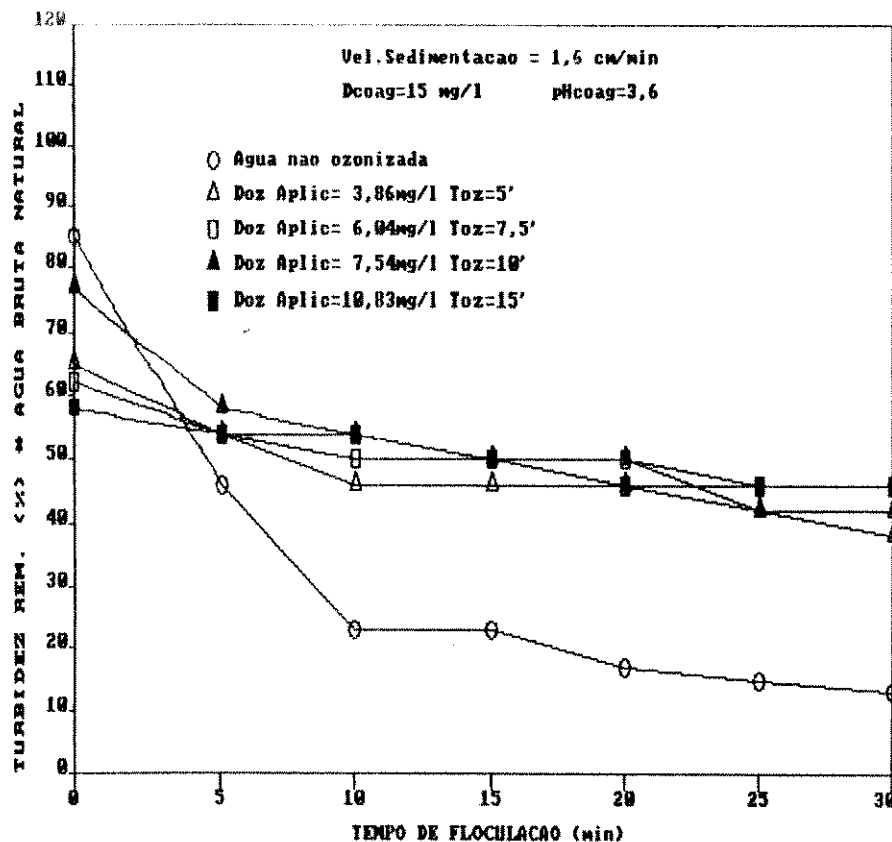


Figura H.18.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

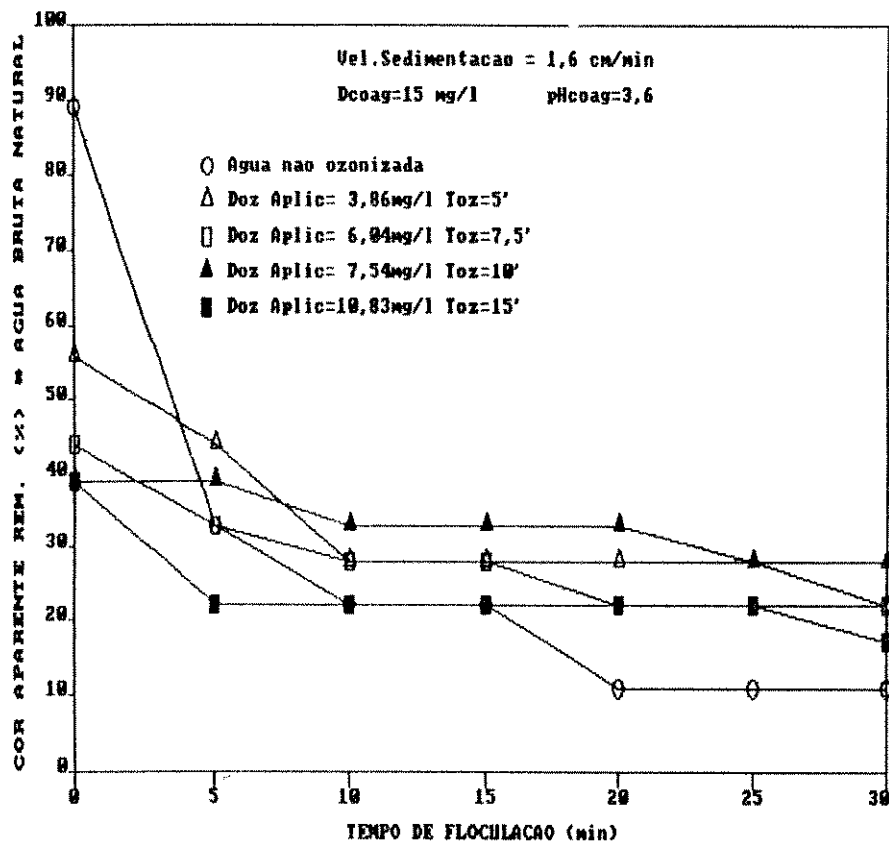


Figura H.18.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 1,6 cm/min, nas Condições Especificadas.

**"Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em
Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
0,8 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

TABELA H.19 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 0,8 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H.19.1 e H.19.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 60 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 6,4 TEMPO : 3 min.	ROTACÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTACÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7 min.	VELOCIDADE : 0,8 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		CÓR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	Cut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	7	0,8	21,0	81	140,0	156
	5			4,0	15	20,0	22
	10			3,4	19	15,0	17
	15			3,5	19	15,0	17
	20			3,4	19	15,0	17
	25			3,0	12	15,0	17
	30			2,5	10	10,0	11
2	0	7	0,8	22,0	85	140,0	156
	5			4,5	17	20,0	22
	10			4,9	17	15,0	17
	15			5,0	19	15,0	17
	20			5,0	19	15,0	17
	25			5,5	21	15,0	17
	30			5,0	19	15,0	17
3	0	7	0,8	19,0	79	140,0	156
	5			3,2	12	20,0	22
	10			7,2	27	30,0	33
	15			4,4	17	15,0	17
	20			5,5	21	20,0	22
	25			5,2	20	20,0	22
	30			4,0	15	15,0	17
4	0	7	0,8	92,0	129	120,0	139
	5			4,4	17	15,0	17
	10			5,5	21	15,0	17
	15			3,9	15	10,0	11
	20			5,4	21	15,0	17
	25			5,2	20	15,0	17
	30			5,0	19	15,0	17
5	0	7	0,8	26,0	100	100,0	111
	5			5,5	21	25,0	28
	10			5,0	19	20,0	22
	15			5,0	19	20,0	22
	20			4,5	17	15,0	17
	25			4,9	17	10,0	11
	30			3,5	13	5,0	6

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Condutiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 20 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 0,8 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H. 20.1 e H. 20.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 40 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 8,2 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7 min.	VELOCIDADE : 0,8 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	7	0,8	21,0	81	140,0	156
	5			9,9	19	20,0	22
	10			4,5	17	20,0	22
	15			9,5	19	15,0	17
	20			9,5	19	15,0	17
	25			9,5	19	15,0	17
	30			9,0	12	10,0	11
2	0	7	0,8	20,0	77	90,0	100
	5			7,0	27	25,0	28
	10			4,5	17	15,0	17
	15			4,0	15	15,0	17
	20			5,0	19	15,0	17
	25			5,5	21	15,0	17
	30			4,5	17	15,0	17
3	0	7	0,8	19,0	79	100,0	111
	5			6,9	27	25,0	28
	10			5,5	21	20,0	22
	15			4,7	18	15,0	17
	20			4,6	18	15,0	17
	25			4,3	17	10,0	11
	30			4,0	15	10,0	11
4	0	7	0,8	28,0	108	90,0	100
	5			7,8	30	30,0	33
	10			5,4	21	25,0	28
	15			4,2	16	20,0	22
	20			9,9	15	15,0	17
	25			4,2	16	15,0	17
	30			9,8	15	10,0	11
5	0	7	0,8	24,0	92	90,0	100
	5			16,0	62	70,0	78
	10			11,0	42	60,0	67
	15			10,0	39	50,0	56
	20			7,0	27	40,0	44
	25			7,0	27	40,0	44
	30			5,5	21	30,0	33

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

TABELA H. 21 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 0,8 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H. 21.1 e H. 21.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 30 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,7 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7 min.	VELOCIDADE : 0,8 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	[Pt-CO] (mg/l)	(%)
1	0	7	0,8	22,0	85	140,0	156
	5			12,0	46	50,0	56
	10			11,0	42	50,0	56
	15			11,0	42	50,0	56
	20			7,8	30	40,0	44
	25			7,5	29	40,0	44
	30			7,0	27	40,0	44
2	0	7	0,8	21,0	81	90,0	100
	5			14,0	54	50,0	56
	10			11,0	42	35,0	39
	15			11,0	42	35,0	39
	20			11,0	42	35,0	39
	25			11,0	42	35,0	39
	30			10,5	40	35,0	39
3	0	7	0,8	20,0	77	90,0	100
	5			14,0	54	70,0	78
	10			13,0	50	70,0	78
	15			12,0	46	70,0	78
	20			12,0	46	70,0	78
	25			12,0	46	50,0	56
	30			12,0	46	50,0	56
4	0	7	0,8	27,0	109	90,0	100
	5			14,0	54	60,0	67
	10			11,0	42	40,0	44
	15			9,5	37	30,0	33
	20			9,5	37	30,0	33
	25			8,5	33	30,0	33
	30			8,0	31	30,0	33
5	0	7	0,8	20,0	77	70,0	78
	5			13,0	50	30,0	33
	10			12,0	46	30,0	33
	15			11,0	42	25,0	28
	20			10,0	38	20,0	22
	25			9,8	38	20,0	22
	30			9,5	37	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb (ut)	Cor Ap. (Pt-cb)	Alcalin (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 22 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 0,8 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H. 22.1 e H. 22.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 4,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7 min.	VELOCIDADE : 0,8 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	7	0,8	24,0	92	90,0	100
	5			14,0	54	25,0	28
	10			12,0	46	25,0	28
	15			19,0	50	25,0	28
	20			19,0	50	25,0	28
	25			12,0	46	25,0	28
	30			11,5	44	25,0	28
2	0	7	0,8	28,0	77	80,0	89
	5			19,0	50	35,0	39
	10			10,0	38	30,0	33
	15			10,0	38	30,0	33
	20			10,0	38	30,0	33
	25			9,5	37	20,0	22
	30			9,0	35	20,0	22
3	0	7	0,8	20,0	77	90,0	100
	5			14,0	54	70,0	78
	10			19,0	50	70,0	78
	15			11,0	42	40,0	44
	20			11,0	42	40,0	44
	25			10,0	38	40,0	44
	30			9,5	37	40,0	44
4	0	7	0,8	25,0	96	70,0	78
	5			19,0	50	50,0	56
	10			11,0	42	40,0	44
	15			10,0	38	35,0	39
	20			9,9	36	25,0	28
	25			9,5	37	25,0	28
	30			9,0	35	25,0	28
5	0	7	0,8	20,0	77	70,0	78
	5			19,0	50	40,0	44
	10			10,0	38	35,0	39
	15			9,0	35	25,0	28
	20			8,5	33	25,0	28
	25			8,9	32	25,0	28
	30			7,8	30	20,0	22

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 23 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 0,8 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H. 23.1 e H. 23.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 22 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 5,8 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7 min.	VELOCIDADE : 0,8 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ		COR APARENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	REMANESCENTE (ut)	(%)	REMANESCENTE (Pt-Co)	(%)
1	0	7	0,8	22,0	85	90,0	100
	5			7,0	27	25,0	28
	10			6,9	24	20,0	22
	15			4,5	17	15,0	17
	20			7,0	27	10,0	11
	25			6,0	23	15,0	17
	30			5,0	19	15,0	17
2	0	7	0,8	17,0	65	70,0	78
	5			15,0	58	50,0	56
	10			14,0	54	50,0	56
	15			13,0	50	50,0	56
	20			12,0	46	40,0	44
	25			12,0	46	40,0	44
	30			12,0	46	35,0	39
3	0	7	0,8	18,0	69	90,0	100
	5			15,0	58	90,0	100
	10			14,0	54	90,0	100
	15			14,0	54	90,0	100
	20			19,0	50	80,0	89
	25			19,0	50	80,0	89
	30			12,0	46	80,0	89
4	0	7	0,8	25,0	96	90,0	100
	5			17,0	65	70,0	78
	10			17,0	65	70,0	78
	15			16,0	62	70,0	78
	20			14,0	54	70,0	78
	25			14,0	54	60,0	67
	30			19,0	50	50,0	56
5	0	7	0,8	19,0	73	80,0	89
	5			18,0	69	70,0	78
	10			18,0	69	70,0	78
	15			17,0	65	60,0	67
	20			16,0	62	60,0	67
	25			15,0	58	60,0	67
	30			15,0	58	60,0	67

ÁGUA BRUTA	C A R A C T E R I S T I C A S						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. (Pt-Co)	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	V A R I Á V E L		
OZON.	V A R I Á V E L						

TABELA H. 24 Valores Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente em Função da Água Bruta Natural (Velocidade Sedimentação 0,8 cm/min)

ENSAIOS Nº : 1, 2, 3, 4 e 5		FIGURA Nº: H. 24.1 e H. 24.2
COAGULANTE :	CLORETO FÉRRICO	DOSAGEM : 15 mg/l
OZONIZAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	DOSAGEM : VARIÁVEL
COAGULAÇÃO :	pH : 3,6 TEMPO : 3 min.	ROTAÇÃO : 100 rpm
FLOCULAÇÃO :	TEMPO : VARIÁVEL	ROTAÇÃO : 20 rpm
SEDIMENTAÇÃO :	TEMPO : 7 min.	VELOCIDADE : 0,8 cm/min.

ENSAIO	TEMPO DE FLOCULAÇÃO (min.)	SEDIMENTAÇÃO		TURBIDEZ REMANESCENTE		COR APARENTE REMANESCENTE	
		TEMPO (min)	VELOCIDADE (cm/min.)	(ut)	(%)	mg/l [Pt-Co]	(%)
1	0	7	0,8	22,0	85	80,0	89
	5			7,0	27	25,0	28
	10			5,0	19	15,0	17
	15			4,5	17	10,0	11
	20			3,9	19	10,0	11
	25			3,0	12	5,0	6
	30			2,5	10	5,0	6
2	0	7	0,8	17,0	65	50,0	56
	5			19,0	50	25,0	28
	10			10,0	98	20,0	29
	15			7,8	90	15,0	17
	20			7,5	29	15,0	17
	25			5,5	21	10,0	11
	30			5,0	19	10,0	11
3	0	7	0,8	16,0	62	40,0	44
	5			19,0	50	20,0	22
	10			12,0	46	20,0	22
	15			11,0	42	20,0	22
	20			10,0	98	20,0	22
	25			9,0	95	15,0	17
	30			9,0	95	15,0	17
4	0	7	0,8	20,0	77	95,0	99
	5			14,0	54	30,0	33
	10			11,0	42	25,0	28
	15			10,0	98	20,0	22
	20			9,0	95	20,0	22
	25			8,0	91	10,0	11
	30			7,5	29	10,0	11
5	0	7	0,8	15,0	58	95,0	99
	5			19,0	50	20,0	22
	10			12,0	46	20,0	22
	15			11,0	42	20,0	22
	20			10,0	98	20,0	22
	25			10,0	98	20,0	22
	30			8,5	99	15,0	17

ÁGUA BRUTA	CARACTERÍSTICAS						
	pH	T (c)	Turb. (ut)	Cor Ap. [Pt-co]	Alcalin. (mgCaCO ₃ /l)	Conduktiv. (µmho/cm)	Dureza (mgCaCO ₃ /l)
NAT.	8,2	25	26,0	90,0	VARIÁVEL		
OZON.	VARIÁVEL						

**"Porcentagens Remanescentes de Turbidez e Cor Aparente
em Função da Água Bruta Natural e do Tempo de
Floculação, Para a Velocidade de Sedimentação de
0,8 cm/min, nas Condições Especificadas
Ensaio 1, 2, 3, 4 e 5"**

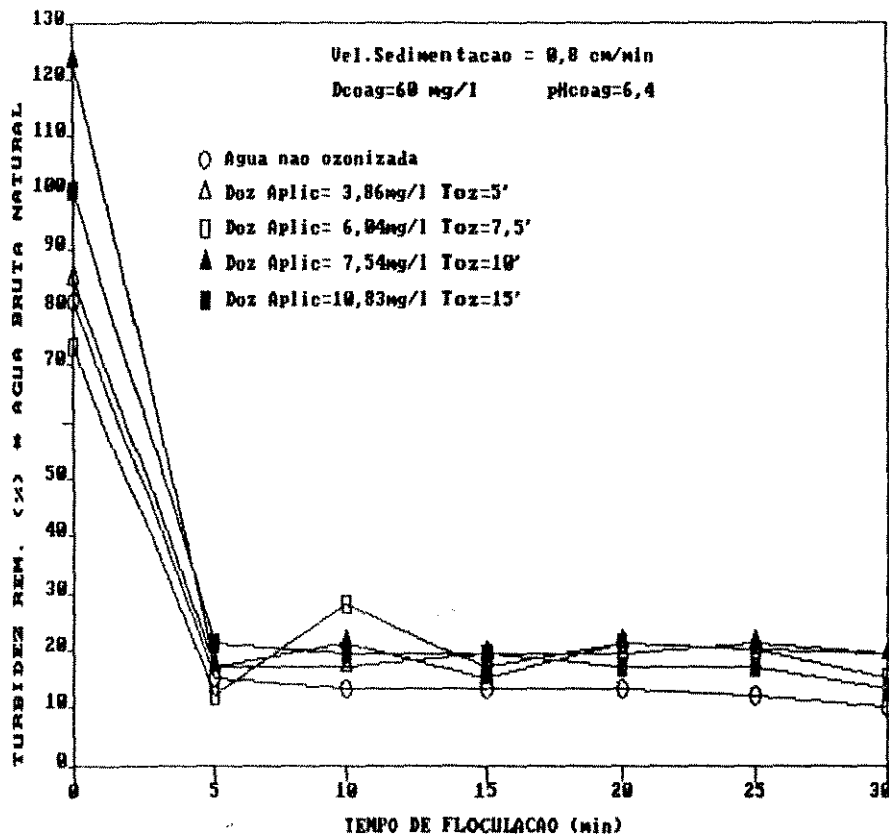


Figura H.19.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

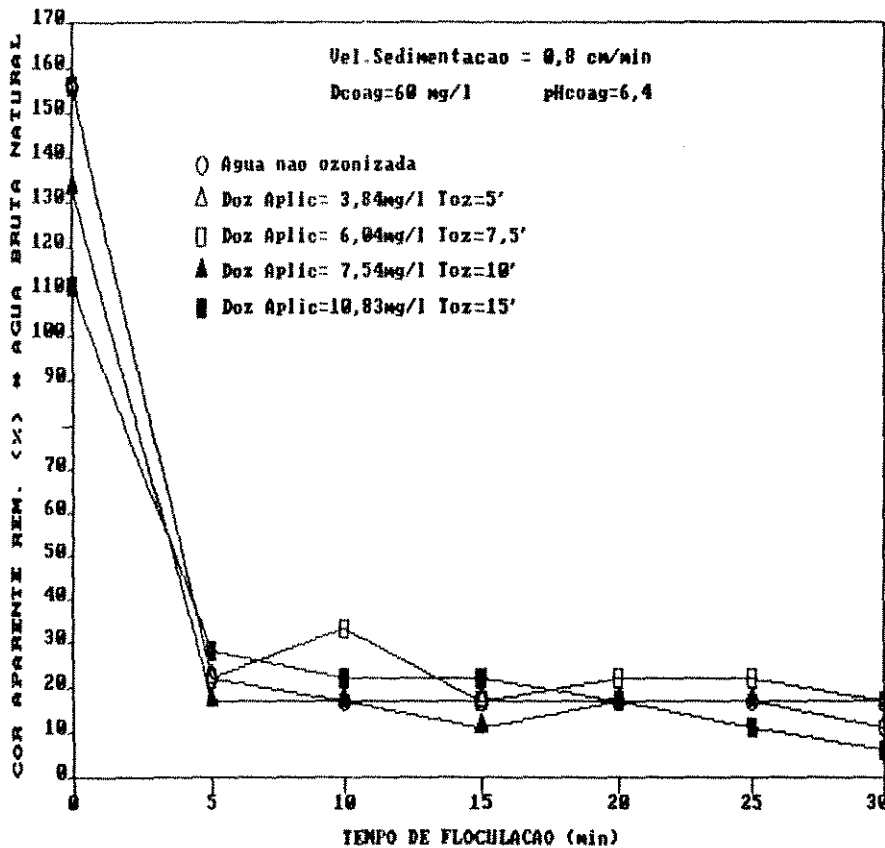


Figura H.19.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

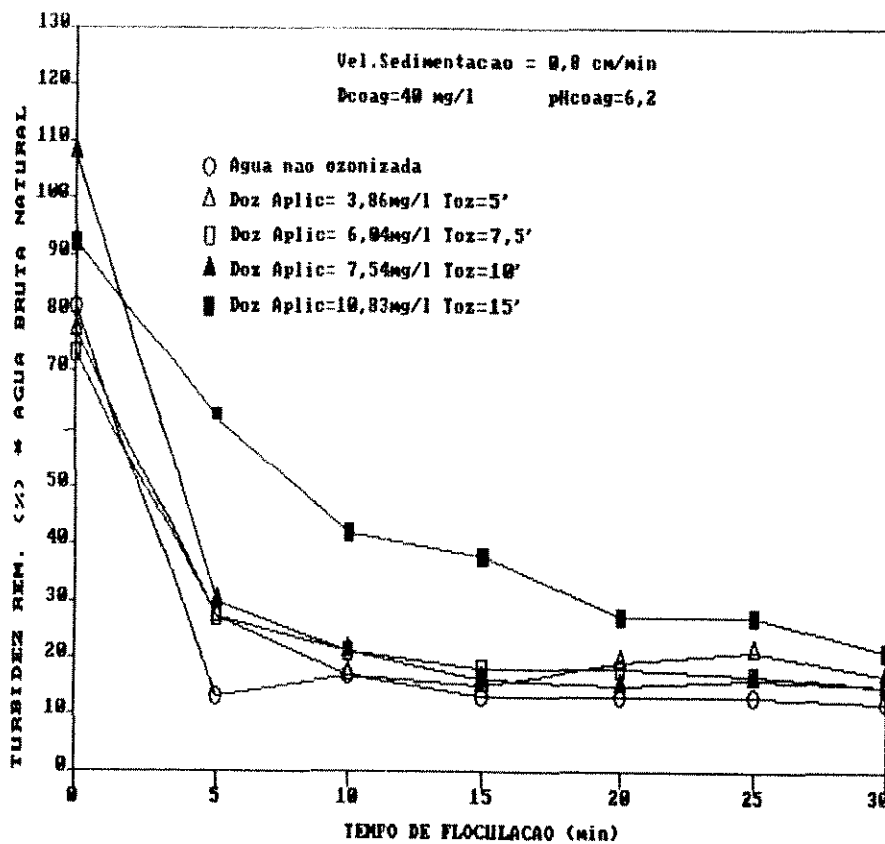


Figura H.20.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

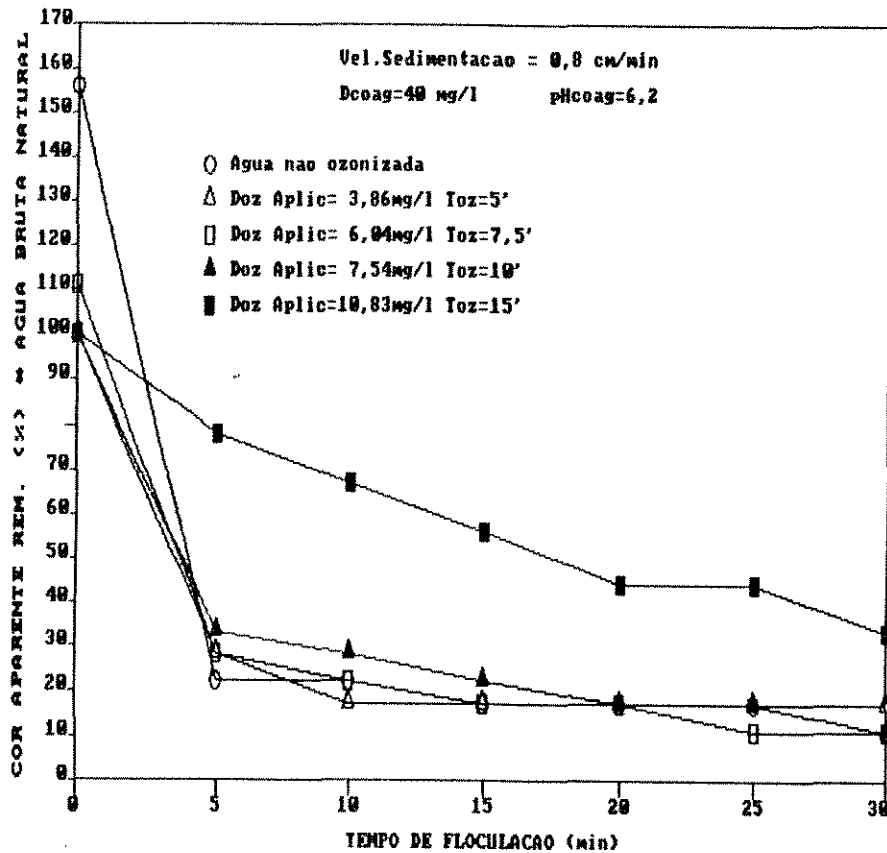


Figura H.20.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

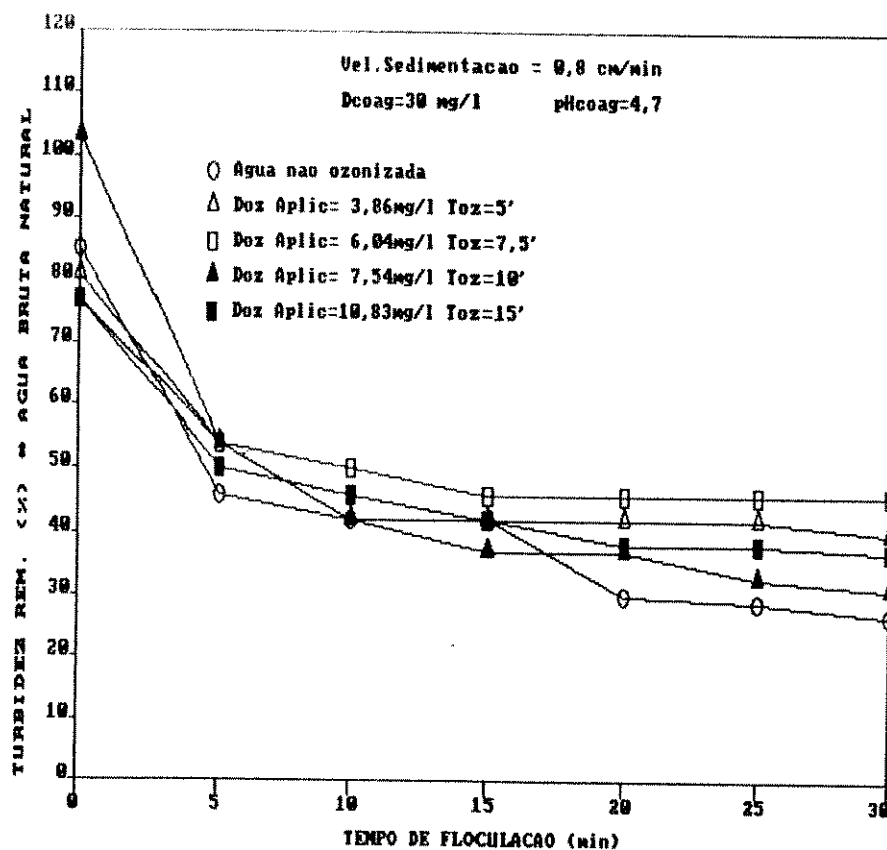


Figura H.21.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

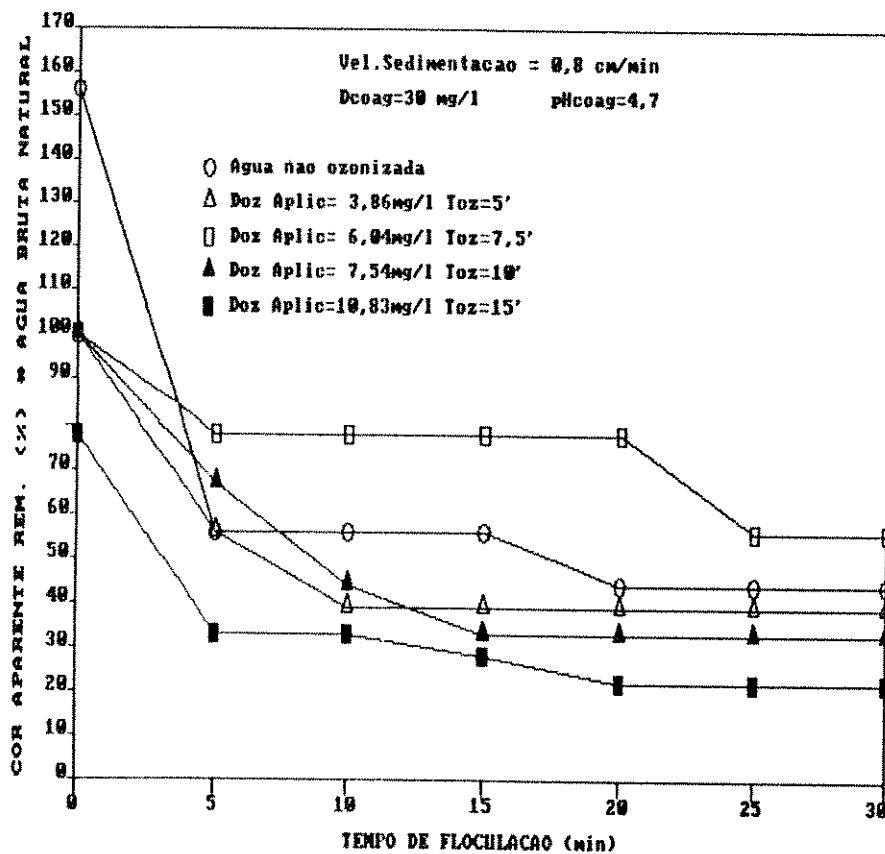


Figura H.21.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

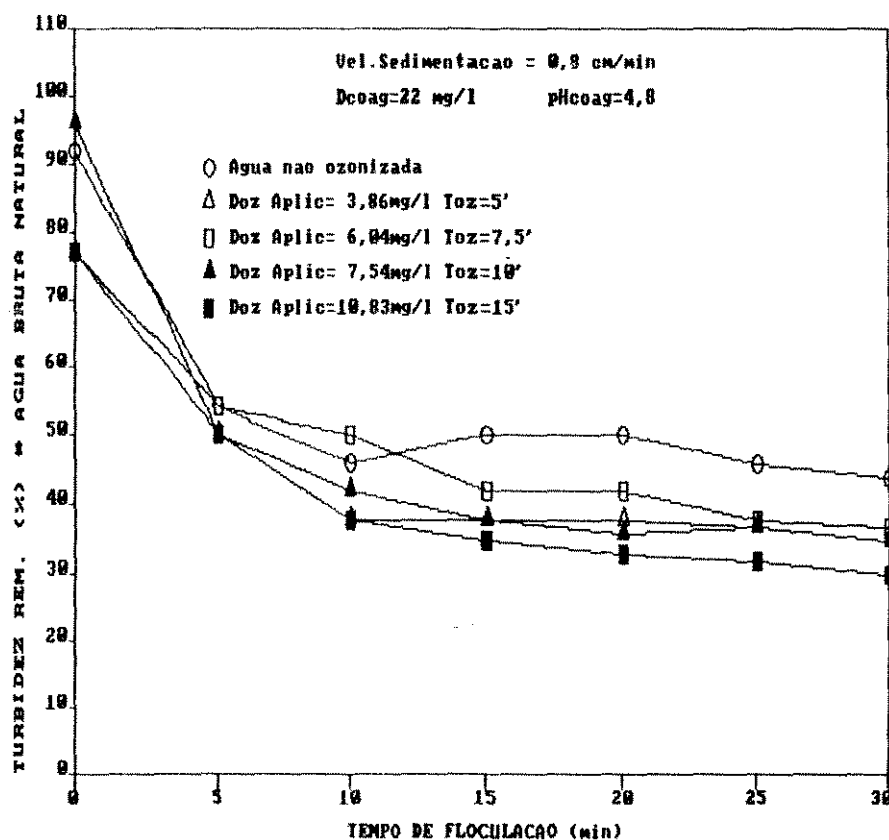


Figura H.22.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

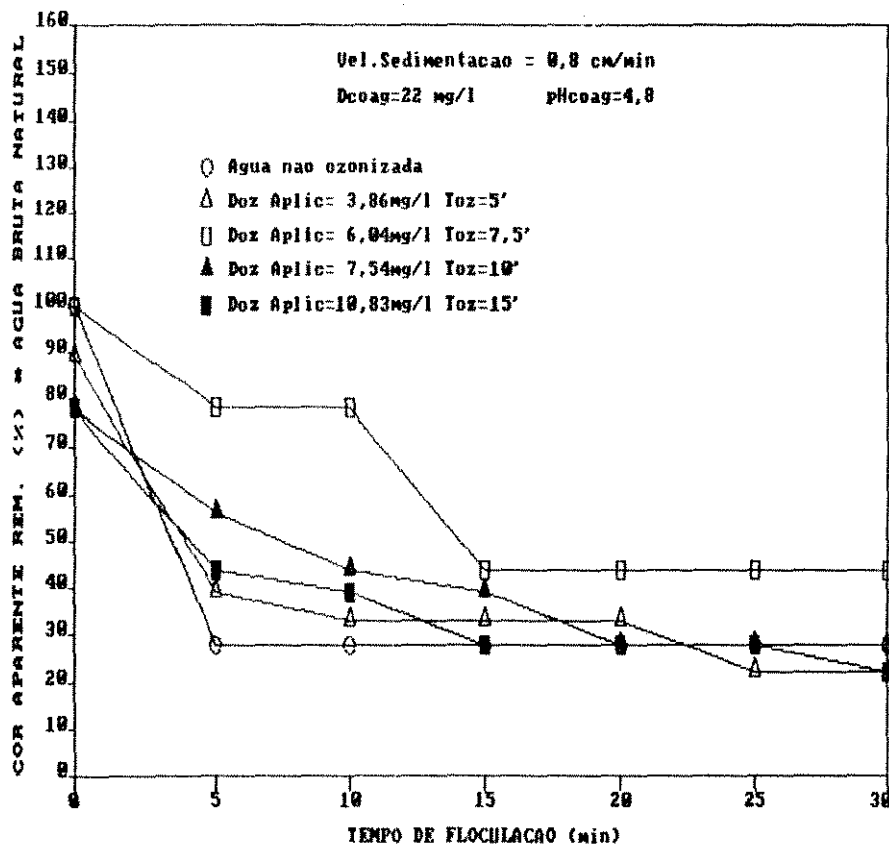


Figura H.22.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

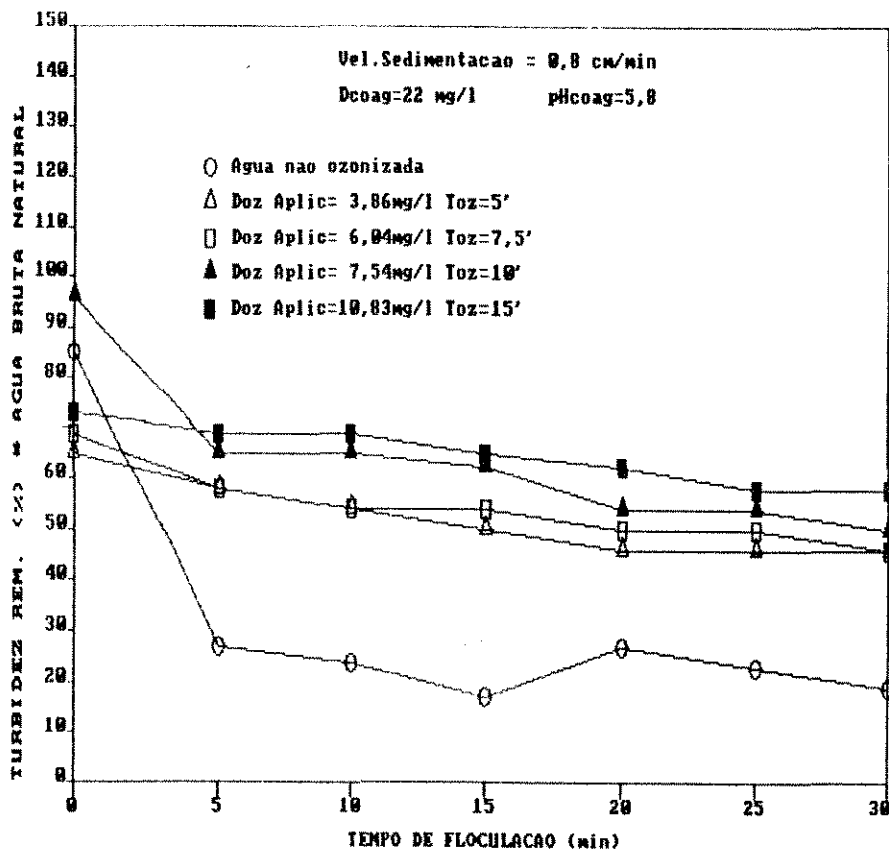


Figura H.23.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

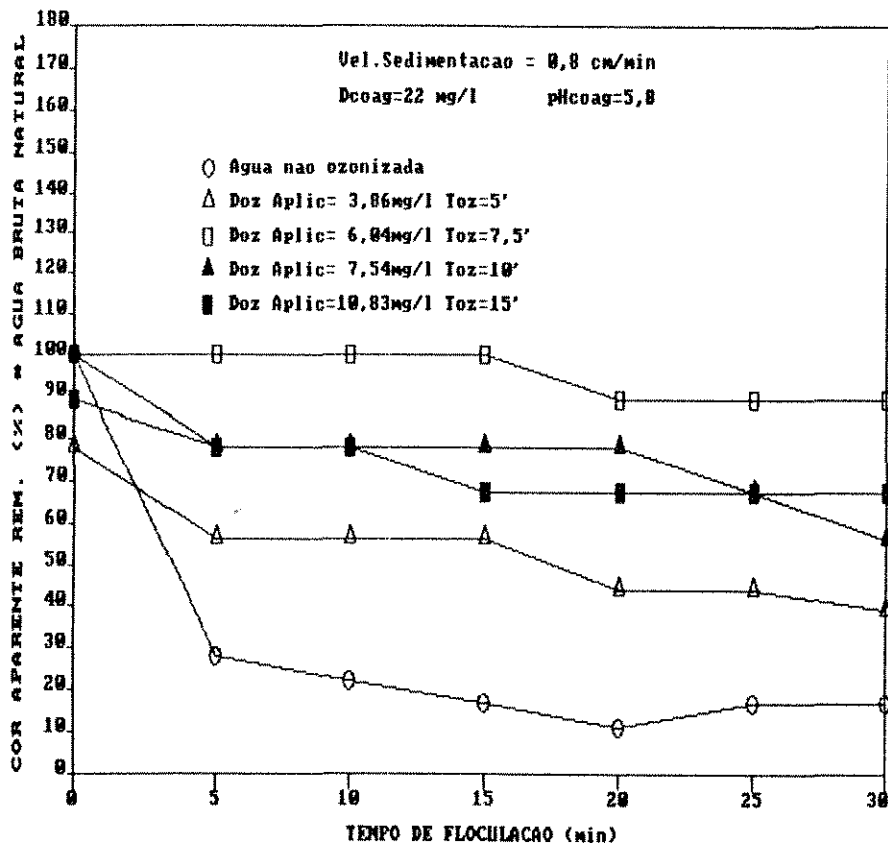


Figura H.23.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

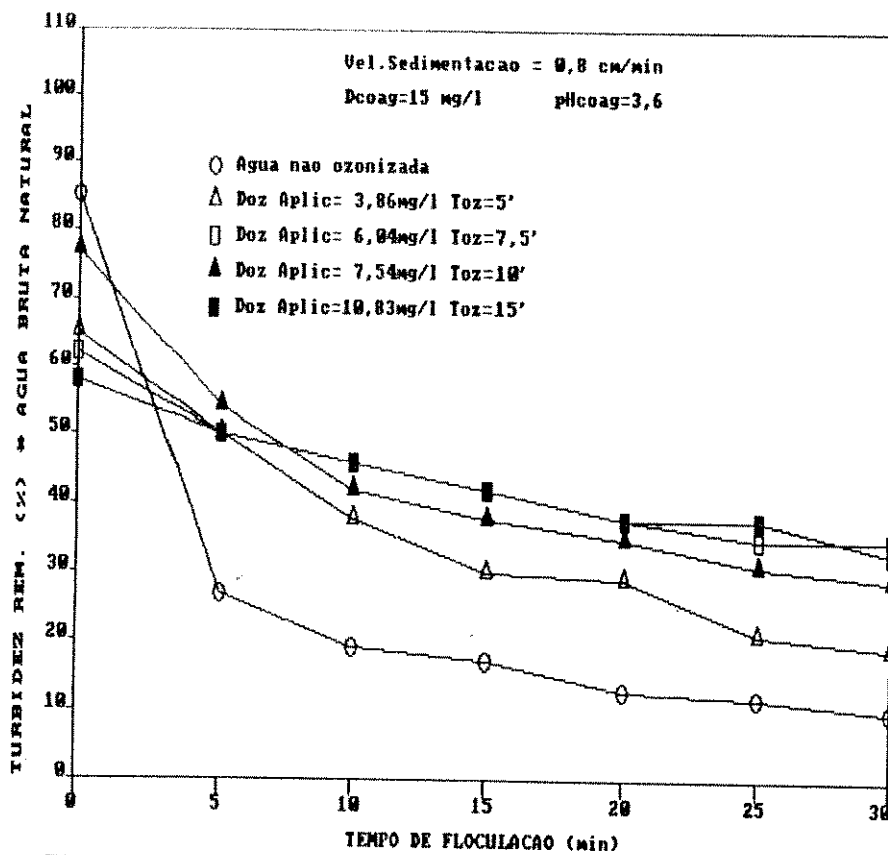


Figura H.24.1 - Porcentagem de Turbidez Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

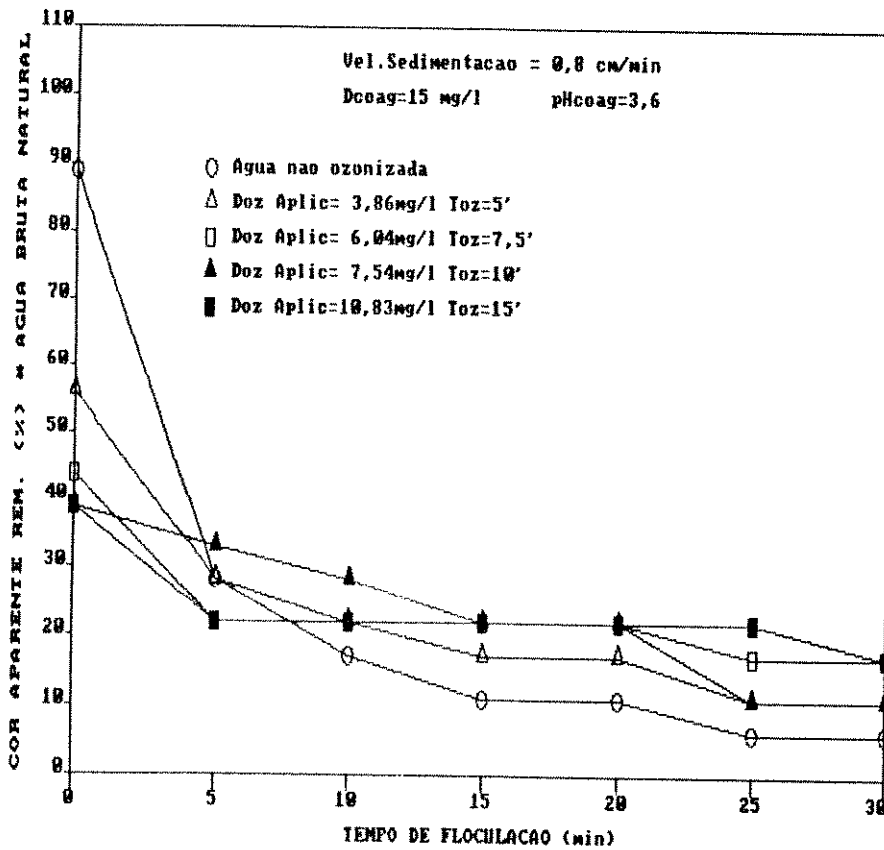


Figura H.24.2 - Porcentagem de Cor Aparente Remanescente em função da Água Bruta Natural e do Tempo de Floculação, para a Velocidade de Sedimentação de 0,8 cm/min, nas Condições Especificadas.

APÊNDICE I

"Concentrações de Ferro e Manganês na Água"

TABELA I.1 Concentrações de Ferro e Manganês na Água

ENSAIOS	pH	DOSAGEM COAGULANTE (mg/l)	FERRO (mg/l)	MANGANÊS (mg/l)
ENSAIO - 1 DATA: 31/07 À 06/08/1990 ÁGUA BRUTA NATURAL	8,20	Bruta nat.	0,05	<0,02
	6,40	60,0	<0,02	0,04
	6,20	40,0	<0,02	0,03
	4,70	30,0	0,02	0,04
	4,80	22,0	0,07	0,02
	5,80	22,0	0,05	0,03
	3,60	15,0	1,60	0,02
	ENSAIO - 2 DATA : 14/08/1990 ÁGUA BRUTA PRÉ - OZONIZADA O Z Ô N I O Tempo Aplicação: 5,0min Dos. Aplicada: 3,858mg/l	8,20	Bruta Nat.	0,05
8,00		Bruta Ozo.	0,10	<0,02
6,40		60,0	<0,02	0,04
6,20		40,0	0,05	0,03
4,70		30,0	0,09	0,04
4,80		22,0	0,10	0,03
5,80		22,0	1,10	0,02
3,60		15,0	2,20	0,02
ENSAIO - 3 DATA : 25/07/1990 ÁGUA BRUTA PRÉ - OZONIZADA O Z Ô N I O Tempo Aplicação: 7,5min Dos. Aplicada: 6,043mg/l	8,20	Bruta Nat.	0,05	<0,02
	8,00	Bruta Ozo.	0,10	<0,02
	6,40	60,0	0,04	0,04
	6,20	40,0	0,10	0,03
	4,70	30,0	0,20	0,04
	4,80	22,0	0,30	0,04
	5,80	22,0	2,80	0,03
	3,60	15,0	2,40	0,03

TABELA I.1 Concentrações de Ferro e Manganês na Água
(continuação)

ENSAIOS	pH	DOSAGEM (mg/l)	FERRO (mg/l)	MANGANÊS (mg/l)	
ENSAIO - 4 DATA : 04/09/1990 ÁGUA BRUTA PRÉ - OZONIZADA O Z Ô N I O Tempo Aplicação: 10min Dos. Aplicada: 7,535mg/l	8,20	Bruta Nat	0,06	<0,02	
	7,83	Bruta Ozo	0,10	<0,02	
	6,40	60,0	<0,02	0,06	
	6,20	40,0	0,10	0,05	
	4,70	30,0	0,40	0,05	
	4,80	22,0	0,60	0,04	
	5,80	22,0	3,00	0,04	
	3,60	15,0	2,40	0,04	
	ENSAIO - 5 DATA : 18/09/1990 ÁGUA BRUTA PRÉ - OZONIZADA O Z Ô N I O Tempo Aplicação: 15min Dos. Aplicada: 10,83mg/l	8,20	Bruta Nat	0,04	<0,02
		7,76	Bruta Ozo	0,20	<0,02
6,40		60,0	0,05	0,05	
6,20		40,0	0,20	0,05	
4,70		30,0	3,50	0,03	
4,80		22,0	0,80	0,03	
5,80		22,0	0,40	0,04	
3,60		15,0	2,50	0,04	